

UNIVERZITA KARLOVA

Přírodovědecká fakulta

Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky

Studijní obor: Hydrologie a hydrogeologie



Bc. Helena Wolfová

Analýza sedimentů a hydrologické poměry vodního díla Všechlapy

Sediment analysis and hydrological regime of water reservoir Všechlapy

Diplomová práce

Vedoucí práce: RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D.

Konzultant práce: RNDr. Dagmar Chalupová, Ph.D.

Praha 2022

Zadání diplomové práce

Název práce

Analýza sedimentů a hydrologické poměry vodního díla Všechlapy

Cíle práce

Cílem diplomové práce je vyhodnocení znečištění sedimentů kovy a polokovy. Dalším cílem je vytvoření aktuální batymetrické mapy a výpočet objemu vody ve vodní nádrži Všechlapy. Získaná aktuální data dále porovnat s historickými podklady a tím odhadnout objem sedimentu v nádrži. Dílčím cílem je rešerše odborné literatury týkající se metod použitých k analyzování obsahu kovů, zrnitosti a batymetrickému mapování. Součástí práce je fyzicko-geografická charakteristika povodí vodního díla Všechlapy a terénní průzkum.

- fyzicko-geografická charakteristika povodí vodní nádrže Všechlapy
- vytvoření aktuální batymetrické mapy a výpočet objemu sedimentů
- zhodnocení morfometrických parametrů nádrže a porovnání s archivními zdroji
- analýza hydrologického režimu vodní nádrže Všechlapy
- zrnitostní analýza sedimentů
- chemická analýza sedimentů (kovů a polokovů) s vyhodnocením míry kontaminace

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Použité metody/postup: rešerše odborné literatury, digitalizace starých mapových podkladů, vytvoření batymetrické mapy, vyhodnocení znečištění přehradních sedimentů, terénní průzkum

Zájmová oblast: povodí potoka Bouřlivec, resp. vodní nádrž Všechlapy

Použité datové zdroje: vlastní batymetrické mapování, data pozorovacích stanic Povodí Ohře s.p., archivní mapy a laboratorní zpráva poskytnutá Povodí Ohře s.p.

Datum zadání: 11.01.2019

Jméno studenta: Helena Wolfová

RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D.

Podpis studenta

Podpis vedoucího práce

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

V Praze 29.4.2022

.....
Helena Wolfová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda v první řadě poděkovala panu RNDr. Miroslavu Šobrovi, Ph.D, za vedení diplomové práce, za cenné rady a připomínky, za trpělivost, ale také za čas, který věnoval konzultacím, pomoci při terénním mapování a opravám práce. Dále bych ráda podělovala paní RNDr. Dagmar Chalupové, Ph.D, která v roli konzultantky, dodala pro vznik této diplomové práce mnoho cenných rad v oblasti odběru a vyhodnocení znečištění sedimentů. Velké poděkování též patří doc. Engelovi, za jeho čas a cenné rady při přípravě vzorků na zrnitostní analýzu a jejich následné vyhodnocení. Další poděkování patří paní Lence Jílkové z Laboratoří geologických ústavů, za připomínky k výsledkům chemické analýzy sedimentů. Speciální poděkování patří mé rodině za podporu nejen při psaní této diplomové práce, ale také v průběhu celého studia.

Abstrakt

Tato práce je zaměřená zhodnocení antropogenního znečištění sedimentů a celkový odhad zazemnění vodní nádrže Všechlapy. Na základě batymetrického mapování byly vyhodnoceny morfometrické parametry vodního díla Všechlapy. Digitalizací archivních podkladů původního terénu před výstavbou přehrady bylo stanoveno její současné zanesení z 15,7 % dnovým sedimentem. Byly odebrány dnové sedimenty a sedimenty z dvou přítoků, u kterých byla provedená zrnitostní analýza jemnozrnné frakce a chemický rozbor pseudototálním rozkladem pro zjištění obsahu kovů a polokovů. Vyhodnocení znečištění sedimentu bylo provedeno pomocí geoakumulačních indexů s využitím globálních i lokálních požadových hodnot přirozeného prostředí. Bylo zjištěno, že potok Bouřlivec byl hodnocen nejhoršími třídami znečištění v ukazatelích kadmia, arsenu, mědi olova, zinku a niklu. Tyto zvýšené koncentrace se na základě svých chemických vlastností promítly i ve vzorcích odebraných ze dna nádrže Všechlapy. Součástí práce bylo také vyhodnocení hydrologického režimu vodního díla Všechlapy.

klíčová slova: znečištění sedimentů, vodní nádrž Všechlapy, povodí potoka Bouřlivec, batymetrické mapování, lučavkový výluh

Abstract

This masters thesis is focused on the evaluation of anthropogenic sediment pollution and the total estimate of the siltation of the Všechlapy reservoir. Based on bathymetric mapping, the morphometric parameters of the Všechlapy reservoir were evaluated. By digitizing the old map of the previous terrain before the construction of the dam, its current siltation of 15.7 % with bedload sediment was determined. Bedload sediments and river sediments of two streams were collected, in which the grain size analysis of the fine-grained fraction and the chemical analysis by pseudo-total digestion were performed to determine the content of metals and metalloids. Evaluation of sediment pollution was performed using geoaccumulation index using global and local background values of the natural environment. It was found that the Bouřlivec stream was rated the worst pollution classes in terms of cadmium, arsenic, copper, lead, zinc and nickel. Based on their chemical properties, these increased concentrations were also reflected in the samples taken from the bed of the Všechlapy reservoir. Part of this thesis was also the review of the hydrological regime of the Všechlapy reservoir.

key words: sediment pollution, water reservoir Všechlapy, Bouřlivec stream basin, bathymetric survey, aqua regia leaching

Obsah

1. ÚVOD	13
1.1 Úvod	13
1.2 Cíle diplomové práce	14
1.3 Historie a současnost mapování stojatých vod a výzkumu kvality sedimentů	15
1.4 Údolní nádrže v ČR	16
2 POPIS ÚZEMÍ – POVODÍ POTOKA BOUŘLIVEC	17
2.1 Vodní tok Bouřlivec	17
2.2 Vodní nádrž Všechlapy	17
2.3 Pozorovací stanice v povodí Bouřlivce	19
2.4 Dosavadní výzkum v povodí toku Bouřlivec	20
2.5 Registrovaná znečištění a antropogenní ovlivnění v povodí	21
2.6 Sledování kvality vody v povodí	22
3. BATYMETRICKÉ MAPOVÁNÍ A KVALITA SEDIMENTŮ	23
3.1 Batymetrické mapování	23
3.1.1. Měření hloubek	23
3.1.2 Zpracování a interpolace dat	24
3.1.3 Využití starších mapových podkladů k rekonstrukce původního terénu	25
3.2 Analýza dnových sedimentů	26
3.2.1 Zrnitost sedimentů	26
3.2.2 Metody a způsoby stanovení kovů a polokovů v sedimentech	28
3.2.3 Kovy a polokovy ve vodním prostředí	29
3.2.4 Vyhodnocení antropogenního znečištění sedimentů	30
3.2.5 Popis jednotlivých vybraných kovů a polokovů	32
3.2.6 Transport kovů a polokovů v sedimentech	37
4 METODY A POUŽITÁ DATA	38
4.1 Mapa původního povrchu před výstavbou přehrady Všechlapy	38
4.1.1 Georeferencování poskytnuté historické mapy	39
4.1.2 Model původního terénu	39
4.2 Laboratorní zpráva z roku 1993	40
4.3 Batymetrická mapa	42
4.3.1 Zpracování naměřených dat a výpočet objemu	43

4.4 Odběr sedimentů.....	44
4.5 Obsah kovů a polokovů v sedimentech a zrnitostní analýza	46
4.5.1 Metody stanovení obsahu kovů a polokovů.....	47
4.6 Tvorba příčných profilů.....	48
4.7 Klimatická a hydrologická data poskytnuta Povodím Ohře s.p.	49
5. FYZICKOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA	
STUDOVANÉHO ÚZEMÍ	50
5.1 Vymezení zájmového území	50
5.2 Geologické a hydrogeologické poměry	51
5.3 Geomorfologie.....	52
5.4 Pedologické poměry	54
5.5 Klimatické poměry	55
5.6 Hydrologické poměry	58
5.6.1 Hydrografie	59
5.7 Biogeografické poměry	64
5.7.1 Krajinný pokryv podle CORINE Land Cover	65
5.8 Ochrana přírody	66
6. VÝSLEDKY.....	67
6.1 Vyhodnocení hydrologického režimu VD Vsechlapy	67
6.1.1 Extrémní průměrné denní přítoky do VD Vsechlapy	67
6.1.2 Průměrné měsíční přítoky do VD Vsechlapy	67
6.1.3 Průměrný roční přítok do VD Vsechlapy	68
6.1.4 Přítoky z hlavních zdrojů – Bouřlivce a Loučenského potoka	69
6.1.5 Roční odběry z VD Vsechlapy.....	70
6.2 Morfometrické poměry vodní nádrže Vsechlapy	71
6.3 Srovnání současných morfologických podkladů s historickými podklady	75
6.3.1 Srovnání s mapou údolí před zátopou.....	75
6.3.2 Srovnání s nákresem hloubek z laboratorní zprávy ENVI s.r.o. v roce 1993	76
6.3.3 Srovnání příčných profilů s historickými podklady.....	77
6.4 Terénní průzkum hlavních přítoků Bouřlivce a Loučenského potoka	80
6.5 Kvalita sedimentů	83
6.5.1 Výsledky zrnitostní analýzy	83

6.5.2 Výsledky chemických analýz profilů sedimentů	85
6.5.3 Vyhodnocení kontaminace sedimentů	95
7. DISKUSE	101
7.1 Výpočet objemu sedimentu	101
7.2 Porovnání současných dat s laboratorní zprávou společnosti ENVI s.r.o.	102
7.3 Morfometrické parametry a hydrologický režim.....	103
7.3 Obsah kovů a polokovů v závislosti na zrnitostním složení.....	104
7.4 Vyhodnocení kvality sedimentů	105
8. ZÁVĚR.....	107
Seznam použité literatury.....	108
Přílohy	116

Seznam obrázků

Obr. 1 – rozdělení přehrad podle hlavní stavební hmoty	16
Obr. 2 – profil hráze vodní nádrže Všechlapy.....	18
Obr. 3 – monitorovací stanice v blízkosti vodní nádrže Všechlapy	19
Obr. 4 – vyznačení profilu monitoringu jakosti vod	22
Obr. 5 - zkušební síta o velikosti oka 2 mm a 0,063 mm	26
Obr. 6 – nezbytná poznámka pro mapování v období přechodu na jiný výškový systém.....	38
Obr. 7 – břehová linie získaná z laboratorní zprávy z roku 1993	41
Obr. 8 – RiverSurveyor M9 umístěn na plováku, připraven na tažení za motorovým člunem	42
Obr. 9 – odběr sedimentu pístovým odběrákem Eijkelkamp z ledu.....	44
Obr. 10 – mapa odběru odebraných vzorků sedimentů	45
Obr. 11 – magnetické míchačky s ohřevem použité při přípravě vzorků.....	46
Obr. 12 – použití nástrojů 3D Analyst pro tvorbu příčných profilů	48
Obr. 13 – územní působnost státního podniku Povodí Ohře.....	50
Obr. 14 – geomorfologické jednotky vyskytující se ve studovaném povodí potoka Bouřlivec	53
Obr. 15 – půdní typy v povodí potoka Bouřlivec	54
Obr. 16 – průměrné roční srážky v povodí potoka Bouřlivec	56
Obr. 17 – průměrné měsíční srážky a teploty z klimatické stanice Všechlapy z období 1995–2021....	57
Obr. 18 – asymetrie povodí potoka Bouřlivec a vyobrazení některých hydrografických parametrů	61
Obr. 19 – hypsografická křivka povodí odvodňovaného do Všechlapské nádrže.....	62
Obr. 20 – průměrné dlouhodobé měsíční přítoky za sledované období 1994 až 2021.....	67
Obr. 21 – průměrné roční bilancované přítoky a dlouhodobý bilancovaný přítok do VD Všechlapy ..	68
Obr. 22 – průměrné roční průtoky v měrných profilech Duchcov a Lahošť	69
Obr. 23 – množství odebrané vody z VD Všechlapy	70
Obr. 24 – batymetrická křivka VD Všechlapy	72
Obr. 25 – objemová křivka VD Všechlapy	73
Obr. 26 – schéma vedení příčných profilů	77
Obr. 27 – výsledné příčné řezy skrz údolí vodní nádrže Všechlapy	78
Obr. 28 – 4,6. říční kilometr Křižanovského potoka v nadmořské výšce 725 m. n. m	80
Obr. 29 – sesunutá akumulace do Křižanovského potoka.....	81
Obr. 30 – akumulovaný sediment v dešťové zdrži na Hajském potoce	82
Obr. 31 – nepropustné opevnění celého koryta Oseckého potoka	82
Obr. 32 – zrnitostní křivka sedimentu potoka Bouřlivec a Loučenského potoka.....	83
Obr. 33 – zrnitostní křivka profilu A.....	84
Obr. 34 – zrnitostní křivka profilu C	84
Obr. 35 – koncentrace hliníku v profilech jader A a C a v přítocích.....	85
Obr. 36 – koncentrace arsenu v profilech A a C a přítocích	86
Obr. 37 – koncentrace kadmia v profilech A a C a přítocích	87
Obr. 38 – koncentrace mědi v profilech jader A a C a přítocích.....	88
Obr. 39 – koncentrace železa v profilech jader A a C a přítocích.....	89
Obr. 40 – koncentrace rtuti v profilech jader A a C a přítocích	90
Obr. 41 – koncentrace niklu v profilech jader A a C a přítocích.....	91
Obr. 42 – koncentrace olova v profilech jader A a C a přítocích	92
Obr. 43 – koncentrace titanu v profilech jader A a C a přítocích.....	93
Obr. 44 – koncentrace zinku v profilech jader A a C a přítocích	94

Seznam tabulek

Tab. 1 - evidované znečištění v povodí potoka Bouřlivec po nádrž Všechlapy	21
Tab. 2 – pojmenování zrn frakcí dle ČSN EN ISO 14688-1	27
Tab. 3 – procesy ovlivňující mobilizaci kovů a polokovů mezi sedimentem a vodním prostředím	30
Tab. 4 – souřadnice odebraných vzorků sedimentů	45
Tab. 5 – geomorfologické členění studovaného území	52
Tab. 6 – použité veličiny pro hydrografické výpočty.....	59
Tab. 7 – hodnoty pro klasifikaci charakteristiky povodí	60
Tab. 8– zastoupení jednotlivých tříd krajinného pokryvu CORINE Land Cover	65
Tab. 9 – plochy a objemy jednotlivých hloubnic	72
Tab. 10 – plochy a objemy jednotlivých hloubkových stupňů	73
Tab. 11 – třídy znečištění sedimentů podle klasifikačního systému pro region Labe - GHW – Elbe..	95
Tab. 12 – hodnocení koncentrací naměřených v potocích a průměrných koncentrací vybraných prvků v odebraných profilech jádrech z VD Všechlapy.....	96
Tab. 13 – třídy znečištění sedimentu podle hodnoty geoakumulačních indexů	97
Tab. 14 – pořadové koncentrace přirozené hodnoty koncentrace vybraných prvků	97
Tab. 15 – výsledné geoakumulační indexy	98
Tab. 16 – prahové hodnoty pro normy environmentální kvality sedimentů.....	100
Tab. 17 – výsledné třídy znečištění sedimentů.....	100

Seznam zkratk

ČGS – Česká geologická služba

ČSN – česká technická norma

ČUZK – Český úřad zeměměřičský a katastrální

DIBAVOD – digitální báze vodohospodářských dat

DMR – digitální model reliéfu

HEM – hydroekologický monitoring

KS – klimatická stanice

LG – limnigraf

MKOL – Mezinárodní komise pro ochranu Labe

MVN – malá vodní nádrž

SMO – státní mapa odvozená

POH – Povodí Ohře

PP – přírodní památka

PR – přírodní rezervace

VD – vodní dílo

ZABAGED – základní báze geografických dat

1. ÚVOD

1.1 Úvod

Vodní díla jsou nedílnou součástí moderní krajiny. Na jednu stranu plní ochranou a retenční funkci před epizodami povodní i sucha a zadržují vodu v krajině, na druhou stranu jsou často diskutována jako nežádoucí uměle vytvořená migrační bariéra v přírodě. Dalším aspektem, který nesmí být zapomenut je ten, že i přes takovýto umělý zásah do přírody jako je výstavba přehradní hráze, stále probíhají přirozené přírodní procesy jako je eroze, transport a sedimentace v rámci vodního toku. Takto vytvořená bariéra tyto procesy pozměňuje. Obecně ve všech vodních plochách ať zahrazené přírodou či člověkem, klesá unášecí schopnost vody nést částice a následně dochází k jejich sedimentaci a akumulaci na dně. Takto přinesené částice v podobě plavenin či splaven na sebe váží i další biologické nebo antropogenně vytvořené látky, které se společně s neseným materiálem akumulují na dně vodních ploch. Sedimentací dochází k přirozenému zazemňování vodních těles a tím i snížení objemu vody v nádržích. Dalším aspektem je také množství znečišťujících látek, které bylo pomocí sedimentovaných částic po delší dobu akumulováno na dně nádrže, a které pak při extrémních událostech, jako jsou třeba povodně, může být znovu remobilizováno a následně ve velké koncentraci redistribuováno do nižších částí povodí pod vodním dílem.

1.2 Cíle diplomové práce

Cílem diplomové práce je zhodnotit současný objem sedimentů ve vodní nádrži Všechlapy a vypočítat využitelný objem vody, který slouží jako záložní zdroj vody pro chladicí účely nedaleké tepelné elektrárny Ledvice a také zásobuje vodou sklárnu AGC Flat Glass Czech. Výsledky budou porovnány se zprávou o měření hloubek a koncentrací vybraných elementů v sedimentech, vyhotovenou v roce 1993 společností ENVI s.r.o. a následně také s vytvořeným modelem původního dna, který je vytvořen na základě poskytnuté mapy původního terénu, před vystavěním přehradní hráze a zatopením původního údolí. Součástí práce je také zhodnocení míry znečištění sedimentů kovy a polokovy, které se váží na velmi jemnozrnné sedimenty, a proto je tato analýza také doplněna zrnitostní analýzou jemnozrnné frakce.

Pro zhodnocení hloubkových poměrů bude provedeno vlastní batymetrické mapování a bude využito prostorových nástrojů softwaru ArcGIS.

Tato diplomová práce vznikla ve spolupráci státního podniku Povodí Ohře (dále jen POH). Výsledky z této diplomové práce poslouží pro zhodnocení míry zanešení vodní nádrže Všechlapy a případné bilanční výpočty z hlediska zásobování přilehlé sklárny a tepelné elektrárny.

1.3 Historie a současnost mapování stojatých vod a výzkumu kvality sedimentů

Na mapování stojatých vod, v první řadě přírodních jezer je zaměřeno mnoho oborů na Přírodovědecké fakultě již přes sto let. Mezi prvními výzkumy ve 20. letech 20. století se řadí mapování šumavských jezer Václavem Švabrou. Systematickému měření hloubek se ve stejném časovém období začal věnovat Josef Schaffer, který mapoval vývoj hloubek tatranských ples. Od 70. let 20. století je zkoumána dynamika zanášení Mladotického jezera a je sledována až do současnosti (Janský a Šobr 2003).

Na samostatný parametr jako je kvalita sedimentů při zhodnocování celkové kvality povrchových vod začalo být pohlíženo teprve v 90. letech 20. století. Nicméně systematicky se vzorkovala pouze povrchová vrstva v korytech. Takto odebrané vzorky ale nereprezentovaly celkové znečištění sedimentů z hlediska starých zátěží uložených v nižších polohách akumulovaného sedimentu. Nový pohled na znečištění sedimentů nastal po roce 1989, kdy změna politického režimu začala být přívětivější k přeshraničním spolupracím. Díky tomu vznikla roku 1991 Mezinárodní komise pro ochranu Labe (dále jen MKOL), která během 90. let stihla zahájit několik projektů zaměřených na monitoring kvality vody v Labi, včetně sledování profilů sedimentů říční nivy a pozadových koncentrací vybraných elementů v nich obsažených (Chalupová 2011).

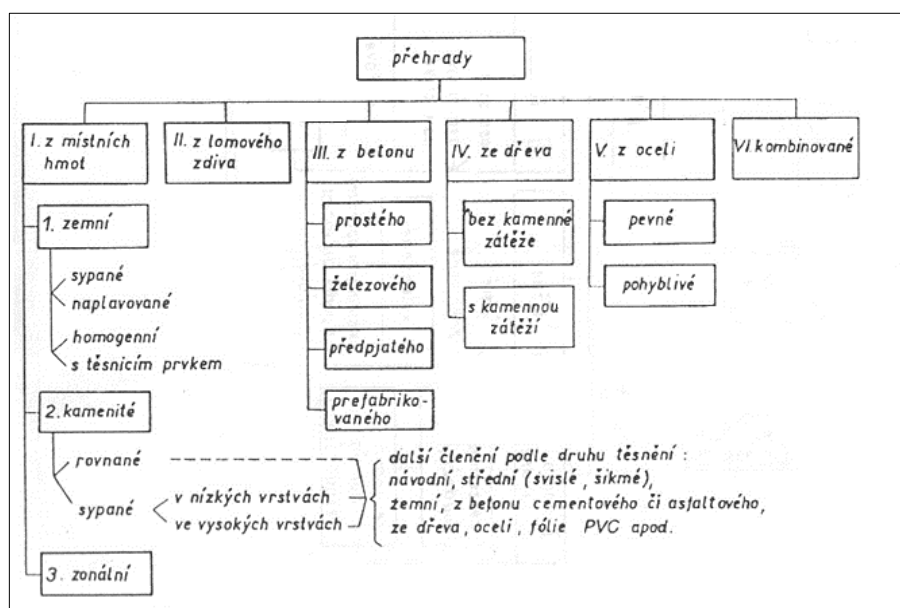
Od začátku nového tisíciletí vzniklo několik prací věnujících se hydrologickým poměrům, kvalitě vody a kvalitě akumulovaných sedimentů v labských fluviálních jezerech (Chalupová 2003; 2011; Beranová 2018).

Mimo fluviálních jezer se začala pozornost obracet také na antropogenní vodní nádrže. Kvalitě sedimentů ve vodní nádrži Kadaň a Nechanice a jejich zazemňování se věnovali Grygar a kol. (2020). Vodní nádrži Les Království se věnovali Bábek a kol. (2020) a také Raida (2019). Výše zmínění též využívali historických podkladů k rekonstrukci údolí před výstavbou přehradních hrází. Velmi komplikovanou studii provedl Sedláček a kol. (2017) na vodní nádrži Nové Mlýny, která je specifická tím, že do nádrže ústí tři dílčí povodí, jejichž zdrojové oblasti pramení v jednotkách s rozdílnou geologií a prochází různými úrovněmi a zdroji kontaminace.

V současné době se pro výpočty objemu sedimentů využívají také technologicky náročnější metody, jako je například využití elektrické odporové tomografie (ERT). Tuto technologii testovali Hartvich a kol. (2020) na Mladotickém jezeru.

1.4 Údolní nádrže v ČR

Údolní nádrže jsou významnými vodohospodářskými objekty. Vznikají přehrazením údolí přehradou. Stavba přehrady přehradí údolí toku a tím uzavírá prostor pro hromadění vody z různých důvodů jako je například zásobování nebo například ochranný účinek před povodní. Přehrady můžeme klasifikovat dle různých kritérií, jako jsou například její hlavní stavební materiál nebo dle konstrukce a statického působení. Nejobjemnější nádrží v České republice je vodní nádrž Orlik, která dokáže pojmuje 703 mil. m³ a byla vystavěna v roce 1963 (Kříž 1996).



Obr. 1 – rozdělení přehrad podle hlavní stavební hmoty (zdroj: Kříž 1996)

Vodní nádrže s objemem menším než 2 miliony m³ a jejichž hloubka nepřesahuje 9 m lze dle ČSN 75 2410 klasifikovat jako malé vodní nádrže (Vrána a Beran 2013).

2 POPIS ÚZEMÍ – POVODÍ POTOKA BOUŘLIVEC

2.1 Vodní tok Bouřlivec

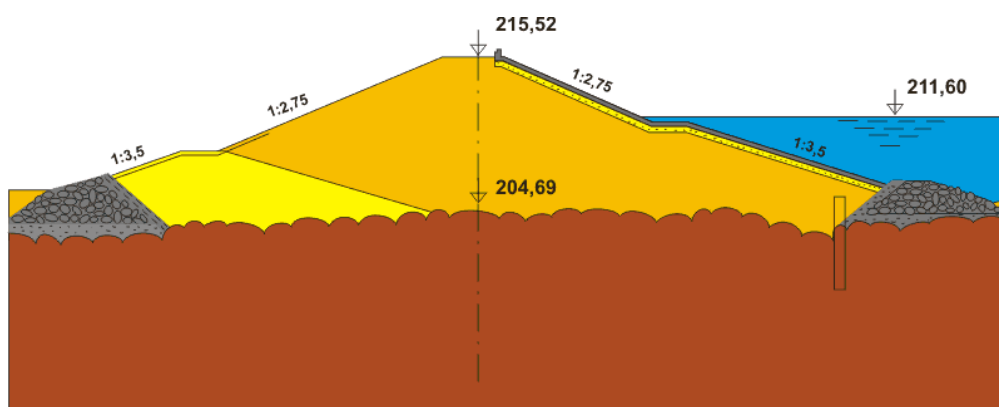
Bouřlivec, nebo také jinými názvy Bouřlivý potok nebo Bouřlivák, historicky dříve Riesen Bach. Tento tok pramení severozápadně od obce Mikulov ve výšce 780 m n.m. a ústí v nadmořské výšce 190 m u obce Hostomice jako levostranný přítok řeky Bíliny. Je to vodohospodářsky významný tok. Horní část toku má vlastnosti řadící se do pstruhové vody (od pramene až po obec Hrob). Zbylá část dolního toku je klasifikována jako mimopstruhové vody. Část jeho koryta byla v důsledku těžby hnědého uhlí v dolech Otakar a Barbora přeložena (Vlček a kol. 1984). Povodí Bouřlivce bylo v 50. letech 20. století zvětšeno v důsledku přeložení Radčického, Lomského, Loučenského, Oseckého a Hajského potoka do povodí Bouřlivce. Přeložení těchto toků bylo z důvodu založení hnědouhelného lomu Bílina. Například původně Lomský potok, tekł přes bývalou obec Hrdlovka a vléval se do řeky Bíliny. V současné době se zde nachází vnější výsypka Pokrok patřící k lomu Bílina a Lomský potok je odvodňován do řeky Bíliny přes Loučenský potok a následně přes potok Bouřlivec (Santnerová 2019). Uměle vytvořený vodní tok, který tyto toky převádí umělým korytem se nazývá Klášterský potok. Od soutoku s Loučenským potokem se této umělé přeložce říká Loučenský potok až po jeho soutok s hlavním tokem povodí – Bouřlivcem (Krušňohorci 2017).

2.2 Vodní nádrž Všechlapy

Toto vodní dílo bylo vybudováno v letech 1958-1961 společně s přeložkou Klášterského/Loučenského potoka. Toto vodní dílo se nachází 4,264. říčním kilometru a bylo vystavěno za účelem zajištění minimálního průtoku v Bouřlivci pod hrází v hodnotě 10 l/s a také pro celoroční souvislý odběr vody pro Elektrárnu Ledvice včetně havarijní rezervy v době odstavení Labského přivaděče. Tento odběrný bod se nachází na levém břehu nádrže a jedná se o potrubí o průměru 1 m. Tento náhradní zdroj může gravitačně takto zásobovat elektrárnu po dobu 4 dnů (Krajský úřad Ústeckého kraje 2015). Dalším odběratelem vody je AGC Flat Glass Czech – společnost vyrábějící skla pro automobilový průmysl a stavební sektor (POH 2019).

Retenční prostor vodního díla Všechlapy je zhruba z 58 % zásobního charakteru a 42 % objemu slouží k ochraně (Pail 2015).

Vodní dílo Všechlapy se řadí do kategorie malá vodní nádrž dle ČSN 75 2410. Malé vodní nádrže jsou definovány jakožto díla s objemem menším než 2 miliony m^3 a jejichž hloubka nepřesahuje 9 m (Vrána a Beran 2013). Nádrž je přehrazena přímou zemní sypanou hrází, kdy koruna hráze dosahuje kóty 215,52 m n.m. Hráz je až 11,8 m převýšena oproti původnímu terénu a délka koruny hráze je 170 m. Hladina zásobního prostoru je ve výšce 211,6 m n. m. Celkový zatopený prostor je udáván dle POH 1,371 mil. m^3 a objem zásobního prostoru činí 484 000 m^3 (POH 2019). Nicméně skutečný objem vodní masy je pravděpodobně menší, než je uveden výše z důvodu přirozeného procesu zazemňování vodní nádrže.

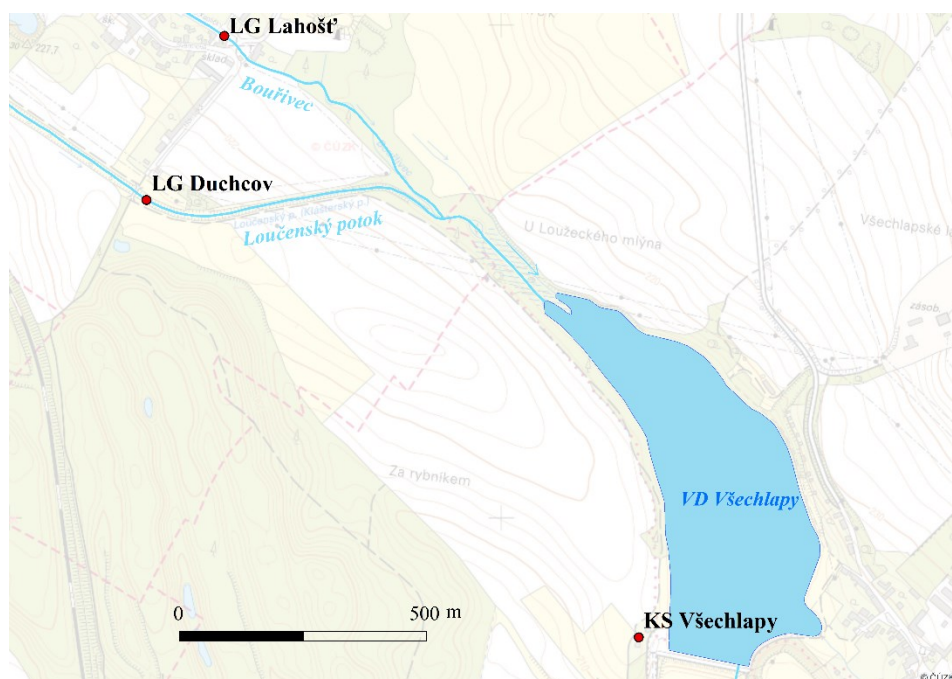


Obr. 2 – profil hráze vodní nádrže Všechlapy (POH 2019)

Původně se v místě vodní nádrže Všechlapy nacházel Loužecký mlýn [„Luschemühle“], který byl zmiňován od roku 1930. V blízkosti mlýna se dříve také nacházely dva přilehlé rybníky. Zanikl společně s rybníky v letech 1958–1961 zatopením nově vystavěné vodní nádrže Všechlapy (Škoda 2017).

2.3 Pozorovací stanice v povodí Bouřlivce

Ve sledovaném povodí se nachází jedna klimatická stanice KS Všechlapy a 3 limnigrafy LG Lahošť na toku Bouřlivce, LG Duchcov na Loučenském potoce a LG Všechlapy umístěn pod výpustí z vodní nádrže Všechlapy. Limnigrafy Lahošť a Duchcov jsou umístěny před soutokem potoka Bouřlivec a Loučenského potoka a slouží pro výpočet bilancovaného přítoku do vodní nádrže Všechlapy. Klimatická stanice Všechlapy je umístěna v blízkosti hráze VD Všechlapy na pozemku POH, na kterém je též umístěno sídlo hrázného.



Obr. 3 – monitorovací stanice v blízkosti vodní nádrže Všechlapy (zdroj: POH, DIBAVOD, ČÚZK, vlastní zpracování)

2.4 Dosavadní výzkum v povodí toku Bouřlivec

Pro povodí potoka bylo vytvořeno hydromorfologické hodnocení metodikou HEM (Langhammer 2014) uznávanou Ministerstvem životního prostředí České republiky, kterou díky poznatkům z terénního mapování vytvořil Jonáš (2020). Cílem jeho práce bylo vytvořit podklad pro návrh revitalizačních opatření v povodí, zakládající se na výše zmíněné metodice. Ve své práci hodnotil páteřní toky potok Bouřlivec a Loučenský potok. Zhodnotil míru antropogenního ovlivnění a umělých zásahů na těchto tocích, které ovlivňují jejich morfologické a ekologické ukazatele. Vodní tok Bouřlivec byl klasifikován dle metodiky HEM (Langhammer 2014) hodnotou 2,89, která spadá do 3. třídy hydromorfologické kvality. Na druhou stranu Loučenský potok byl klasifikován hodnotou 2,30, která spadá do 2. třídy hydromorfologické kvality (Jonáš 2020).

Další výzkum zaměřený na revitalizaci provedla Santnerová (2019), která zpracovala návrh řešení revitalizace přeložky Loučenského potoka v patě výsypky Pokrok. V úseku Oseckého potoka a Loučenského potoka byl zpracován ekologický monitoring s vyhodnocením kvality vody a odběru biologických vzorků makrozoobentosu na 5 profilech toků, který vypracovali Pechová a kol. (2015). Dále se přímo na kvalitu vody v Oseckém potoce zaměřila Radová (2008), která porovnávala kvalitu vody na 4 úsecích celého toku, aby porovнала antropogenní vliv městské aglomerace města Osek na kvalitu vody. Na horní tok potoka Bouřlivec se zaměřila Vondová (2012). Ve své práci navrhla opatření, která by měla při povodňových událostech vést ke zmírnění škod. Zaměřila se také na transport splavenin při vyšších průtocích. Další rekultivací se zabýval Kabát (2011). Jeho cílem bylo navrhnout rekultivaci nedalekého kamenolomu v blízkosti vodní nádrže Všechlapy.

Ztrátám vody v povodí Loučenského potoka a Bouřlivec se zabývala Junková (2021), která v praktické části své diplomové práce identifikovala ztráty vody na základě podélného profilování průtoků a evidovaných odběrů vody. Dále se hydrologickému suchu v povodí věnovala Vítková (2021), která na základě statistického testování klimatických a hydrologických dat zhodnocovala hydrologické sucho. Z jejích výsledků vyplývá, že v povodí potoka Bouřlivec je zvyšující se trend teploty vzduchu a snižující trend přítoku do VD Všechlapy.

2.5 Registrovaná znečištění a antropogenní ovlivnění v povodí

Dle Plánu dílčího povodí Ohře z let 2015-2021 (2. plánovací období) a z návrhu Plánu dílčího povodí Ohře pro roky 2021-2027 bylo v povodí Bouřlivce nad vodní nádrží Všechlapy zaevidováno několik zdrojů znečištění (viz. Tab.1).

Tab. 1 - evidované znečištění v povodí potoka Bouřlivec po nádrž Všechlapy (POH 2015, POH 2021), vlastní zpracování

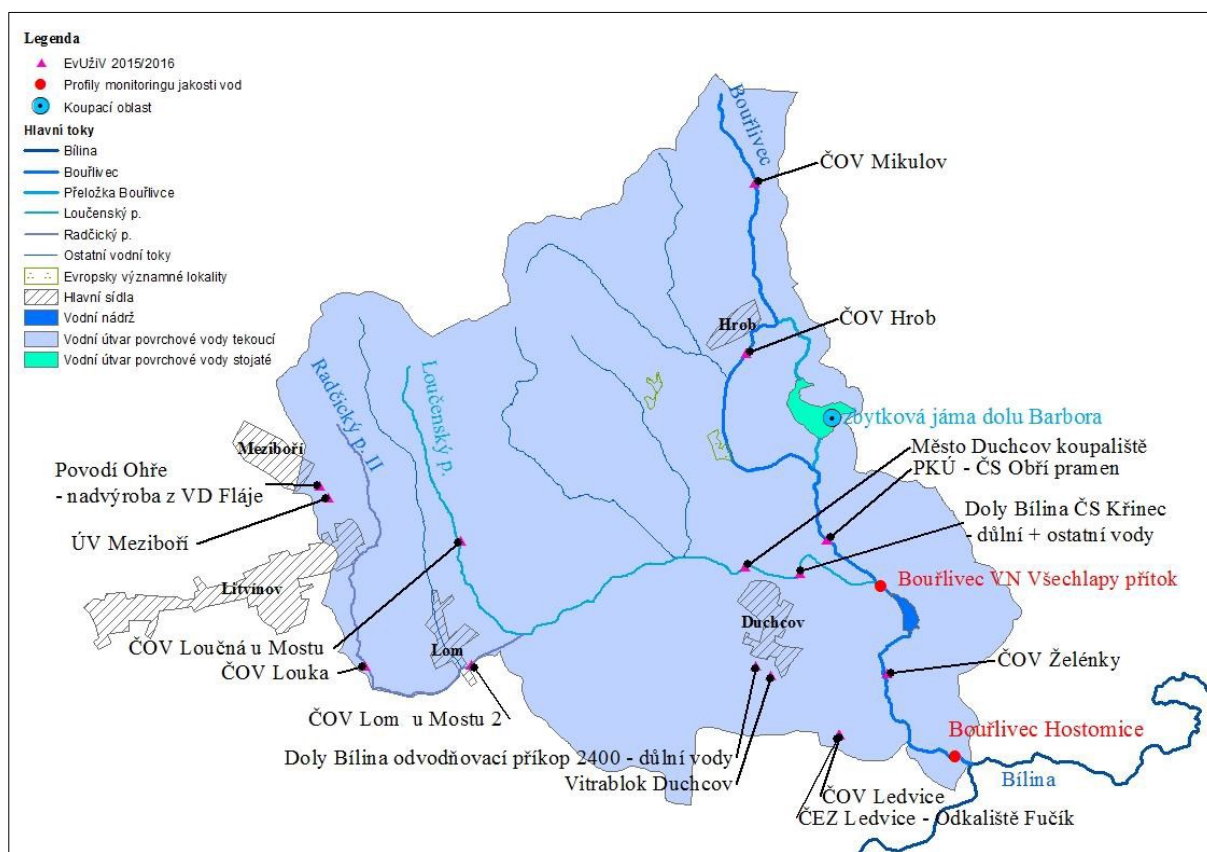
Druh znečištění	Místo	Vodní tok	Znečišťující látka	Datum
Vypouštění městských odpadních vod	SčVK Meziboří ÚV	Radčický potok II včetně přeložky		evidováno k 2012
Významná vypouštění vod z ostatních zdrojů	Doly Bílina - ČS Libkovice	Loučenský potok + přeložka Klášterského potoka		evidováno k 2012
Havarijní znečištění	Jeníkov	Bouřlivec	sedimenty	26.08.2016
Havarijní znečištění	Lom	-	ropné látky	08.09.2017
Havarijní znečištění	Lahošť	-	ropné látky	15.01.2018
Havarijní znečištění	Háj u Duchcova	Bouřlivec	zemědělské produkty	02.09.2018
Bodové znečištění z ostatních zdrojů	Doly Bílina - ÚDV Emerán	Radčický potok I		evidováno k 2018
Bodové znečištění z ostatních zdrojů	Doly Bílina - ČS Libkovice	Původní koryto Radčického potoka		evidováno k 2018

Tabulka neobsahuje informace o bodových zdrojích znečištění, která současná česká legislativa nepovažuje za vypouštění odpadních vod a není u nich sledováno množství ani kvalita vypouštěných vod jako jsou například odlehčovací komory na kanalizačních sítích (POH 2015).

V roce 2010 byla vypracována riziková analýza pro sanaci říčního sedimentu v potoce Bouřlivec. Jedním z identifikovaného znečištění zjištěného v sedimentech bylo staré znečištění dehtem z bývalých skláren Kavalier (SedBiLa 2014).

2.6 Sledování kvality vody v povodí

Ze zprávy „Kvalita vody v Bílině a návrhy opatření k jejímu zlepšení“ vyplývá, že v monitorovacím profilu č. 1088 Bouřlivec Hostomice byla dle metodiky hodnocení kvality vody dle ČSN 75 7221 v povrchové vodě zjištěna vyšší koncentrace arsenu, nicméně tato koncentrace je v závěrečném shrnutí přisuzovaná přirozenému pozadí Krušných hor. Největší problém je dle této zprávy komunální znečištění způsobené nedostatečným čištěním odpadních vod a v závěru jako hlavní opatření navrhuje zlepšení kanalizační sítě – v obcích Jeníkov, Oldřichov, Verneřice u Hrobu, Zabuřany. Vyhodnocovaný monitorovací profil č. 1088 Bouřlivec Hostomice se nachází 400 m do soutoku Bouřlivce s Bílinou (POH 2017). Kvalita vody není ve vodní nádrži Všechlapy od roku 2004 sledována (POH 2019).



Obr. 4 – vyznačení profilu monitoringu jakosti vod, vypouštění, základních toků, koupacích oblastí a zranitelných oblastí (zdroj: převzato z POH (2017))

3. BATYMETRICKÉ MAPOVÁNÍ A KVALITA SEDIMENTŮ

3.1 Batymetrické mapování

Slovo batymetrie pochází z řeckého složení slov bathys – meterein, což v překladu znamená měření hloubek. Obecně batymetrie je název pro měření hloubek oceánů, moří, jezer a jiných vodních těles. Tato disciplína původně vznikla již od dob počátků námořní plavby, kdy započala první měření hloubek z důvodu zjišťování průplavnosti vodních cest pro vodní plavidla (Pokorná 2006).

Batymetrické měření je důležité pro určení morfometrických charakteristik jezerních a pánví, sestavení batymetrické křivky a následným výpočtem objemu (Janský a Šobr 2003). Zjištění objemu vody je pro projektanty a vědecké pracovníky důležité k výpočtu doby zdržení vodního tělesa nebo pro modelování situací koncentrací znečišťujících látek a živin, anebo pro výpočet produktivity vodního tělesa (Hollister a Milstead 2010). Morfometrické charakteristiky jsou také důležité vstupní informace pro návrh hydrobiologického výzkumu, kdy jejich znalost umožní lepší návrh rozmístění odběrů pro reprezentativní vzorkování či pro výpočet látkových bilancí v nádržích (Psenakov a kol. 2001).

3.1.1. Měření hloubek

Podstatou batymetrického mapování je dostatečné a reprezentativní měření hloubek v dobře zvolených intervalech. Je důležité četnost měření přizpůsobovat každé jednotlivé lokalitě na základě její různorodosti a proměnlivosti.

Nejstarší metou je měření hloubky pomocí olovnice anebo pomocí cejchované latě. U olovnice, v podobě závaží pověšeného na laně, odečítáme hloubku pomocí odmotané délky lana při dopadu závaží na dno. Pro mělká vodní tělesa nebo i často místa porostlá bujnou litorální vegetací je používána cejchovaná lať, která bývá opatřena patkou, aby nedocházelo k jejímu zabodávání do dnového sedimentu (Česák a Šobr 2005).

V současné době nejvíce používanou metodou měření hloubek je využití sonaru nebo též echolotu. Echolot vysílá akustickou vlnu, která prochází vodním prostředím do té doby, než narazí na dno či jinou překážku od které se zpětně opět odrazí. Takto odražená vlna je opět zachycena zpětně echolotem, který následně z času, který uplynul mezi vysláním a příjmem

odražené vlny vypočítá výslednou hloubku. Tato metoda měření má své limity. Použitelnost této metody je v rozmezí hloubek 0,4 až 200 m. Je to způsobeno tím, že vlna vyslána z echolotu má kónický průběh, tudíž s hloubkou se zvětšuje plocha, od které může být odražena a snižuje se tím i přesnost měření (Česák a Šobr 2005).

Další metodou měření hloubek může být také metoda laserového skenování. Pro měření terénu pod vodní hladinou se využívají laserové paprsky ze zelené části spektra. Je to z toho důvodu, že oproti více známému laserovému paprsku využívající červenou část spektra, je tento „zelený laser“ schopný šířit se i vodou (Mandlbürger a kol. 2015). Výše zmíněný laserový paprsek využívající červenou část spektra je spíše vhodný pro zjištění výšky hladiny vodního tělesa nebo pro zpřesnění jeho břehové linie (Uhlířová a Zbrožil 2009).

3.1.2 Zpracování a interpolace dat

Dalším procesem pro získání znalosti batymetrických podmínek, je samotné zpracování naměřených dat. Výsledkem batymetrického mapování jsou pouze bodová data, tudíž známe hodnoty hloubek pouze v určitém bodě. Proto je třeba neznámé hodnoty mezi jednotlivými body interpolovat.

Pro interpolaci dat existuje spousta softwarů jako jsou například Surfer, ArcMap nebo Famulus (Psenakov a kol. 2001; Ježek 2015). Existuje spousta interpolačních metod, každá interpolační metoda má určitou vlastnost chování, proto naše vlastní volba interpolační metody by měla odrážet námi očekávané předpoklady chování prostorové veličiny (Ježek 2015).

Nejčastěji doporučovanou interpolační metodou je metoda kriging. Dle Kuchařové (2009) je tato metoda nejpresnější a také ve většině případech společně s interpolační metodou IDW je vizuálně nejrealističtější. Kriging je interpolační metoda, která zachovává hodnoty naměřené v bodě a mezi ně vytvoří shladenou křivku. Vlastností krigingu je, že jeho chyba, rozptyl i váha je nepřímo závislá na rozložení datových bodů (Ježek 2015).

3.1.3 Využití starších mapových podkladů k rekonstrukce původního terénu

Využitím starých mapových podkladů v podobě archivních leteckých snímků či historických map lze dosáhnout k velmi vzácným historickým informacím, které pomáhají pochopit historické i současné prostorové uspořádání krajiny. Staré mapové podklady se pro současné účely převádějí do digitální podoby skenováním. Následně pro přiřazení prostorové informace se provádí georeferencování mapového díla za pomoci identických vlíčovacích bodů. Dále se tato mapová díla s již přiřazeným souřadnicovým systémem mohou zpracovávat, například pomocí vektorizace zájmových objektů. Vektorizaci můžeme dále vyčlenit na manuální, poloautomatickou anebo automatickou (Brůna a kol. 2015).

Automatickou vektorizaci lze provést například v nadstavbě ArcScan programu ArcGIS (Pacina a kol. 2021), nicméně u starších na sebe navazujících mapových listů, které měly během let různé typy konzervace, lze často využít pouze manuální vektorizaci z důvodu odlišných vyblednutí a kvalit jednotlivých listů (Fuchs a kol. 2015).

Jako nejvýznamnějším podkladem pro rekonstrukci říčního údolí je dle Paciny a kol. (2021) využití starých mapových podkladů. Ti využily Státní mapu odvozenou v měřítku 1: 5000 (SMO-5) pro rekonstrukci původní údolí řeky Vltavy v úseku celé Vltavské kaskády. Následnou vektorizací a využití 3D modelování vytvořili digitální model terénu (DMR) zájmové oblasti říčního údolí před výstavbou a zatopením vodními nádrží. Dále na přehradě Nechanice a Kadaň využili Grygar a kol. (2020) pro rekonstrukce údolí před výstavbou přehrad topografickou mapu v měřítku 1: 5000 pro následné vytvoření digitálního modelu terénu a posouzení vývoje sedimentů po výstavbě nádrží.

3.2 Analýza dnových sedimentů

Výstavba přehradních nádrží má negativní vliv na životní prostředí v několika směrech. Nádrže se stávají migrační překážkou pro biotu, zamezují přirozené distribuci živin v povodí a v neposlední řadě vytvářejí velké útvary sedimentů, ve kterých může být obsaženo mnoho znečišťujících látek. Tyto velké rezervoáry potenciálně nebezpečných látek mohou být remobilizovány například extrémní povodní nebo obdobím extrémního sucha (Grygar a kol. 2020). Výraznou roli na množství sedimentů hraje také poměr odvodňovaného povodí nad vodním dílem a celková plocha vodního díla. Tento poměr je důležitým faktorem pro určení množství sedimentů a nutrientů hromaděných ve vodním díle (Shaw a kol. 2002).

3.2.1 Zrnitost sedimentů

Velikost zrna je základní vlastností částic sedimentu. Ta ovlivňuje jejich vznos, transport a akumulaci a poskytuje tedy důležité informace o původu sedimentu, jejich pohyb v minulosti a podmínky při jejich uložení (Pye a Blott 2004).

Jelikož se kovy a polokovy velmi ochotně váží na jemnozrnné frakce sedimentů, pro zhodnocení celkové kontaminace sedimentu je nezbytné chemickou analýzu obsahu kovů a polokovů doplnit také zrnitostní analýzou jednotlivých částí sedimentu. Zrnitostní složení sedimentů se ve vertikálním směru mění, což je zapříčiněno různými, v historii probíhajícími procesy v korytě toků (například povodně) (Chalupová 2011).

Zrnitost materiálu lze určovat mnoha způsoby. Nejznámější metodou je síťový rozbor kdy se materiál přesívá přes analytická zkušební síta vyrobená dle standardizovaných norem o určitém průměru oka. Při této metodě se porovnává nadsítná a podsítná složka a dle toho se určuje podíl zrnitostní frakce o určité zrnitosti (Jelínek a kol. 2008).



Obr. 5 – zkušební síta o velikosti oka 2 mm a 0,063 mm (fotografie autora)

Další metodou je hustoměrná metoda. Vzorek se rozmíchá v destilované vodě a následně se měří v daných časových intervalech hustota suspenze, která v závislosti na sedimentaci částic postupně klesá (Chalupová 2003).

Další možností pro určení zrnitostních podílů jemnější frakce je využití laserové granulometrie. Její princip je založen na laserové difrakci, kdy částice vzorku jsou ozářeny laserem. Následně na částicích vzorku dochází k ohybu neboli difrakci laserového paprsku, kdy úhel ohybu je nepřímo úměrný velikosti částic vzorku. Tato metoda dokáže stanovit velikost částic v rozmezí 0,04–2000 μm (Pye a Blott 2004).

Jednou z nejčastějších klasifikací zrnitosti je dle ČSN EN ISO 14688-1 (721003) „Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařizování zemin – Část 1: Pojmenování a popis“. Pojmenování jednotlivých zrnitostních frakcí dle této technické normy popisuje následující tabulka (Tab.2). Dle Lamboje (2005) je sítování či prosévání určené do velikosti oka 0,125 mm a pro určení jemnější frakce je vhodné již použít hustoměrnou metodu popsanou výše.

Tab. 2 – pojmenování zrn frakcí dle ČSN EN ISO 14688-1

skupiny zemin	frakce	značka	velikost zrn v mm
velmi hrubozrnná zemina	<i>velký balvan</i>	<i>LBo</i>	<i>od 630</i>
	<i>balvan</i>	<i>Bo</i>	<i>od 200 do 630 včetně</i>
	<i>valoun</i>	<i>Co</i>	<i>od 63 do 200 včetně</i>
hrubozrnná zemina	<i>štěrk</i>	<i>Gr</i>	<i>od 2,0 do 63 včetně</i>
	<i>hrubozrnný štěrk</i>	<i>CGr</i>	<i>od 20 do 63 včetně</i>
	<i>střednězrnný štěrk</i>	<i>MGr</i>	<i>od 6,3 do 20 včetně</i>
	<i>jemnozrnný štěrk</i>	<i>FGr</i>	<i>od 2,0 do 6,3 včetně</i>
	<i>písek</i>	<i>Sa</i>	<i>od 0,063 do 2,0 včetně</i>
	<i>hrubozrnný písek</i>	<i>CSa</i>	<i>od 0,63 do 2,0 včetně</i>
	<i>střednězrnný písek</i>	<i>MSa</i>	<i>od 0,2 do 0,63 včetně</i>
	<i>jemnozrnný písek</i>	<i>FSa</i>	<i>od 0,063 do 0,2 včetně</i>
jemnozrnná zemina	<i>prach</i>	<i>Si</i>	<i>od 0,002 do 0,063 včetně</i>
	<i>hrubozrnný prach</i>	<i>CSi</i>	<i>od 0,02 do 0,063 včetně</i>
	<i>střednězrnný prach</i>	<i>MSi</i>	<i>od 0,0063 do 0,02 včetně</i>
	<i>jemnozrnný prach</i>	<i>FSi</i>	<i>od 0,002 do 0,0063 včetně</i>
	<i>jíl</i>	<i>Cl</i>	<i>do 0,002 včetně</i>

3.2.2 Metody a způsoby stanovení kovů a polokovů v sedimentech

Kovy a polokovy jsou v sedimentech vázány pomocí různých chemických vazeb. Stabilita těchto vazeb je závislá na okolním prostředí, proto například změna pH anebo redoxního potenciálu mohou být tyto vazby jednoduše narušeny a dochází k uvolňování vázaných kovů a polokovů do prostředí (Chalupová 2011).

Největší riziko pro znečištění prostředí vytváří prvky, které se uvolňují již při iontové výměně (např. Cd, Cu, Zn). Také prvky vázané v uhličitanech nebo na hydratovaných oxidech jsou značným rizikem, kdy jsou součástí produktu koagulačních a adsorpčních procesů. Takto vázané prvky kovů a polokovů bývají velmi jednoduše remobilizovány zpět do vodního prostředí. Na druhou stranu existují formy prvků, které jsou vázány pevnou vazbou do sulfidů a oxidů, nebo inkorporované do organické hmoty anebo jinak vázané do krystalických mřížek silikátové frakce sedimentu (Beranová 2018).

Na základě těchto poznatků lze stanovovat obsah kovů a polokovů pomocí různě silných extrakčních činidel, které v závislosti na použitém činidle dokážou uvolnit sledované prvky z různých chemických vazeb. Prvním významným rozkladem je tzv. „pseudototální rozklad“, který dokáže ze sedimentu uvolnit biologicky dostupnou koncentraci kovů a polokovů. Pro tento rozklad se jako extrakční činidlo využívá směs kyseliny dusičné a chlorovodíkové – též známá jako lučavka královská (Chalupová 2011). Tato metoda ale v některých případech nedokáže pevný vzorek úplně rozložit a pokud je požadovaný prvek vázán pevnou vazbou, (například olovo vázané v živcích) nebude jeho koncentrace zachycena. Proto pro určení celkového obsahu kovů a polokovů je nutné použít „totální rozklad“, využívající extrakční činidlo směs kyseliny fluorovodíkové s kyselinou dusičnou a chloristou, které rozloží i silikátovou frakci (Jelínek a kol. 2008). Nicméně Lochovský (2008) uvádí, že pro klasickou vodohospodářskou praxi se rozklad vzorků sedimentu určených pro analýzu kovů a polokovů výlučně provádí pomocí rozkladu lučavkou královskou.

Následně se takto připravené výluhy analyzují pomocí metody AAS (Atomová absorpční spektrometrie) nebo metody ICP EOS (Optická emisní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou) anebo pomocí metody ICP MS (Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou) (Jelínek a kol. 2008).

3.2.3 Kovy a polokovy ve vodním prostředí

Prvek je kov, pokud jeho počet elektronu v posledním zaplňovaném orbitalu je roven číslu periody. Ostatní prvky jsou nekovy. Nicméně prvky, které se nachází v blízkosti hranice mezi kovy a nekovy, mají podobné vlastnosti a nazývají se polokovy (Pitter 2015).

Při posuzování znečištění životního prostředí, jsou kovy a polokovy často řazeny do zvláštní skupiny nazvané toxické či těžké. Tato označení neoznačují stejnou skupinu, jelikož jsou jejich poznávací znaky rozdílné. Mezi těžké kovy jsou řazeny takové kovové prvky, jejichž měrná hmotnost přesahuje 5000 kg.m^{-3} . Na druhou stranu je používán termín „skupina toxických kovů“, kterým je míněna skupina určitých jedovatých kovů, nicméně tato skupina nebyla zatím nikdy ustanovena. Skupina toxických kovů bývá často zaměňována či vykládána jako totožná s těžkými kovy, ale skupina těchto jedovatých kovů obsahuje prvky, které svými vlastnostmi neodpovídají skupině těžkých kovů. Další skupinou zmiňovanou v souvislosti se znečištěním životního prostředí je skupina esenciální kovů (např. Cu a Zn), které se vyznačují důležitou biologickou funkcí a jsou běžnou součástí těl organismů, ale některé mohou být při vyšší koncentraci pro vodní organismy toxické (Pitter 2015). Z prvků stanovovaných v této práci lze tedy jako těžké kovy označit Ag, Cd, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb a Zn. Naproti tomu nepatřící mezi těžké kovy jsou prvky: Al, As, Ti.

Většina kovů a polokovů se vyskytuje ve vodách přirozeně v závislosti na geologických podmínkách (aspoň ve formě stopových prvků). K obohacení vody dochází stykem s půdou nebo s horninovým podloží. Hlavními antropogenními zdroji jsou odpadní vody z těžby a zpracování rud, dále z hutí, z povrchové úpravy kovů, textilního a kožedělného průmyslu. V některých oblastech mohou do prostředí vstupovat také atmosférickou cestou nebo díky exhalací ze spalování fosilních paliv nebo z výfukových plynů motorových vozidel (Pitter 2015).

Obsah kovů a polokovů v sedimentu je také závislý na jeho zrnitosti. Většinou hrubozrný sediment – tudíž s větším poloměrem zrna, má nižší adsorpční rychlost a také proto má i vyšší desorpční rychlost než jemnozrný sediment (Liang Huang 2003). Z toho vyplývá, že kovy a polokovy jsou převážně vázané na jemnozrný sediment, ve kterém také dokáže lépe setrvávat.

Důležité jsou také podmínky prostředí, kdy se tyto látky imobilizují stykem se dnem z vody do sedimentů nebo kdy se látky remobilizují zpět do vodního prostředí ze sedimentů (viz. Tab. 3).

Tab. 3 – procesy ovlivňující mobilizaci kovů a polokovů mezi sedimentem a prostředím (Pitter 2015)

imobilizační procesy	remobilizační procesy
alkalizace – dochází ke srážení kovů	acidifikace – rozpouštění kovů
oxidace	redukce – málo rozpustné formy kovů jsou lépe rozpustné v redukované formě než v oxidované
adsorpce na tuhých fázích (sedimentech)	desorpce
inkorporace do biomasy	uvolňování z odumřelé biomasy
	komplexace

V oblastech postižených antropogenní důlní činností, kde se vyskytují výsypky a v povodí figurují také odpadní vody z těžby, dochází k potenciálnímu ohrožení acidifikací s následným výskytem sulfidů a těžkých kovů. Například také i v Německu se v blízkosti opuštěných těžebních prostor po těžbě lignitu nachází velmi často vysoká acidita vodního prostředí. Ve východním Německu se nachází spousta jezer zatopených po těžbě, jejich hodnota pH dosahovala hodnot nižších než 2. Podobně i ve Španělsku byly nalezeny lokality, kde pH dosahovalo až hodnoty 0,7 a společně s ním byly zjištěny vysoké koncentrace síranů, železa, arsenu, zinku, kadmia a olova (Richter a Pecharová 2013).

3.2.4 Vyhodnocení antropogenního znečištění sedimentů

Pro vyhodnocení míry antropogenního znečištění je třeba znát pozadňové hodnoty daného přirozeného prostředí. Do roku 1961 bylo zpracováno několik prací týkajících se pozadňových přirozených hodnot vyjadřující množství jednotlivých prvků zastoupených v zemské kůře. Avšak spousta těchto prací mělo své nedostatky. Přelomovým rokem byl rok 1961, kdy Turekian a Wedepohl vypracovali svou práci „Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust“, ve které určili přirozené pozadňové koncentrace prvků v zemské kůře v závislosti na geografické poloze, a díky které také lze například posoudit míru antropogenního znečištění. Určení pozadňové hodnoty je složité, jelikož se liší rozdíly nejen v zeměpisné šířce, ale i délce. Například pro olovo – pelagické sedimenty obsahující olovo se liší v Atlantickém a Tichém oceánu (Turekian a Wedepohl 1961). Pozadňovým hodnotám se též věnoval Müller (1979), který stanovil výpočet tzv. „*geoakumulačního indexu*“, na s využitím přirozených pozadňových hodnot dle Turekiana a Wedepohla (1961).

V pozdějších dobách se začaly vyskytovat studie pozad'ových koncentrací, které se specializují již na specifikovaném území na úrovních jednotlivých povodí či kontinentů. Například celému regionu povodí Labe při mezinárodním výzkumu pozad'ových hodnot vybraných látek v sedimentech se věnoval Prange (1997), který stanovil klasifikační systém pro celý region Labe – „*GHW Elbe*“. Přímo zaměřenou studii pro určení pozad'ových hodnot pro povodí řeky Bíliny sepsal Lochovský (2008), kdy přirozené pozad'ové hodnoty vybraných těžkých kovů stanovil ze dvou referenčních lokalit – Velvěty a Stadice. Koncentrace byly měřeny z lučavkového výluhu zrnitosti 20 μm tedy pseudototálním rozkladem. Při porovnání s pozad'ovými hodnotami stanovenými Turekianem a Wedepohlem (1961), které byly stanoveny totálním rozkladem (tedy celkovým rozkladem jehož cílem je zjistit celkový obsah prvku ve vzorku), nebyly zjištěny žádné významnější odchylky. Mírně vyšší koncentrace byly ovšem zjištěny pro prvky As, Co, Pb, Se a Zn a na druhou stranu mírně nižší hodnoty pro Cd, Sb a Sn (Lochovský 2008).

Dalšími indikátory kvality sedimentů jsou tzv. normy environmetální kvality, které stanovila MKOL v roce 2014 v rámci sepsání koncepce pro nakládání se sedimenty. Koncepce byla vypracována z důvodu cíle dosažení dobrého stavu vod, který nemůže být dosažen z důvodu starých zátěží a nových difuzních a bodových zdrojů, které znečišťují sedimenty a plaveniny ve vodních tocích. Ta vyhodnocuje stav sedimentů jako celek z pohledu kvality, kvantity a hydromorfologie pomocí příslušných indikátorů. Mezi indikátory kvality byly na základě české a německé legislativy a mezinárodních úmluv (v rámci implementace evropské Rámcové směrnice o vodách) vybrány sledované znečišťující látky, pro které byly určeny 3 třídy klasifikační třídy ohraničené dolní a horní prahovou hodnotou definovaných na základě platných norem environmentální kvality. Mezi tyto vybrané sledované znečišťující látky patří i mimo jiné také vybrané těžké kovy jako jsou rtuť, kadmium, olovo, zinek, měď, nikl a arsen. Dolní prahová hodnota je nejpřísnější dosažitelná hodnota, která umožňuje dosažení všech environmentálních cílů závislých na dobrém stavu sedimentu. Horní prahová hodnota je definována na základě platných environmentálních norem kvality v nadnárodní úrovni (MKOL 2014).

3.2.5 Popis jednotlivých vybraných kovů a polokovů

Olovo (Pb)

Prvek olovo se přirozeně vyskytuje ve vodách v místech zdrojů olověných rud jako je galenit, dále i anglesit a cerusit. V přírodních vodách je jeho výskyt převážně závislý na okolním pH a koncentraci celkového oxidu uhličitého. Antropogenním zdrojem byly v minulosti výfukové plyny (olovnatý benzín). Jelikož má prvek vysoký akumulací koeficient, z dřívějších výfukových plynů se olovo hromadilo ve vegetaci přilehlých silničních komunikací. V neposlední řadě antropogenním zdrojem byla, či stále jsou olověná vodovodní potrubí, která kontaminovala nejen vedenou pitnou vodu, ale i přilehlé okolí svými průsaky a ztrátami způsobené jejich netěsností. Dle obsahu olova v olověných rudách lze za významný antropogenní zdroj označit také odpadní vody ze zpracování rud, z průmyslu vyrábějících barevné metalurgické součástky, ze sklářského průmyslu a také z výroby akumulátorů či různých glazur. Jak bylo již výše uvedeno, olovo má vysoký akumulací koeficient a dokáže se kumulovat nejen v plaveninách, sedimentech a kalcích, ale i v organismech. Je toxické pro vodní organismy a v lidském těle se kumuluje v kostech. Pro organismy se považuje za potenciální karcinogen a působí na neurotoxicky (Pitter 2015).

Rtuť (Hg)

Přírodním zdrojem rtuti je minerál cinabarit a také rtuť bývá obsažena v některých sulfidických rudách. Do prostředí se dostává antropogenně pomocí atmosférické depozice ze spalování fosilních paliv. Dalšími zdroji jsou odpadní vody z průmyslů a také pesticidy s příměsí rtuti. Rtuť v organických sloučeninách má vysoké akumulací indexy v organismech (Pitter 2015). Velmi často rtuť migruje v inkorporované biomase napříč potravního řetězce. Nejvíce rtuti nalezneme v bentických organismech žijících v dnových sedimentech, dále v planktonožravých rybách a piscivorních ptácích. Prvek se vyskytuje v povrchových vodách a sedimentech nejčastěji ve dvoumocné formě Hg^{II} . Částice rtuti se sorbují na jemný sediment, a to nejčastěji je-li v sedimentu obsaženo také železo, hliník anebo se ochotně váží na huminové materiály a rašeliny (Houserová a kol. 2006).

Ve studii Eckleyho a Branfireuna (2008) byla potvrzena závislost mezi koncentrací celkově dostupné rtuti a celkovým obsahem nerozpuštěných látek. Tento fakt byl také potvrzen tím, že instalací dešťových zdrží ve zkoumaném přítoku do jezera Ontario se zamezilo vyššímu zatížení povodí rtutí, z čehož vyplývá, že tyto umělé bariéry v podobě zdrží, jsou dokonalým retardérem těchto toxických polutantů nesených společně se splaveninami.

Expozice rtuti má za následek neurotické, reprodukční a vývojové problémy a má také karcinogenní účinky (Houserová a kol. 2006).

Kadmium (Cd)

Kadmium patří mezi velmi nebezpečné jedy, značně se kumuluje v biomase, plaveninách a sedimentech. Má velmi vysoké akumulární koeficienty a velmi dlouho setrvává v tělech organismů. Obsah v povrchových vodách je často ovlivňován procesy adsorpce a desorpce kadmia na sediment, jelikož jejich sorpční mohutnost závisí na obsahu huminových látek. Díky chemické podobnosti kadmium doprovází zinek v jeho rudách. Hlavními zdroji znečištění prostředí kadmiem jsou atmosférické depozice, fosforečnanová hnojiva, čistírenské kaly a také odpadní vody z průmyslu galvanického pokovování. Často vysoké koncentrace kadmia v čistírenských kalech zapříčiňuje jejich zákaz použití pro zemědělské účely (Pitter 2015).

Zinek (Zn)

Zinek je běžnou součástí hornin, půd i sedimentů. Klasickou formou antropogenního znečištění zinkem je atmosférický spad, do kterého se zinek dostává ze zpracování neželezných rud. Jednou z nejčastěji se vyskytující zinkovou rudou je hornina sfalerit (ZnS) a smithsonit (ZnCO_3). Dále se zinek dostává do prostředí uvolňováním ze zinkových nádob nebo pozinkovaných plechů. Podobně jako kadmium je zinek obsažen i v čistírenských kalech. Zinek patří mezi esenciální stopové prvky pro organismy, nicméně pro vodní organismy, a hlavně ryby je zinek toxický. Nejvíce náchylné jsou lososovité ryby, avšak pro kaprovité ryby je letální koncentrace až 10 x vyšší než pro lososovité (Pitter 2015).

Měď (Cu)

Často je měď uměle introdukována do vodního prostředí pomocí algicidních pesticidů, které jsou určené pro hubení řas v podobě síranu měďnatého (CuSO_4) neboli „modré skalice“. V dnových sedimentech nádrží, kde byl aplikován síran měďnatý z důvodu odstraňování řas, lze nalézt koncentrace až 600 mg.kg^{-1} . Měď patří mezi esenciální prvky pro lidský organismus, pro ryby je však silně toxická. V přírodním prostředí se měď vyskytuje v podobě sulfidů (Pitter 2015).

Titan (Ti)

Prvek titan se nachází v železných rudách a vyskytuje se v podobě minerálu rutil (TiO_2). Antropogenně se titan dostává do povrchových vod v podobě odpadních vod z metalurgického, keramického a chemického průmyslu. Průměrná koncentrace v povrchových tekoucích vodách na území ČR je $11 \text{ } \mu\text{g/l}$ (Pitter 2015).

Arsen (As)

Přirozeně se tento prvek vyskytuje převážně ve formě sulfidů (například minerál arsenopyrit), a také díky zvětrávání různých hornin a půd. Takto mobilizovaný arsen se silně sorbuje v sedimentech obsahující hydratovaný oxid železitý, hlinitý anebo jílové částice. Za předpokladu redukčních podmínek se jednoduše remobilizuje ze sedimentů do kapalné fáze. V sedimentech v našich polohách arsen nacházíme v průměrné koncentraci okolo 36 mg.kg^{-1} . Antropogenním zdrojem arsenu je hutní a těžební průmysl rud a také spalování fosilních paliv (hlavně hnědého uhlí). Významné množství bývá také obsaženo ve výluzích z elektrárenských popílků. Za oxických podmínek se běžně vyskytuje ve stojatých vodách ve formě As^{V} . Za redukčních podmínek v hypolimniu a sedimentech se arsen nachází v trojmocné formě As^{III} , přičemž sloučeniny As^{III} jsou vícenásobně toxičtější než oxidovaná forma As^{V} . Arsen je velmi toxický prvek a v několika případech byly evidovány chronické otravy arsenem obsaženým ve vodě, způsobené dlouhodobou konzumací v menších dávkách (Pitter 2015).

Hliník (Al)

V přírodním prostředí se vyskytuje ve formě hlinitokřemičitanů z jejich zvětrávání a vyluhování. Antropogenními zdroji jsou odpadní vody z povrchové úpravy hliníku, výroby papíru, kůže a barviv. Příměsi hliníku se často používají při úpravách a čištění vod. Často se využívá jako srážedlo pro nadměrné koncentrace fosforu ve stojatých vodách. Hliník je také velmi toxický pro ryby. Jeho toxicita se nejvíce projevuje v acidifikovaných vodách a je závislá pH a také na poměru hliníku a křemíku obsaženého ve vodě. Výskyt hliníku ve vodách byl dříve považován za zdravotně nezávadný. Postupem času ovšem byly prokázány jeho neurotoxické účinky (Pitter 2015).

Stříbro (Ag)

Stříbro se přirozeně vyskytuje v podobě sulfidů (např. argenit). Antropogenní činností se stříbro dostává do prostředí z důlních vod či původního fotografického průmyslu. Sloučeniny stříbra se využívají též jako baktericidní a algicidní prostředky pro dezinfekci studní. Prvek patří mezi toxické kovy a předávkování jím může způsobit hnědnutí kůže. Stříbro se ve vodním prostředí ochotně váže na tuhou fázi, a proto ho převážně nalezneme v sedimentech a suspendovaných látkách (Pitter 2015).

Nikl (Ni)

Nikl se přirozeně vyskytuje v minerálech jako je gersdorfit, pentlandit, nikelit či millerit a je také součástí některých hlinitokřemičitanů. Antropogenně se do povrchových vod dostává z vod odpadních od výroby barevných metalurgických součástek. Nikl je také využíván při výrobě keramiky či skla. Dalším zdrojem může být také kontakt různých poniklovaných součástek s vodním prostředím (Pitter 2015).

Železo (Fe)

Přírodním zdrojem železa v povrchových vodách je ze zvětrávání železitých rud. Přírozené koncentrace jsou tudíž závislé hlavně na geologickém podloží. Antropogenním zdrojem železa je kovozpracující průmysl a korozní procesy. Železo je jedním z hlavních kovů, které jsou součástí sedimentů, jeho koncentrace se v sedimentech pohybuje v řádech desítek g/kg sušiny. Při obsahu sulfidické síry v alkalickém prostředí se do prostředí vysráží v podobě černě zbarveného sulfidu železnatého (FeS), který bývá příčinou černého zbarvení dnových sedimentů. Při dně nádrží se železo vyskytuje ve II. oxidačním stupni Fe^{II} a jeho případná rozpustnost a remobilizace ze sedimentů závisí na podmínkách okolní vody. To způsobuje též vertikální stratifikaci železa ve stojatých vodách, kdy v období letní a zimní stagnace v hypolimniu jsou koncentrace větší než v epilimniu. Zvýšený obsah železa ve vodách zapříčiňuje spíše technické závady v podobě obarvení produktů nebo zhoršuje organoleptické vlastnosti vody. Nebezpečný je obsah železa v chovných vodách, kdy redukovaná forma Fe^{II} v alkalickém prostředí oxiduje na žábách ryb a znemožňuje jim dýchání (Pitter 2015).

3.2.6 Transport kovů a polokovů v sedimentech

Více než 90 % zátěže prostředí kovy a polokovy ve vodním prostředí je vázaná na suspendované částice a sedimenty. Prostorové rozdělení sedimentů v rámci přehrady není jednotné, po proudu směrem k hrázi jsou sedimenty více jemnozrnné a litologicky jednodušší. Koncentrace kovů a polokovů také závisí na velikosti částic sedimentu a na organické hmotě. Ve většině případech koncentrace roste se zmenšujícím se diametrem částice a zvyšujícím se podílem organické hmoty v sedimentu (Sojka a kol. 2018).

Mnoho autorů došlo k různým poznatkům, týkajících se míst s nejvyšší koncentrací kovů a polokovů v rámci prostoru celého tělesa přehrady. Chen a kol. (2010) konstatují, že nejvyšší koncentrace je níže po proudu přehrady. Ukazují se také výsledky, že nejvyšší koncentrace lze zastihnout i v místech výpusti přehrady (El-Amier a kol. 2017). Jedním z nejčastěji se vyskytujícím výsledkem je, že místo s nejvyšší koncentrací kovů a polokovů se nachází v místech přítoku toku do přehrady (Varol 2013).

Korfali (2006) ve svém výzkumu dělí zóny přehrady směrem od přítoku až po výpusť na 3 zóny vyskytujících se koncentrací kovů, a to na vstupní (u přítoku), oxidační a redukční. Ve svém výzkum zjistil, že prvky jako nikl a chrom v sedimentech ubývají v závislosti vzdálenosti od zdrojového přítoku. Tyto dva prvky se asociují na základě formy výskytu železa. Jelikož se železo vyskytuje v blízkosti přehrady v redukované formě, svojí redukcí vypuzuje prvky chrom a nikl. Na druhou stranu koncentrace prvků zinku, mědi a olova korelovaly s množstvím obsažené organické hmoty v sedimentu.

Některé kovy a polokovy jsou schopny se akumulovat v organické hmotě. Spousty z nich mohou být akumulovány do kořenů a listů odumřelé vegetace. Zpětně může také docházet k remobilizaci a uvolnění těchto prvků do vodního prostředí (Sojka a kol. 2018).

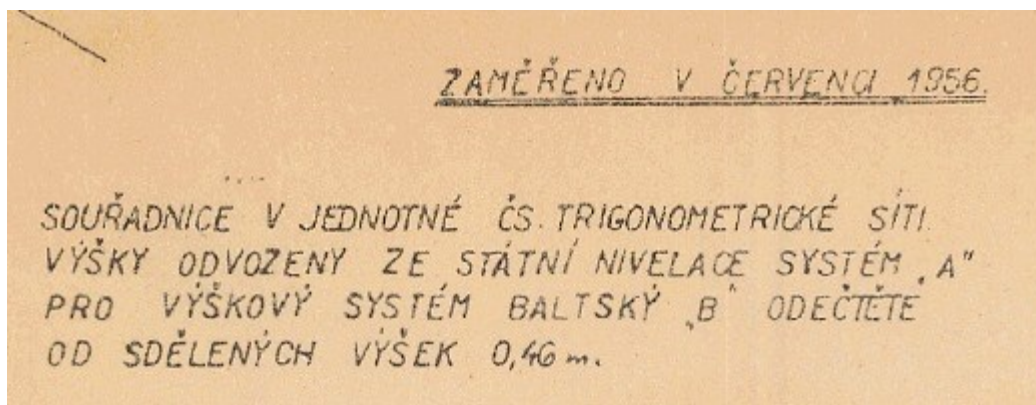
4 METODY A POUŽITÁ DATA

Tato kapitola se zabývá metodami sběru a vyhodnocení batymetrických dat a práci s historickými mapovými podklady. Součástí je také popis odběru vzorků sedimentů a příprava vzorků pro zrnitostní analýzu a chemický rozbor.

4.1 Mapa původního povrchu před výstavbou přehrady Všechlapy

Ze státního podniku Povodí Ohře byl poskytnut přesnější náčrtek povrchu před samotným zatopením území současné vodní nádrže Všechlapy. Získaná mapa byla na podkladu Státní mapy odvozené (dále jen SMO) v měřítku 1: 5 000. Dále v mapě byla zahuštěna výškopisná síť v oblasti plánované přehrady, a to v podobě vrstevnic, znázorňující výšku ve výškopisném systému Jaderský s nulovým bodem v Terstu, používaný do roku 1948. Náčrtek také obsahuje informaci o přepočtu výšek do výškopisného systému Baltský – B46 takzvaný „Baltský – dočasný před vyrovnáním“ používaný v letech 1955–1957. Přepočet z Jaderského systému na systém „Baltský – dočasný“ je zde uveden jakožto odečtení hodnoty 0,46 m od výšky Jaderského systému (viz. Obr. 6).

Od roku 1957 až po současnost se používá výškový systém Baltský po vyrovnání vztažený ke střední hladině Baltského moře s nulovým bodem v Kronštadu. Tento výškový systém byl v roce 1957 jednotně vyrovnán pro všechny socialistické státy (Čada 2021). Odchytky jednotlivých výšek vůči „baltskému – dočasnému“ výškovému systému jsou v řádech jednotek mm, proto je tento rozdíl pro další postprocessing zanedbatelný.



Obr. 6 – nezbytná poznámka pro mapování v období přechodu na jiný výškový systém (zdroj: POH)

4.1.1 Georeferencování poskytnuté historické mapy

Tato získaná mapa byla georeferencována na podklad Státní mapy odvozené v měřítku 1: 5 000 19 vlíčovacími body pomocí 1. polynomicke (afinní) transformace se střední kvadratickou chybou (RMS) 6,9.

Následně byla vytvořena nová liniová vrstva v podobě vrstevnic získaná vektorizací z mapy. Ke každému liniovému prvku byla v atributové tabulce přiřazena hodnota s její nadmořskou výškou v Jaderském výškovém systému. Poté byl vytvořen další sloupec v atributové tabulce pro přepočet na výškový systém Baltský před vyrovnáním, a to odečtením hodnoty 0,46 m.

4.1.2 Model původního terénu

Pomocí funkce *Topo to Raster* byl z liniové vrstvy vrstevnic vytvořen rastr znázorňující terén původního údolí před zatopením. Jako vstupní data byla použita vektorová vrstva původních vrstevnic, ale s výškovými údaji přepočtenými do současného výškového systému.

Následně byla použita funkce *Raster Calculator*, pomocí které byl od rastru odečten rozdíl nadmořské výšky zásobní hladiny pro vodní dílo Vsechlapy pro znázornění hloubnic.

4.2 Laboratorní zpráva z roku 1993

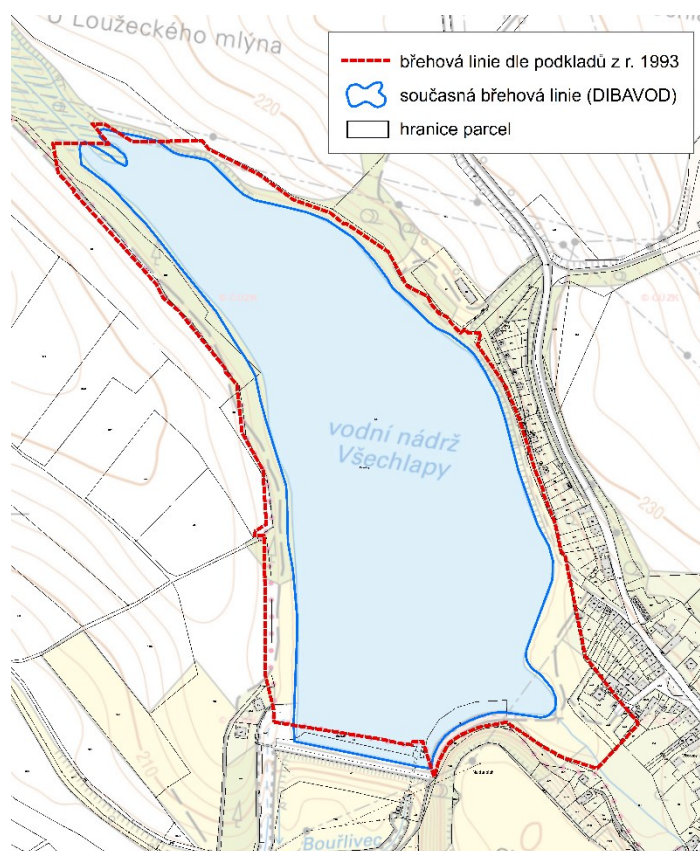
Dle získané laboratorní zprávy z roku 1993, bylo na základě žádosti státního podniku Povodí Ohře provedeno hodnocení sedimentů nádrže Všechlapy u Teplic, kterou prováděla společnost ENVI s.r.o.

Celé vodní těleso bylo při zpracování této laboratorní zprávy rozděleno na 6 příčných profilů měření A–F (A přítok, F hráz). Na každém profilu bylo dle jeho délky provedeno několik odběrů sedimentu. Ve výsledné zprávě byly vytvořeny mapy hloubek vodní nádrže a mapy hloubek sedimentu. Celkový objem sedimentu byl řešiteli odhadnut na 120 000 m³. Součástí je také chemický rozbor prvků obsažený v přípovrchových vrstvách sedimentů do hloubky 30 cm v každém příčném profilu. Chemický rozbor byl v případě dvou vzorků rozšířen do hloubky 100 cm.

Tato laboratorní zpráva měla sloužit jako podklad pro odtěžení černého sedimentu pomocí sacího bagru, podobně jako ve studii Pokorný a Hauser (2002), kteří jsou taktéž zpracovateli zprávy za společnost ENVI s.r.o., nicméně dle ústního sdělení pana Adámka ze státního podniku Povodí Ohře bylo z důvodu velkého množství černého sedimentu od tohoto plánu ustoupeno.

Georeferencováním získaného mapového podkladu byla snaha vystihnout co nejpresněji průběh břehové linie na staré mapě tak, aby co nejlépe odpovídala současné břehové linii. Nicméně při jakémkoliv geografickém zobrazení si tvary břehových linií neodpovídaly. Po kontaktování autorů zprávy, bylo z elektronické komunikace s docentem Pokorným zjištěno, že podkladem obrysu vodního díla Všechlapy je s velkou pravděpodobností katastrální mapa. Při porovnáním s katastrální mapou byl zjištěn přesný obrys, který se shodoval. Tento obrys také odpovídá obrysu zátopy poskytnutým POH.

Získaná mapa zobrazující hloubky byla georeferencována na podklad katastrální mapy (Obr. 7) 13 vřícovacími body pomocí 1. polynomicke (afinní) transformace se střední kvadratickou chybou (RMS) 3,8.



Obr. 7 – břehová linie získaná z laboratorní zprávy z roku 1993 georeferencování na podklad katastrálních map v porovnání se současnou břehovou linií (zdroj: ČUZK, DIBAVOD, POH, vlastní zpracování)

Z georeferencované mapy byly vektorizovány liniové průběhy hloubnic. Následně pomocí funkce *Topo to Raster* byl z liniové vrstvy hloubnic vytvořen rastr znázorňující hloubku vodní nádrže, vycházející z měření v roce 1993. V laboratorní zprávě není uvedena výška hladiny při prováděním mapování a odběru sedimentu, proto byla výška hladiny vztažena k zásobní hladině, aby hloubky byly srovnatelné se současnou batymetrickou mapou.

4.3 Batymetrická mapa

Data pro vytvoření mapy byla sbírána v dubnu 2019 za pomoci přístroje RiverSurveyor M9, který byl umístěn na plováku a tažen za motorovým člunem.

Rychlost pohybu motorového člunu byla dodržována v rozmezí 1–2 m/s, jelikož tažený přístroj ukládá polohové a hloubkové každou sekundu. Z toho vyplývá, že vzdálenost mezi jednotlivými změřenými body kolísá cca od 1 do 2 m. Přesnost polohového měření pomocí RTK referenční stanice byla mezi 3 cm a 1 m. Měřicí zařízení bylo taženo po vodní hladině tak, že byly měřeny příčné profily mezi pravým a levým břehem a celkem bylo takto vytvořeno 43 příčných profilů tvořenými celkem 9741 body se známou polohou a hloubkou. Měření proběhlo při stálé provozní hladině 211,57 m n. m. K výsledným bodům byla přičtena hodnota 0,03 m a tím bylo měření vztaženo ke kótě hladiny stálého nadržení 211,6 m n. m.



Obr. 8 – RiverSurveyor M9 umístěn na plováku, připraven na tažení za motorovým člunem (fotografie autora)

4.3.1 Zpracování naměřených dat a výpočet objemu

Celkem 9741 bodů se známou polohou a hloubkou bylo převedeno do textového poznámkového bloku a implementováno do softwaru ArcGIS za pomoci nástroje *ASCII 3D To Feature Class*. Následně pomocí interpolačního nástroje *Kriging* byla provedená interpolace mezi změřenými body. Výsledkem použití tohoto nástroje je rastrový soubor vyobrazující interpolované hloubky po celé ploše nádrže (výsledná batymetická mapa je součástí příloh (Příloha 5).

Pro výpočet objemu byl využit výsledný raster, který byl převed nástroje *Raster To TIN* do formátu TIN, pomocí kterého již lze vypočítat objem. Za pomoci nástroje *Polygon Volume* byl vypočítán objem pod polygonem ohraničující obrys hladiny (tedy hloubka = 0). Obdobným způsobem byly vypočteny objemy hloubkových stupňů.

4.4 Odběr sedimentů

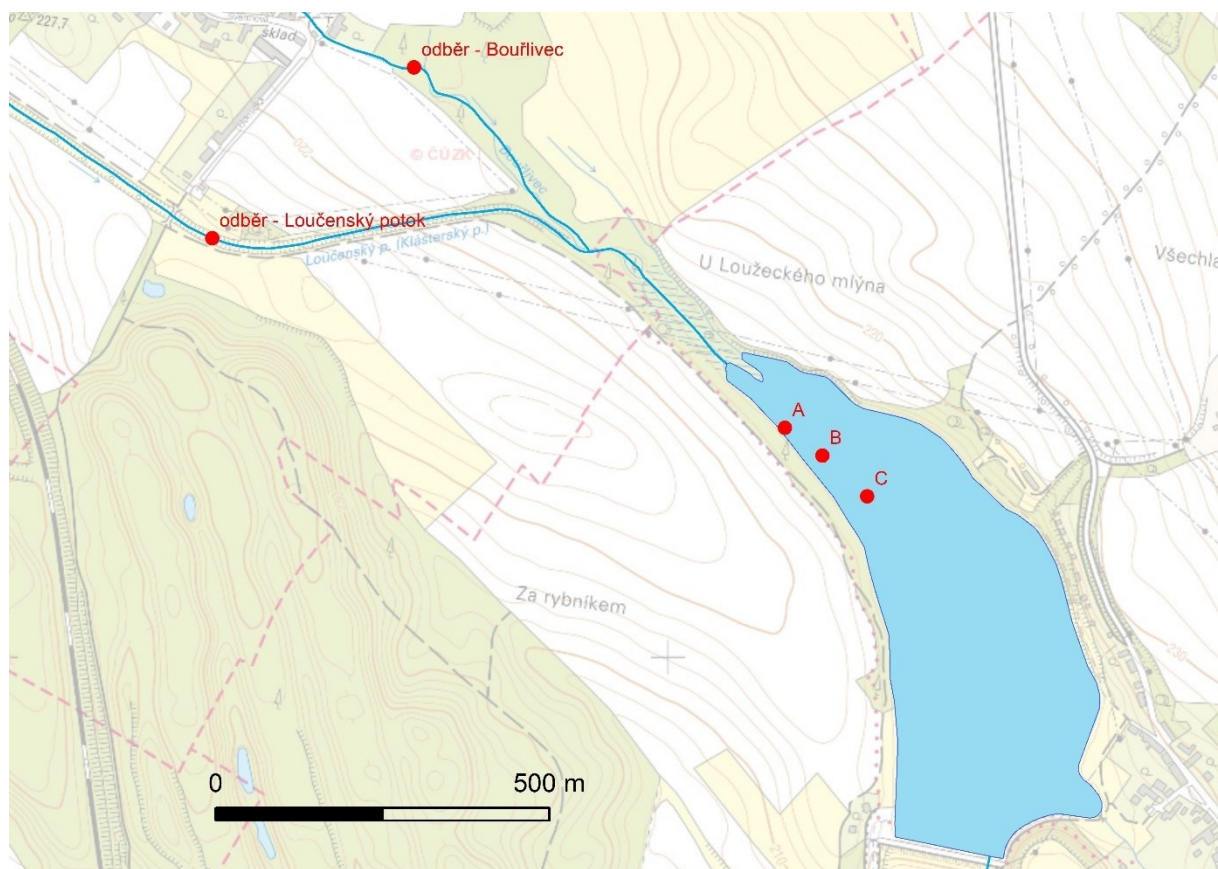
Samostatný odběr sedimentů proběhl dne 16. 2. 2021 ze zamrzlé hladiny vodní nádrže. Výška vodní hladiny byla zamrzlá při plném zásobním stavu, tj. 211,6 m n.m. Do ledu byly vysekány tři otvory pro odběr. Lokace byly vybrány co nejbližší přítoku pro větší pravděpodobnost výskytu vyšší vrstvy sedimentů. Dále při výběru lokality odběru byla vynaložena snaha umístit odběr do místa původního řečiště potoka Bouřlivec.

Odběr byl proveden pístovým odběrákem Eijkelkamp. Celkově byli odebrány 3 vzorky A až C (Obr. 9)

Pro další samostatné analýzy sedimentů byl každý vzorek rozdělen po 10 cm a uložen zvlášť každý do samostatného sáčku. Dále byly odebrány dva vzorky z přítoků – jeden z Bouřlivce a druhý z Loučenského potoka. Odběr přítoku byl situován co nejbližší soutoku těchto dvou potoků. Říční sediment byl odebrán z co největší hloubky ke dnu koryta. Místa odběru a hloubky odebraných jader předhradního sedimentu jsou popsána v tabulce 4 a vyobrazena na obrázku 10.



Obr. 9 – odběr sedimentu pístovým odběrákem Eijkelkamp z ledu (fotografie autora)



Obr. 10 – mapa odběru odebraných vzorků sedimentů (ČÚZK, DIBAVOD, vlastní zpracování)

Tab. 4 – souřadnice odebraných vzorků sedimentů v souřadnicovém systému S-JTSK Krovak (EPSG 2065) a rozsah odběru

	X	Y	Rozsah odběru
Bouřlivec	978118,22	780381,98	korytová vrstva
Loučenský	978372,72	780684,03	korytová vrstva
A	978656,43	779825,57	hloubka 98 cm
B	978698,50	779769,61	hloubka 100 cm
C	978758,03	779702,14	hloubka 125 cm

4.5 Obsah kovů a polokovů v sedimentech a zrnitostní analýza

Odebrané sedimenty byly po vlastním odběru zmrazeny. Pro vybrané analýzy zrnitosti a stanovení obsahu kovů a polokovů bylo třeba vzorky připravit. Příprava vzorků probíhala v Laboratoři fyzické geografie.

Pro výzkum byla použita odebraná jádra A (98 cm) a C (125 cm). Tyto dvě jádra byla rozmražena. Následně byl každý vzorek zhomogenizován a rozpůlen. První polovina každého vzorku byla síťována zkušebním sítem o velikosti oka 0,063 mm. Tyto vzory byly následně usušeny v sušárně a poté odneseny do laboratoře Geologického ústavu Přírodovědecké fakulty UK v Praze k dalšímu zpracování (viz. další podkapitola).

Druhá polovina každého vzorku byla síťována zkušebním sítem o velikosti oka 2 mm. Tyto vzorky byly také následně usušeny. Dále byly vzorky zbavovány organické hmoty za pomoci přimíchávání roztoku peroxidu vodíku 35 %. Tento proces byl urychlován pomocí magnetické míchačky s ohřevem a pomocí centrifugy Eppendorf Centifuge 5804, kdy byla odstraněna veškerá organická hmota v sedimentu. Poté byl proveden test na obsah vápníku pomocí šťavelanu amonného, i když dle geologického podloží zkoumané oblasti se jeho výskyt spíše nepředpokládal. Ještě před samotným vložením vzorku do laserového granulometru bylo přidáno deflokulační činidlo.



Obr. 11 – magnetické míchačky s ohřevem použité při přípravě vzorků (fotografie autora)

4.5.1 Metody stanovení obsahu kovů a polokovů

Pro analýzu obsahu kovů a polokovů v sedimentech byly použity dvě metody. První metodou je metoda optické emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP OES) stanovována dle ČSN EN ISO 11885 (757387).

Jedná se o roztokovou metodu, kdy je potřeba pevné vzorky o maximální zrnitosti 0,063 mm převést do roztoku. Spektrometr využívá principu emise a následné detekce světelného záření ionizovaných prvků přítomných ve vzorku. Jako zdroj iontů je v této metodě použita argonová plazma (Laborať plazmové spektrometrie 2021).

Touto metodou byly stanoveny prvky: Ag, Al, As, Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, Ti a Zn.

Vzorky byly zpracovány následujícím způsobem:

Navážka každého vzorku o hmotnosti 0,5 g byla zalita 10 ml roztoku lučavky královské (2,5 ml HNO_3 + 7,5 ml HCl) do tlakových nádobek Savilex. Přes noc takto zalité vzorky stály uzavřené při laboratorní teplotě. Poté byly zahřívány 6 hodin při stálé teplotě 105° C. Po vychladnutí byl roztok převeden do objemu 50 ml. Následně byl vzorek ředěn 10 x a 100 x a byl změřen na optickém emisním spektrometru s indukčně vázanou plazmou Agilent 5110.

Druhá metoda použitá pro stanovení celkového obsahu rtuti využívá principu generování par kovové rtuti tepelným rozkladem vzorku ve spalovací trubici s následným zachycením a zkoncentrováním na zlatém amalgamátoru, opětovným tepelným vypuzením a detekcí. Nosný plyn pro tuto analýzu je kyslík (Analyzátor rtuti AMA 254 2021)

Po dokončení rozkladu vzorku byla rtuť z amalgamátoru odstraněna pomocí krátkého záhřevu. Vzniklý oblak rtuťových par se nahromadil ve zpožděvači odkud byl veden do měřicí kyvety, kde byl obsah rtuti znovu změřen. Tudíž rtuť byla v jednom vzorku měřena 2x s různou citlivostí.

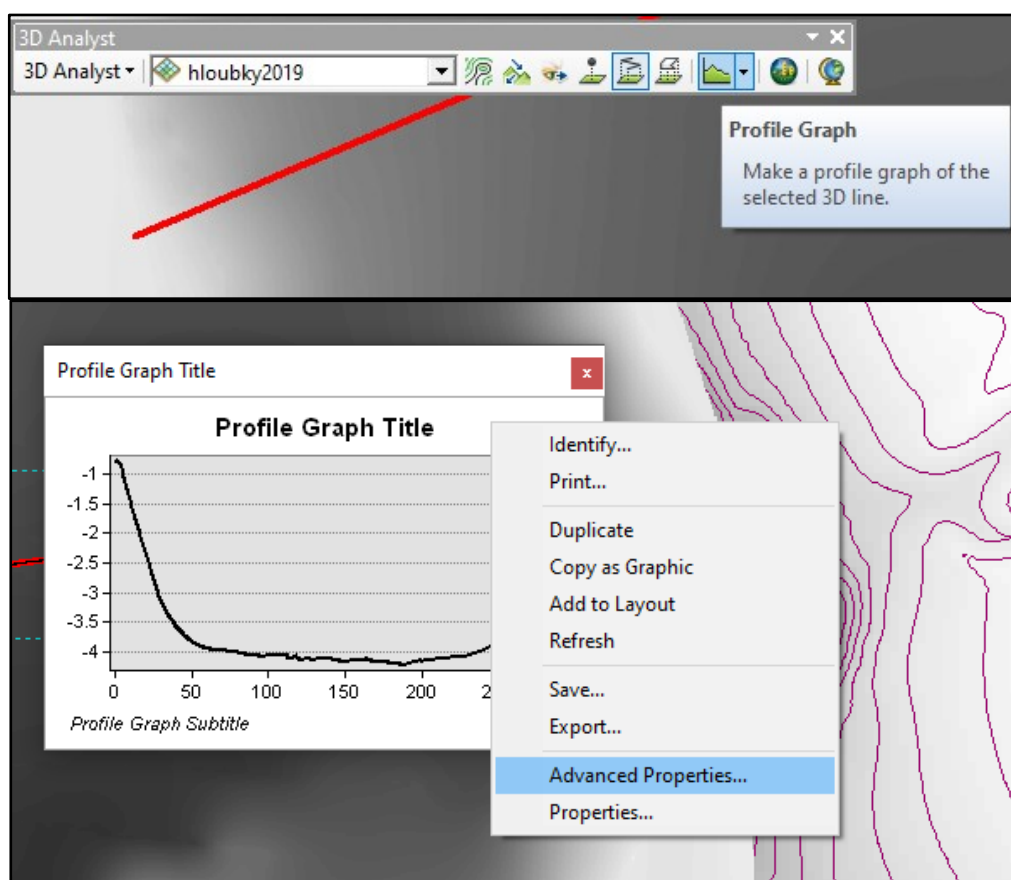
Obsah celkové rtuti byl změřen na atomovém absorpčním spektrometru AMA 254.

Obě metody byly provedeny v Laboratoři Geologického ústavu Přírodovědecké fakulty UK v Praze.

4.6 Tvorba příčných profilů

Pomocí nástroje *3D Analyst* bylo vytvořeno 6 příčných profilů, převzaté svým průběhem z laboratorní zprávy z roku 1993 a ohraničené obrysem i rozsahem současné břehové linie vodní nádrže Všechlapy dostupné z DIBAVOD. Profily byly vyznačeny kurzorovým nástrojem *Profile Graph* nad mapovými podklady znázorňující hloubky v letech 1956, 1993 a 2019 v rastrovém formátu.

Pro každý z šesti příčných profilů byl získán průběh dna za tři časová období. Každý profil byl pak následně z programu ArcGIS vyexportován pomocí rozhraní *Advanced Properties* pro další možnou vizualizaci v programu Excel.



Obr. 12 – použití nástrojů *3D Analyst* pro tvorbu příčných profilů (vlastní zpracování)

4.7 Klimatická a hydrologická data poskytnuta Povodím Ohře s.p.

Od Povodí Ohře byla poskytnuta data v podobě průměrných denních průtoků z limnigrafu Duchcov umístěného na Loučenské potoce a limnigrafu Lahošť na potoce Bouřlivec. Další hydrologická data byla poskytnuta v podobě denního bilancovaného přítoku do vodní nádrže Všechlapy. Data z limnigrafů obsahují datovou řadu od 13. dubna 2005 až do 31. 10. 2020. Bilancovaný průměrný přítok do vodní nádrže Všechlapy je zaznamenáván od listopadu roku 1994. Data bilancovaného přítoku byla získána v rozsahu od počátku měření až do konce roku 2021.

Klimatická data byla získána z klimatické stanice Všechlapy, která je umístěná v těsné blízkosti vodního díla Všechlapy v nadmořské výšce 216 m n.m. Tato stanice zaznamenává denní úhrn srážek a teplotu. Získaná data obsahují průměrnou denní teplotu a denní úhrn srážek vztažen k 7. hodině ránní. Denní úhrny srážek jsou na klimatické stanici Všechlapy sledovány 1.11.1994. Teploty jsou měřeny od 27. 11. 2001.

Denní hodnoty hydrologických a klimatických dat byla zprůměrována na měsíční a roční data a následně využita pro zhodnocení hydrologického režimu VD Všechlapy a klimatickým poměrům studovaného území.

5. FYZICKOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA STUDOVANÉHO ÚZEMÍ

5.1 Vymezení zájmového území

Zájmové území se nachází v severní části České republiky. Povodí potoka Bouřlivec geograficky spadá do povodí Labe, nicméně správu v tomto povodí vykonává Povodí Ohře, státní podnik (viz. Obr. 13). Podle absolutní řádovosti je Bouřlivec tokem 3. řádu. Bouřlivec je levostranným přítokem řeky Bíliny, která následně ústí do řeky Labe. Tento tok pramení severozápadně od obce Mikulov ve výšce 780 m n.m. a ústí v nadmořské výšce 190 m u obce Hostomice jako levostranný přítok řeky Bíliny (Vlček a kolektiv 1984).



Obr. 13 – územní působnost státního podniku Povodí Ohře (zdroj: POH, upraveno)

5.2 Geologické a hydrogeologické poměry

V oblasti horní toku povodí potoka Bouřlivce nacházející se v Krušnohorské hornatině se převážně vyskytují horniny krystalinické jako jsou ortoruly a pararuly. V místech vodních toků jsou doplněny deluviofluvální kamenito-písčité sedimenty (ČGS 2021).

Dolní tok studovaného území obsahuje mnoho antropogenně pozměněného území. Vyskytují se zde ve velké míře antropogenní kvartérní nezpevněné sedimenty v podobě navážek, výsypek a hald. Do této klasifikace patří také levá strana čelního břehu vodní nádrže Všechny, pravděpodobně z důvodu terénních úprav vzniklé s výstavbou tohoto vodního díla. V oblasti Hudcova se vyskytují i drobné intruze vulkanických ryolitů a eolických sprašových sedimentů navazující na sprašové hlíny. Antropogenní nezpevněné sedimenty jsou v dolním toku povodí doplněné o proluviálně nevytříděné sedimenty a nezpevněné fluvialní a nivní sedimenty (ČGS 2021). V podkrušnohorské části se také vyskytují zpevněné sedimenty v podobě výchozů svrchní křídý (například známé „hudcovské vápence“), které byly těženy na výrobu hydraulického vápna (Kuncová 1999b).

Studované území se nachází na rozmezí tří významných hydrogeologických rajónů a to rajonu Krystalinikum Krušných hor od Chomutovky po Moldavu, rajonu Mostecká pánev – severní část a rajonu Teplický ryolit (ČGS 2021). Hydrogeologické podmínky ve zkoumané oblasti jsou často pozměněny hlubinou i povrchovou těžbou. Například v obci Lahošť vyvěrá termální minerální pramen nazývaný Obří pramen. Ten bohužel ztratil své původní vlastnosti v souvislosti s průvaly teplických termálních vod do hlubinných dolů v hudcovské pánvi (Kuncová 1999b).

5.3 Geomorfologie

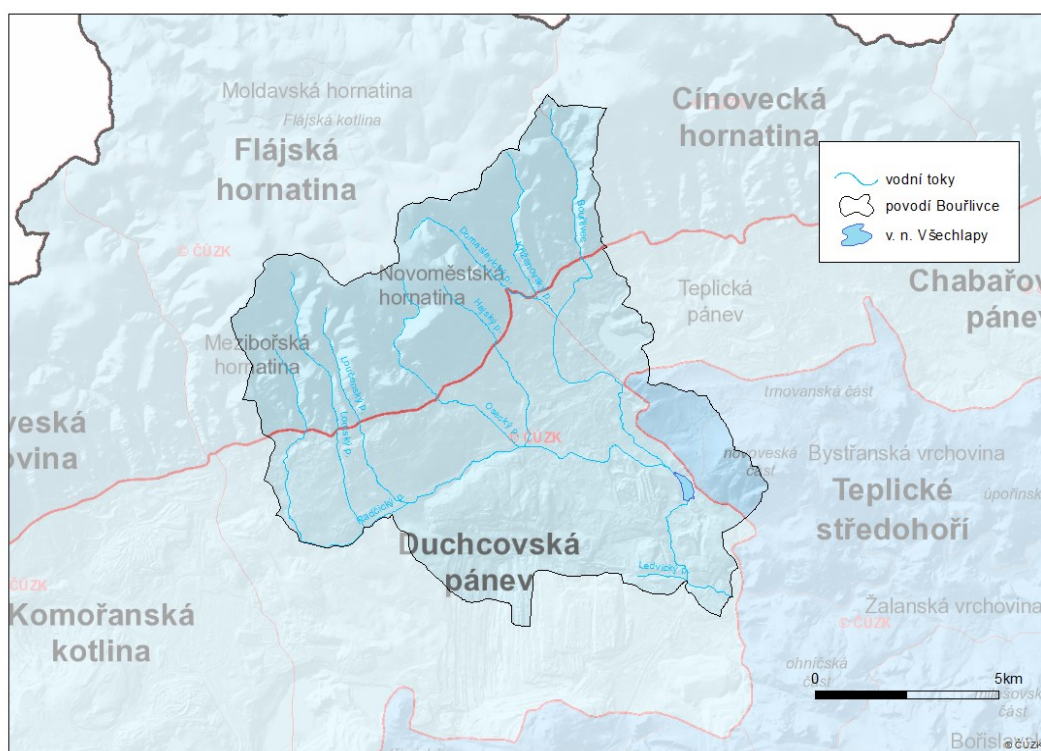
Celé zájmové území se nachází v geomorfologické jednotce – provincii Česká vysočina a spadá do Krušnohorské soustavy. Nicméně dále se zájmové území dělí na dvě odlišné podsoustavy, a to Krušnohorskou hornatinu a Podkrušnohorskou podsoustavu. Podrobnější členění a zařazení geomorfologických jednotek popisuje následující tabulka (Tab. 5) a obrázek (Obr. 14).

Tab. 5 – geomorfologické členění studovaného území dle Demka a Mackovčina (2006)

Geomorfologické jednotky				
provincie	ČESKÁ VYSOČINA			
soustava	KRUŠNOHORSKÁ SOUSTAVA			
podsoustava	Krušnohorská hornatina		Podkrušnohorská podsoustava	
celek	<i>Krušné hory</i>		<i>Mostecká pánev</i>	<i>České středohoří</i>
podcelek	Loučenská hornatina		Chomutovsko-teplická pánev	Milešovské středohoří
okrsek	<i>Flájská hornatina</i>	<i>Cínovecká hornatina</i>	<i>Duchcovská pánev</i>	<i>Chabařovická pánev</i> <i>Teplické středohoří</i>

Krušnohorská hornatina je okrajové pohoří České vysočiny, typicky tvořená klínovými krami zemské kůry ukloněné směrem do Spolkové republiky Německa. Většina území sledovaného povodí se nachází v této podsoustavě v geomorfologickém okrsku Flájská hornatina. Ta je složena z pararul a ortorul s četnými žilami granitového porfyru. Nejvyšším místem pozorovaného území povodí potoka Bouřlivec je bod Loučná 956 m n.m. Jedná se nízký suk ve tvaru mírně protažené oválné kupy z mladopaleozoického granitu, ležící při okrajovém zlomovém svahu geomorfologické jednotky – celku Krušné hory. Je to mírně ukloněný svah, který byl zcela odlesněn. Levý břeh horního toku Bouřlivce již geomorfologicky spadá do okrsku Cínovecká hornatina (Demek a Mackovčin 2006).

Podkrušnohorská podsoustava je druhou významnou subprovincií, ve které se nachází dolní tok potoka Bouřlivec. Největší část se nachází v geomorfologickém okrsku Duchcovská pánev, která je tvořena převážně kvarterním pokryvem, převážně destrukčním mírně sklánějícím povrchem na miocenních jezerních jílech a jílovcích. Území je charakteristické denudačními plošinami a rozvodními hřbety, odlehklými a širokými údolími levostranných přítoků, převážně z pozorovaného povodí Bouřlivce, do řeky Bíliny. Je zde méně akumulací georeliéfu, tvořený pleistocenními fluviálně-proluviálními náplavovými kužely. Centrální část tohoto okrsku je výrazně antropogenně přetvořena z důvodu těžby uhlí a častých výsypek, skládek a odkališť z těžby (Demek a Mackovčín 2006). Do povodí také zasahuje západní část celku Teplického středohoří. V této části povodí se vyskytuje kamenolom Všechlapy těžící výhradní ložisko čedičové horniny. Ložisko je tvořeno neovulkanickým horninami olivinického nefelinitu na křídové podkladu. Tento stavební kamen se hojně využívá v okolí, například pro silniční a železniční násypy, stavbu vodohospodářských objektů nebo také pro sanační a rekultivační práce na hnědouhelných lomech (Kabát 2011, Basalt 2022).

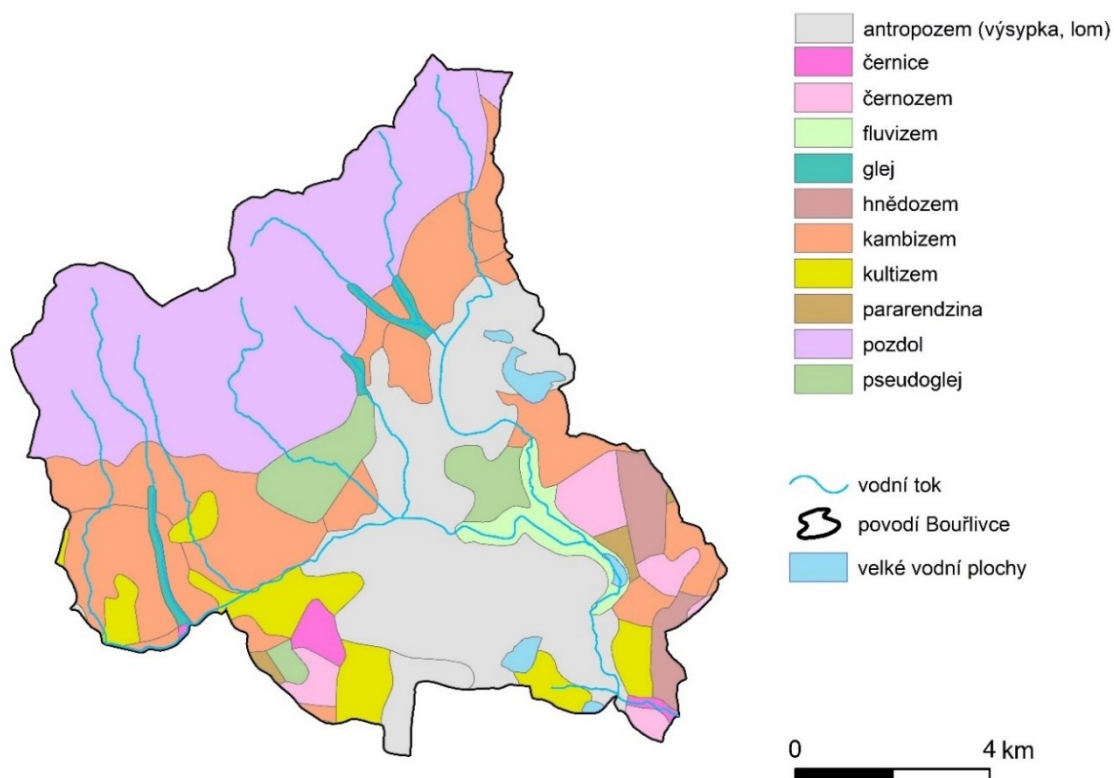


Obr. 14 – geomorfologické jednotky vyskytující se ve studovaném povodí potoka Bouřlivec (zdroj: ČÚZK, DIBAVOD, vlastní zpracování)

5.4 Pedologické poměry

Horní toky povodí Bouřlivce zastihují polohy rozsáhlých podzolů, které jsou typické pro nadmořské výšky nad 800 m n. m. Na ně následně v nižších nadmořských výškách navazují nejrozšířenější půdní typ – kambizemě (Tomášek 2007). Podkrušnohorská hnědouhelná pánev je jednou z nejvýznamnějších oblastí, co se týče výskytu antropogenně ovlivněných půd. Nejenže samotná těžba ovlivňuje a mění půdy, ale společně i vedle samotného těžebního lomu se antropogenně ovlivněné stávají i místa nově vytvořených výsypek. Takovéto výsypky obsahují zbytky sulfidického pyritu z vytěžené hlušiny od lignitu, který stykem s atmosférou oxiduje za vzniku kyseliny sírové, která dále okyseluje podloží (Penížek 2019).

Dále se zde vyskytují antropogenně ovlivněné půdy v podobě městských zahrádkářských kolonií, ve kterých se vyskytují nadměrně vylepšené zeminy a navážky označovány jako kultizemě. Tyto půdy mívají antropogenně pozměněné fyzikálně chemické vlastnosti a jsou dotovány umělými či přírodními hnojivy (Penížek 2019). Za kultizem lze označit také rozsáhlé území Golfového resortu Barbora.



Obr. 15 – půdní typy v povodí potoka Bouřlivce (zdroj: Kozák a Němeček (2000), DIBAVOD, vlastní zpracování)

5.5 Klimatické poměry

Z klimatického hlediska je povodí Bouřlivce (podobně jako všechna česká povodí) velmi rozmanitou klimatickou jednotkou, které prochází od vyšších poloh hornatin a vrchovin až do nížinného stupně.

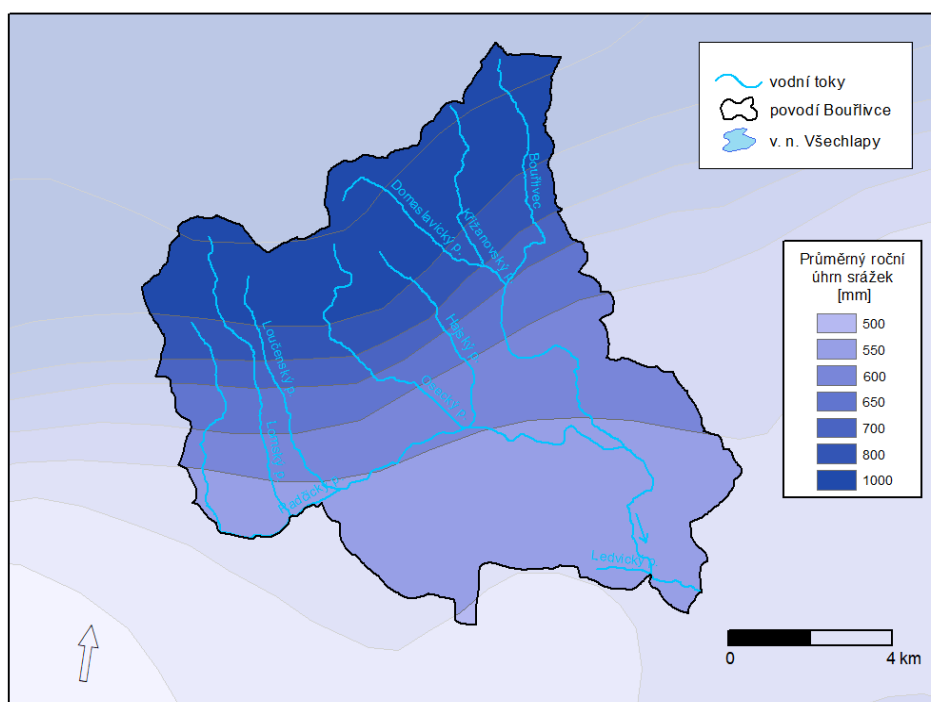
Jednou z nejrozšířenějších klimatických klasifikací je Koppenova klasifikace klimatu, založená na rozdělení ročního průběhu teplot a srážek ve vztahu k vegetaci. Studované povodí se nachází ve 3 klimatických regionech ze 4 regionů vyskytujících se na území České republiky, a to v Cfb (82,5 %) – podtyp podnebí listnatých lesů mírného pásma, a také podtyp boreálního klima – Dfb (16,7 %), Dfc (0,8 %). Z této klasifikace vyplývá, že teplota neteplejšího měsíce je menší než 22° C. V povodí se vyskytuje převážně podtyp Cfb, který se vyznačuje tím, že alespoň čtyři měsíce mají průměrnou teplotu větší než 10 °C (Tolasz 2007).

Dle Quittovi klasifikace leží nižší vrcholové plošiny Krušnohorské oblasti v chladné oblasti CH 7, polohy nad 800 m v CH 6, dále nejnižší polohy sledovaného povodí v Mostecké pánvi leží v teplé oblasti T2 (Culek a kol. 2016).

Z výše zmíněných klasifikací a také hlavně výškových poměrů vyplývá, že v tomto popisovaném povodí je velmi strmý klimatický gradient, který je známý pro Krušné hory a patří k nejstrmějším gradientům v České republice i v širším středoevropském okolí. Je to dáno tím, že vrcholové oblasti leží v návětrné straně západního proudění, které následně překonává vrcholové části Krušných hor a poklesává do oblasti Mostecké pánve. Při tomto poklesu se prudce vzduch pseudoadiabaticky ohřívá a jeho relativní vlhkost silně klesá. Strmost klimatického gradientu se proto vyznačuje od chladného vlhkého klimatu náhorních plošin po teplé a suché klima v úpatní pánvi Krušných hor (Culek a kol. 2016). Proto rozdíl mezi prvním a posledním dnem sněhové pokrývky může být v rámci povodí rozdíl i delší než měsíc (Tolasz 2007).

Antropogenně modifikovaná krajina Mostecko-Teplicka má též své modifikované mikroklima. Antropogenní změny jsou jedním z hybatelů ovlivňujících celkový charakter některých stanovišť. Jedním z ekologických činitelů vytvářejících spíše atypické mikroklima jsou nově vytvořené výsypky (např. výsypka Pokrok). Sypanina má zcela atypickým půdním vlastností, sluneční radiací se více přehřívá a snadněji se vysouší. Tím se mění i celková teplota a cirkulace vzduchu

v přízemní vrstvy. Dalším činitelem vytvářející mikroklima je taktéž i rekultivační porost a jeho následná udržovací péče (Bažant 2010).



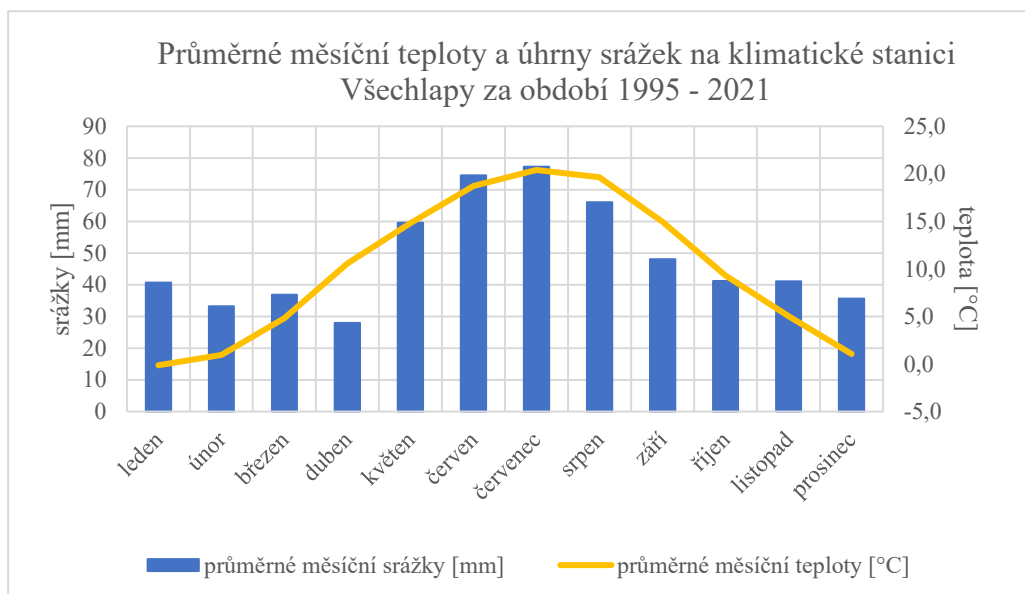
Obr. 16 – průměrné roční srážky v povodí potoka Bouřlivec (zdroj: Tolasz (2007), DIBAVOD, vlastní zpracování)

Vyhodnocení srážek

Denní úhrny srážek jsou na klimatické stanici KS Všeclapy monitorovány od hydrologického roku 1995. Od roku 2001, bylo započato kontinuální zaznamenávání i průměrné denní teploty.

Pro zhodnocení srážek bylo stanicí KS Všeclapy poskytnuta datová řada záznamů pokrývající kompletně hydrologické roky 1995 až 2021.

Nejvyšší měsíční úhrn byl zaznamenán v březnu v roce 2000, kdy za celý měsíc bylo zaznamenáno celkem 183,1 mm srážkového úhrnu. Nejvyšší denní úhrn srážek byl naměřen v letním období roku 2002, dne 13.8. ve výši 99,1 mm. Hydrologický rok 2002 je rokem s nejvyšší zaznamenanou hodnotou srážkového úhrnu ve výši 947,9 mm.



Obr. 17 – průměrné měsíční srážky a teploty z klimatické stanice Všechlapy z období 1995–2021 (zdroj: POH, vlastní zpracování)

5.6 Hydrologické poměry

Bouřlivec, Bouřlivý potok nebo také Bouřlivák, dříve Riesen Bach. Tento potok je tokem 3. řádu dle absolutní řádovosti. Při soutoku se vlévá do řeky Bíliny, která ústí následně pak do řeky Labe – toku odvádějícího vodu do Severního moře.

Pramení severozápadně od obce Mikulov ve výšce 780 m n.m. a ústí v nadmořské výšce 190 m u obce Hostomice jako levostranný přítok řeky Bíliny. Je to vodohospodářsky významný tok. Horní část toku má vlastnosti řadící se do pstruhové vody (od pramene až po obec Hrob). Zbylá část (dolní tok) je řazen do mimopstruhové vody. Část jeho koryta byla v důsledku těžby hnědého uhlí v dolech Otakar a Barbora přeložena (Vlček a kolektiv 1984). Povodí Bouřlivce bylo v 50. letech 19. století zvětšeno v důsledku přeložení Radčického, Lomského, Loučenského, Oseckého a Hájského potoka do povodí Bouřlivce. Uměle vytvořený vodní tok, který tyto toky převádí umělým korytem, se nazývá Klášterský potok. Od soutoku s Loučenským potokem se této umělé přeložce říká Loučenský potok až po jeho soutok s hlavním tokem povodí – Bouřlivcem. Soutok Bouřlivce a Loučenského potoka se nachází na 5,59 říčním kilometru.

Nedaleko soutoku Bouřlivce a Loučenského potoka na říčním kilometru 5,13 Bouřlivec protéká vodní nádrž Vsechlapy. Toto vodní dílo bylo vybudováno v letech 1958-61 společně s přeložkou Klášterského potoka (Krušňohorci 2017). Jedním z účelů je také zadržovat a odvodňovat území přeloženého Lomského potoka a spolu s ním další přeložené toky (Krušňohorci 2017). Toto vodní dílo bylo vystavěno za účelem zajištění minimálního průtoku v Bouřlivci pod hrází a také pro celoroční souvislý odběr vody pro Elektrárnu Ledvice včetně havarijní rezervy v době odstavení Labského přivaděče. Retenční prostor vodního díla Vsechlapy je zhruba z 58 % zásobního charakteru a 42 % objemu slouží k ochraně (Pail 2015). Nádrž je přehrazena přímou zemní sypanou hrází, kdy koruna hráze dosahuje kóty 215,52 m n.m. Hráz je až 11,8 m převýšena oproti původnímu terénu a její délka koruny hráze je 170 m. Hladina zásobního prostoru je ve výšce 211,6 m n. m. (POH 2019).

Celkový zatopený prostor je udáván dle POH 1,371 mil. m³ (POH 2019). Nicméně skutečný objem vodní masy je menší, než je uveden výše z důvodu přirozeného procesu zazemňování vodní nádrže.

5.6.1 Hydrografie

Pro následující výpočty a charakteristiku povodí byly použity údaje (Tab. 6) vypočtené pomocí softwaru ArcGIS Desktop 10.4 na podkladech Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD) a vrstevnicích ze Základní báze geografických dat (ZABAGED). Data z databáze DIBAVOD byla pro hydrografické výpočty upravena a stažena k povodí Všechlapské nádrže. Plocha celého povodí potoka Bouřlivec je 115,4 km², kdežto povodí vodní nádrže Všechlapy je 87,8 km². Zbylá plocha 27,6 km² zaujímá povodí potoka Bouřlivec, která ale není odvodňována přes vodní nádrž. Povodí potoka Bouřlivec je značně antropogenně ovlivněné povodí z důvodu převedení několika toků, které původně ústili od řeky Bíliny, do povodí potoka Bouřlivec. Z tohoto důvodu mohou být výsledné charakteristiky značně ovlivněny.

Tab. 6 – použité veličiny pro hydrografické výpočty (zdroj: DIBAVOD), upraveno

Veličina	Označení	Hodnota
Plocha povodí	P	87,77 km ²
Délka povodí	L	13,41 km
Plocha pravé strany povodí	P _P	69,50 km ²
Plocha levé strany povodí	P _L	18,27 km ²
Délka rozvodnice	L _R	52,80 km
Nejvyšší kóta povodí	h _{max}	956,0 m n.m.
Nejnižší kóta povodí	h _{min}	208 m n.m.

A) TVAR POVODÍ

Tvar povodí je důležitým a významným faktorem, který má vliv na průběh stavu průtoků povodím při vypadávání srážek nebo při tání sněhu. Tvarové parametry, které lze vyčíslit slouží pro porovnávání tvarových vlastností jednotlivých povodí mezi sebou (Ruda 2014).

Charakteristika povodí

Charakteristika povodí patří mezi základní faktory popisujících tvar povodí. Vypočítá se jako poměr plochy povodí a druhé mocniny délky povodí (Netopil a kol. 1984). Výsledné číslo porovnáme s hodnotami pro klasifikaci charakteristiky povodí (Tab. 7) dle Sudy a Herbera (2001) podle plochy povodí.

Tab. 7 – hodnoty pro klasifikaci charakteristiky povodí (převzato od Sudy a Herbera (2001))

Tvar povodí	P < 50 km ²	P > 50 km ²
protáhlý	< 0,24	< 0,18
přechodný	0,24 - 0,26	0,18 - 0,20
vějířovitý	> 0,26	> 0,20

$$\alpha = \frac{P}{L^2} = \frac{87,77}{13,41^2} = 0,49$$

Povodí odvodňované vodní nádrže Všechlapy je vějířovitého typu.

Gravelliův koeficient

Koeficient ukazuje míru protáhlosti nebo kruhovosti povodí. Vypočítá se podílem délky rozvodnice a obvodem kruhu o stejné ploše jako je plocha povodí. Výsledný koeficient nabývá hodnoty 1 nebo vyšší. Čím je hodnota koeficientu bližší 1, tím je povodí více podobné tvaru kruhu (Ruda 2014).

$$K_G = \frac{L_R}{2\sqrt{P\pi}} = \frac{52,80}{2\sqrt{87,77\pi}} = 3,18$$

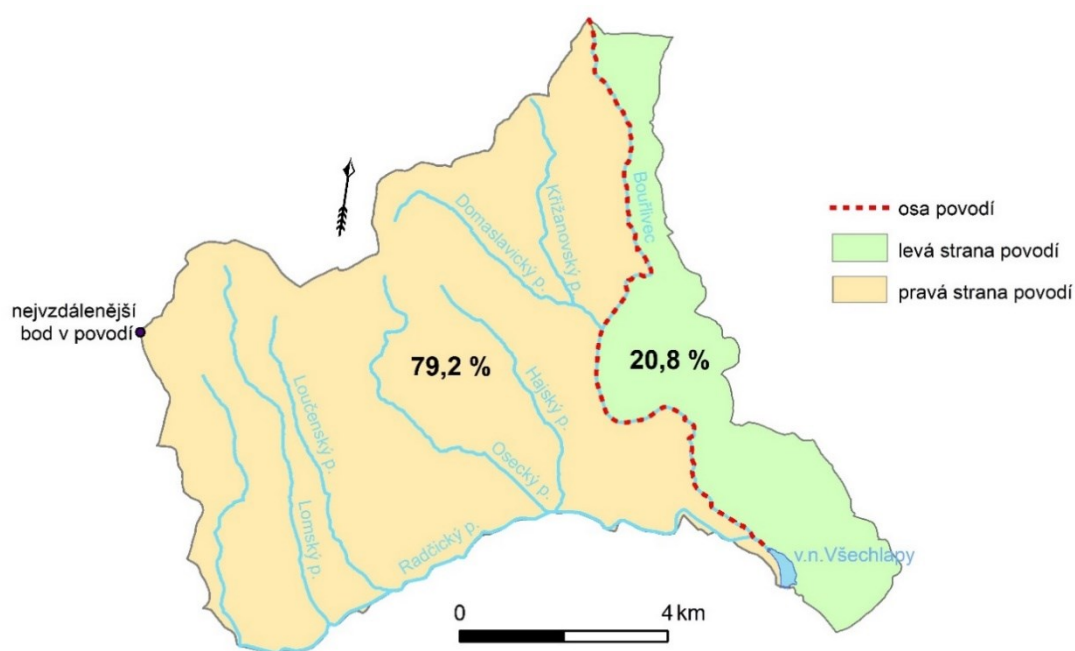
Dle výsledné hodnoty koeficientu se jedná spíše o povodí protáhlé.

Souměrnost povodí

Jednou z dalších charakteristik je symetrie povodí. Její výpočet je podílem absolutní hodnoty rozdílů ploch pravé (P_P) a levé (P_L) strany povodí a celkové plochy povodí P . Nabývá rozmezí hodnot 0–1, z čehož vyplývá že čím je hodnota bližší 1, tím sledované povodí je asymetričtější (Ruda 2014).

Koeficient souměrnosti K_s se vypočítá následovně:

$$K_s = \frac{|P_P - P_L|}{P} = \frac{|69,50 - 18,27|}{87,77} = 0,58$$



Obr. 18 – asymetrie povodí potoka Bouřlivec a vyobrazení některých hydrografických parametrů (zdroj: DIBAVOD, vlastní zpracování)

B) VÝŠKOVÉ POMĚRY POVODÍ

Převýšení (spád)

Převýšením se rozumí rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší nadmořskou výškou vyskytující se ve sledovaném povodí.

$$\Delta h = h_{\max} - h_{\min}$$

$$\Delta h = 956 - 208 = 748 \text{ m}$$

Povodí Bouřlivce odvodňované vodní nádrží Všechlapy je převýšeno o 748 metrů.

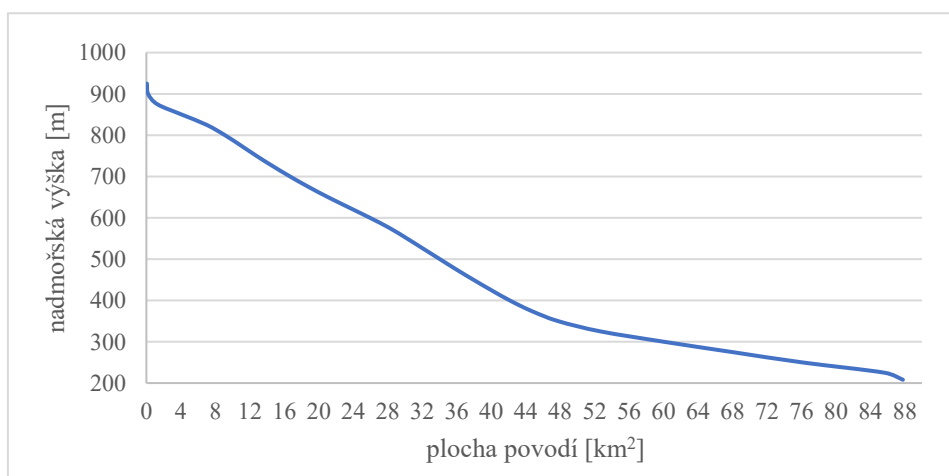
Průměrný sklon povodí

Vypočítá se podílem převýšení a odmocninou plochy povodí, tento výpočet je jednodušší, ale o něco méně přesnější než výpočet, který zohledňuje výškovou vzdálenost vrstevnic a jejich součet délek (Netopil a kol. 1984, Ruda 2014).

$$I = \frac{\Delta h}{\sqrt{P}} \cdot 1000 = \frac{0,75}{\sqrt{87,77}} \cdot 1000 = 80,05 \text{ ‰}$$

Hypsografická křivka

Z hypsografické křivky je možno určit podíl určitých výškových pásem na celkové ploše povodí. Z grafického znázornění hypsografické křivky lze vyčíst údaje o výškových poměrech povodí, jako jsou nadmořské výšky nejvyšších bodů, výška závěrového profilu a údaj o průměrné nadmořské výšce povodí (Netopil a kol. 1984).



Obr. 19 – hypsografická křivka povodí odvodňovaného do Všechlapské nádrže
(zdroj: DIBAVOD, ZABAGED, vlastní zpracování)

C) HUSTOTA ŘÍČNÍ SÍTĚ

Tento parametr vyjadřuje velikost povrchového odtoku ze sledovaného území. Výsledná hodnota parametru závisí na vegetaci, morfologii, land use, geologii, klima a dalších doplňujících charakteristikách. Umožňuje porovnávat hodnoty z více dílčích povodí a získat tak obraz o možnostech dostupnosti určitého objemu vody až po závěrový profil a také lze tento parametry využít pro porovnávání s ostatními povodími (Ruda 2014).

$$r = \frac{\sum L}{P} = \frac{68,98}{87,77} = 0,79 \text{ km/km}^2$$

Výsledná hustota říční sítě je podprůměrná oproti průměrné hustotě říční sítě v ČR. Průměrná hustota říční sítě v České republice je 0,85 km/km² (Dvorský 2018). Dle koeficientu hustoty říční sítě dle Sudy a Herbera (2001) se však jedná o říční síť s vysokou hustotu.

5.7 Biogeografické poměry

Přírodní podmínky v zájmovém území potoka Bouřlivec jsou velmi rozmanité vzhledem k velikosti území. Je zde kombinace velmi antropogenně pozměněné krajiny důlní činností a lokality se značným zastoupením ochránářsky i krajinářsky významných prvků. Sledované území se rozprostírá na dvou významných a kontrastně odlišných biogeografických regionech.

Povodí se z větší části nachází v **Mosteckém bioregionu**. V důsledku těžebního průmyslu v krajině vznikají nové vodní plochy, které se stávají novými habitaty pro vodní ptactvo jako jsou kachny, čírky, anebo potápky. Dále náletová nebo rekultivační vegetace na častých výsypkách se stává ideálním prostředím pro život hlodavců ale také pro ptáky z čeledi kurovítých – křepelky a bažanty (Kuncová 1999a). Složení společenstev na těchto rekultivovaných výsypkách závisí na stupni sukcesního stádia v závislosti na stáří rekultivace. Co se týče lesní vegetace, Mostecký bioregion je značně ochuzen. Vyskytují se zde převážně ojedinělé pásy rekultivační zeleně na místě výsypek v podobě topolů, olší, javorů a dalších nepůvodních dřevin (Culek a kol. 2016).

Druhým významným biogeografickým regionem je **Krušnohorský bioregion**. Ten oproti Mosteckému kontrastuje rozsáhlou škálou vegetačních stupňů. Povodí se nachází v druhém bukodubovém až šestém smrkojedlobukovém vegetačním stupni (dle Zlatníka (1964)). Původní smrčiny, bučiny a rašeliniště jsou v současnosti poničeny imisemi a antropogenní činností. V nižších polohách svahu jsou vyvinuty acidofilní doubravy, které dosahují i do 600 m n. m (Culek a kol. 2016). Lesy v povodí vodního toku Bouřlivec patří do kategorie lesů ochranných a lesů zvláštního určení, plnící funkci ochranného pásma zdrojů přírodních léčivých pramenů lázní Teplice (Vondová 2012). V dřívějších dobách zde bylo usmrceno několik jedinců losa evropského. Na základě toho byla vyslovena teorie, že Krušné hory jsou součástí historické tahové cesty losů ve směru sever-jih (Kuncová 1999a). Dříve se také v tomto bioregionu vyskytovala hojně hercynská fauna, nicméně kvůli antropogenní a imisní degradaci lesů a vrchovišť, spousta druhů vymizela anebo ojediněle přežívá na zbylých degradovaných stanovištích (Culek a kol. 2016).

5.7.1 Krajinový pokryv podle CORINE Land Cover

Databáze CORINE Land Cover hodnotí většinu menších vodních ploch jako zemědělské oblasti s přirozenou vegetací, z důvodu rozlišení této databáze. Tyto menší vodní plochy jsou příliš malé na rozlišení od okolních ploch. Dle dostupných dat lze například zmínit nové rekultivační vodní plochy které vznikly v rámci rekultivace výsypky Pokrok.

Nicméně ostatní plochy krajinových pokryvů jsou rozlišeny velmi věrohodně (CORINE Land Cover 2018). Co se týče změn v zastoupení jednotlivých krajinových pokryvů, je patrné, že v období 2006 až 2012 ubývá krajinový pokryv výsypek na úkor nezavlažované orné půdy. Mapy znázorňující klasifikaci tříd krajinových pokryvů z cyklů 2006, 2012 a 2018 jsou součástí příloh (Příloha 1). Součástí příloh je také graf znázorňující procentuální zastoupení jednotlivých krajinových pokryvů v povodí (Příloha 2).

Tab. 8 – zastoupení jednotlivých tříd krajinového pokryvu CORINE Land Cover (zdroj: CORINE LC 2006, 2012, 2018)

Třída krajinového pokryvu	plocha v roce 2006 [km ²]	podíl plochy v roce 2006 [%]	plocha v roce 2012 [km ²]	podíl plochy v roce 2012 [%]	plocha v roce 2018 [km ²]	podíl plochy v roce 2018 [%]
Nesouvislá městská zástavba	8.96	7.8	9.21	8.0	9.49	8.2
Průmyslové a obchodní areály	0.49	0.4	0.49	0.4	0.49	0.4
Oblasti současné těžby surovin	5.81	5.0	6.95	6.0	6.79	5.9
Haldy a skládky	3.84	3.3	1.27	1.1	1.06	0.9
Sportovní a rekreační plochy	0.74	0.6	1.30	1.1	1.30	1.1
Nezavlažovaná orná půda	11.10	9.6	16.21	14.0	17.26	15.0
Louky a pastviny	13.33	11.6	10.45	9.1	9.92	8.6
Směsice polí, luk a trvalých plodin	0.60	0.5	0.60	0.5	0.60	0.5
Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací	13.66	11.8	12.21	10.6	11.59	10.0
Listnaté lesy	42.18	36.6	42.31	36.7	42.31	36.7
Jehličnaté lesy	0.24	0.2	0.24	0.2	0.24	0.2
Smišené lesy	8.48	7.3	8.34	7.2	9.31	8.1
Nízký porost v lese	5.18	4.5	5.05	4.4	4.26	3.7
Vodní plochy	0.77	0.7	0.77	0.7	0.77	0.7

5.8 Ochrana přírody

V zájmovém území se nachází tyto lokality: PP Lomské údolí, PR Vlčí důl, PP Domaslavické údolí, PP Háj u Oseka, PP Salesiova výšina, PP Buky na Bouřňáku (zjištěno ze ZABAGED).

Přírodní rezervace Vlčí důl se vyznačuje téměř 200 let starou bučinou, s velkým množstvím doupných stromů. Tudíž je významnou lokalitou pro hnízdění ptactva, které se sem stahuje z okolních odlesněných ploch. Nalezneme zde druhy známé hnízděním v dutinách stromů jako je holub doupňák, datel černý nebo pušтік obecný (Kuncová 1999b).

Přírodní památka Salesiova výšina je významnou geologickou lokalitou. Vyskytují se zde křemence vytvářející mohutný skalní výchoz a skalní město, které vzniklo rozpukáním této horniny, což je pro tuto horninu ojedinělým úkazem. Jelikož se jedná o třetihorní sedimenty, vyskytují se zde zkameněliny schránek sladkovodních organismů z rodu *Unio* (Kuncová 1999b).

Přírodní památka Buky na Bouřňáku chrání 200 let starý bukový porost v nadmořské výšce 850 m n.m., které byly klimaticky deformovány větrem do bizarních tvarů.

Přírodní památka Domaslavické údolí se rozprostírá na levém břehu údolí Domaslavického potoka, který má jižní až jihozápadní expozici. V tomto území se nachází zbytky zachovalé svahové bučiny ve výšce 800 m n.m. s prudkými, místy až balvanitými svahy a četnými prameništi. Vyskytuje se zde přes 60 obratlovců, z toho 15 z nich je zapsáno v seznamu zvláště chráněných druhů (Kuncová 1999b). Toto území bylo v roce 2019 rozšířeno z 60 ha na 205 ha (Věstník právních předpisů Ústeckého kraje 2019).

Mezi nová chráněná území patří od roku 2011 evropsky významná lokalita Háj u Oseka s evropsky významným druhem kuňkou obecnou. Dále v roce 2019 přibyla přírodní památka Lomské údolí. Předmětem ochrany je horní úsek Lomského potoka, kde se vyskytují údolní jasanovo-olšové luhy a přilehlé svahové lesy s populací vřetence horského (Věstník právních předpisů Ústeckého kraje 2019).

6. VÝSLEDKY

6.1 Vyhodnocení hydrologického režimu VD Všechlapy

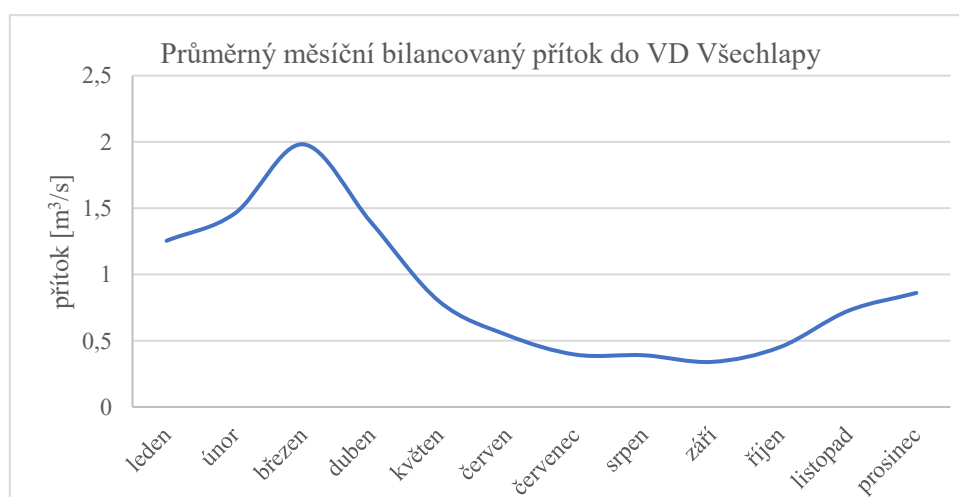
Pro vyhodnocení hydrologického režimu VD Všechlapy byla použita data získaná od státního podniku povodí Ohře. Byla poskytnuta data denního bilancovaného přítoku do vodního díla Všechlapy od listopadu 1994 až po prosinec roku 2021. Další sada dat byla z limnigrafu Duchcov na Loučenském potoce a limnigrafu Lahošť na potoce Bouřlivec. Data z limnigrafů obsahují datovou řadu od 13. dubna 2005 až do 31. října 2020. Pozorovací stanice limnigrafů jsou situovány před soutokem potoka Bouřlivec a Loučenského potoka. Další datovou sadou jsou roční odběry z VD Všechlapy pro tepelnou elektrárnu Ledvice a pro společnost AGC Flat Glass Czech a.s.

6.1.1 Extrémní průměrné denní přítoky do VD Všechlapy

Nejčastěji se nulové průtoky vyskytují v letních měsících a nejvíce se vyskytovaly v letech 2018 a 2020. Nejvyšší denní průměrné průtoky byly naměřeny ve dnech 10. a 11. března v roce 2000 v hodnotě $17,46 \text{ m}^3/\text{s}$ a druhý den $15,48 \text{ m}^3/\text{s}$. Třetí nejvyšší průměrný denní průtok byl zaznamenán 14.8. 2002 v hodnotě $15,32 \text{ m}^3/\text{s}$.

6.1.2 Průměrné měsíční přítoky do VD Všechlapy

Data o průměrných měsíčních bilancovaných přítocích byla zpracována na základě poskytnutých dat denních bilancovaných přítoků do VD Všechlapy získané od státního podniku povodí Ohře.



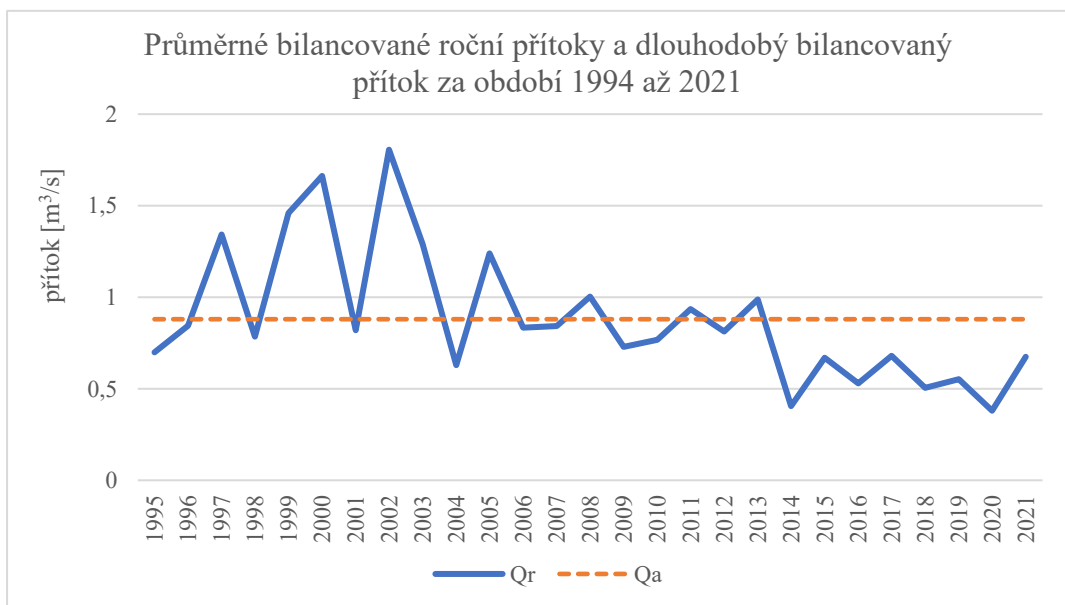
Obr. 20 – průměrné dlouhodobé měsíční přítoky za sledované období 1994 až 2021 (zdroj: POH, vlastní zpracování)

Nejvodnatějším měsícem za celé sledované období byl březen roku 2000 s průměrným měsíčním průtokem $5,86 \text{ m}^3/\text{s}$. Na druhou stranu nejnižší průměrné měsíční hodnoty připadají na měsíce srpen a září v roce 2018 s hodnotou $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$. Průměrné průtoky za každý měsíc zobrazuje tabulka v Příloze 3.

Celkově za celé sledované období je průměrně nejméně vodným měsícem v pohledu dotace vody do VD Všechlapy měsíc září, který vykazuje dlouhodobý průměrný průtok $0,34 \text{ m}^3/\text{s}$. Oproti tomu měsíc březen je průměrně nejvodnatějším měsícem průměrně vykazující za celé sledované období dlouhodobý průměrný průtok ve výši $1,98 \text{ m}^3/\text{s}$.

6.1.3 Průměrný roční průtok do VD Všechlapy

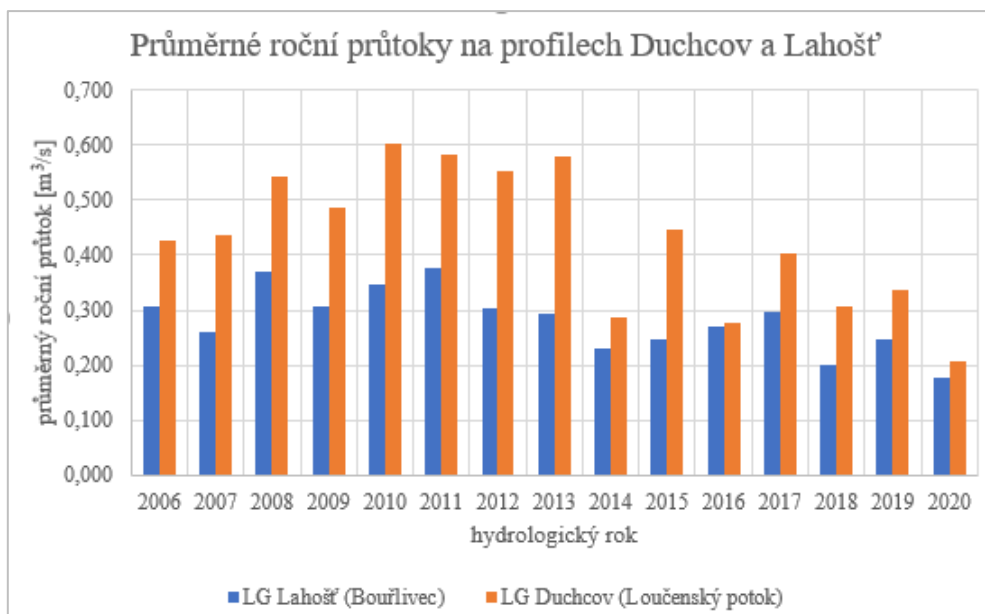
Průměrné roční průtoky do VD Všechlapy byly zpracovány z dat denních bilancovaných průtoků počítány k 7. hodině ranní. Z hodnocených dat vyplývá, že dlouhodobý průtok Q_a do vodní nádrže je $0,88 \text{ m}^3/\text{s}$. Z následujícího obrázku (Obr. 21) je názorně vidět, že průměrný roční průtok do nádrže má poklesávající trend a do vodní nádrže přitéká stále méně vody než v letech dřívějších. Vítková (2021) ve své práci potvrzuje také klesající trend průtoku do VD Všechlapy s výjimkou zimních měsíců.



Obr. 21 – průměrné roční bilancované průtoky a dlouhodobý bilancovaný průtok do VD Všechlapy za období 1994 až 2021 (zdroj: POH, vlastní zpracování)

6.1.4 Přítoky z hlavních zdrojů – Bouřlivec a Loučenského potoka

Vodní dílo Všechlapy je dotováno vodou ze dvou hlavních přítoků – potoka Bouřlivec a Loučenský potok. Tyto dva zdroje se před vlitím do vodního díla stékají na 5,59. říčním kilometru potoka Bouřlivec a dále tok pokračuje jako vodní tok Bouřlivec. Z následujícího obrázku (Obr. 22) je patrné, že Loučenský potok za celé sledované období dotuje vodní dílo Všechlapy větším objemem vody než potok Bouřlivec.

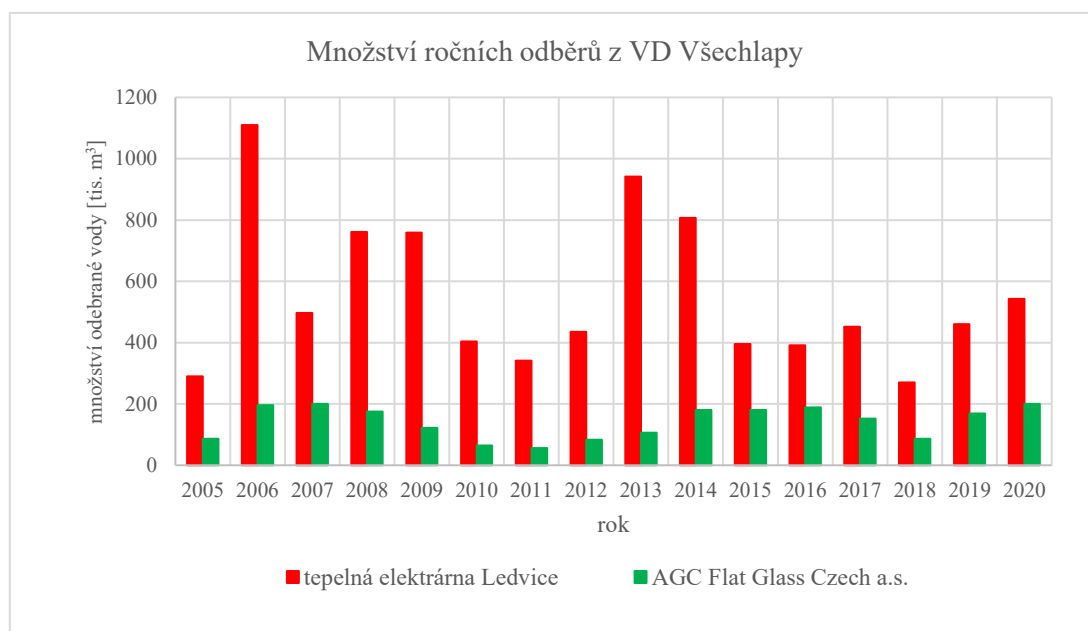


Obr. 22 – průměrné roční průtoky v měrných profilech Duchcov (Loučenský potok) a Lahošť (Bouřlivec) (zdroj: POH, vlastní zpracování)

Vyšší průtoky na Loučenském potoce jsou také ovlivněny převodem vody z úpravní vody v Meziboří, kdy tato úpravní vody nepravidelně vypouští nadvýrobu upravené vody do povodí Loučenského potoka (Šobr 2021).

6.1.5 Roční odběry z VD Všechlapy

Z dat poskytnutých od státního podniku Povodí Ohře je patrné že největší odběry z vodní nádrže Všechlapy jsou za celou dobu sledování odběry pro chlazení tepelné elektrárny Ledvice.



Obr. 23 – množství odebrané vody z VD Všechlapy (zdroj: POH, vlastní zpracování)

6.2 Morfometrické poměry vodní nádrže Všechlapy

V následující podkapitole jsou shrnuty morfometrické parametry vodního díla Všechlapy. Jako zdroj byly použity informace z Povodí Ohře, data z DIBAVOD a vlastní batymetrické mapování na vodním díle, které bylo provedeno v roce 2019. Z batymetrického mapování byl vypočítán objem 476 635 m³ a maximální hloubka v nádrži byla zjištěna 6,75 m u místa výpusti nádrže. Výsledná batymetrická mapa je součástí příloh (Příloha 5).

Průměrná hloubka

Průměrná hloubka (h_s) vodního tělesa je definována jako podíl objemu tělesa a jeho plochy vodní hladiny (Janský a Šobr 2003).

$$h_s = \frac{V}{P} = \frac{476635}{184546} = 2,58 \text{ m}$$

Hloubkový koeficient K

Tento parametr se vypočte podílem průměrné a maximální hloubky v nádrži (Janský a Šobr 2003).

$$K = \frac{h_s}{h_{max}} = \frac{2,58}{6,75} = 0,38$$

Relativní hloubkový koeficient

Morfometrický parametr relativní hloubka vodního tělesa (K_{rel}) se vypočítá jako podíl maximální hloubky vodního tělesa a průměru kruhu o stejné ploše jako má plocha vodní hladiny (Psenakov a kol. 2001).

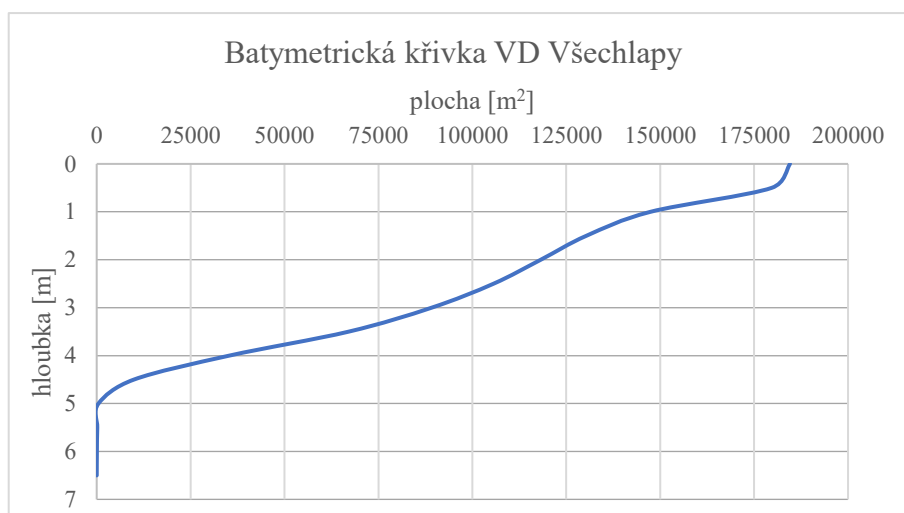
$$K_{rel} = \frac{h_{max}}{\sqrt{\frac{P}{\pi} \times 4}} \times 100 = \frac{6,75}{484,74} \times 100 = 1,39 \%$$

Podíl vodní nádrže na ploše povodí (DB:LA)

Podíl vodní nádrže na ploše povodí je důležitý faktor pro určení množství sedimentů a nutrientů hromaděných ve vodním díle (Shaw a kol. 2002).

$$DB:LA = \frac{P_{vn}}{P_{pov}} = \frac{0,19}{87,77} = 0,002$$

Batymetrická křivka

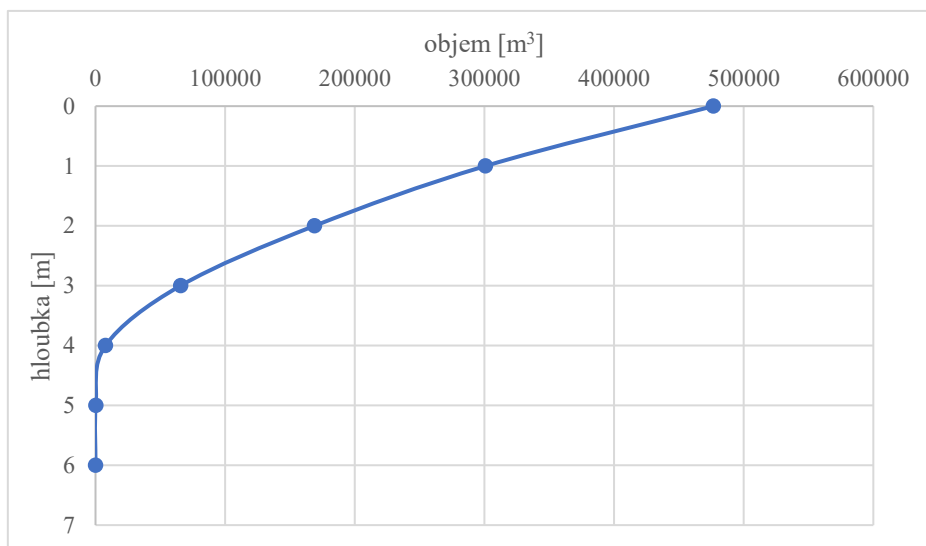


Obr. 24 – batymetrická křivka VD Všechlapy

Tab. 9 – plochy a objemy jednotlivých hloubnic

Hloubka [m]	Plocha [m²]	% z celkové plochy	Objem [m³]
0	184546	100	476635
1	147405	79,87	300846
2	118197	64,05	168891
3	89169	48,32	65579
4	35303	19,13	7705
5	478	0,26	196
6	51	0,03	16
7	0	0,00	0

Objemová křivka



Obr. 25 – objemová křivka VD Všechlapy

Tab. 10 – plochy a objemy jednotlivých hloubkových stupňů

Hloubkový stupeň	Plocha hloubkového stupně [m²]	% z celkové plochy	Objem hloubkového stupně [m³]	% z celkového objemu
0 - 1	37141	20,1	175789	36,9
1 - 2	29207	15,8	131955	27,7
2 - 3	29029	15,7	103312	21,7
3 - 4	53866	29,2	57874	12,1
4 - 5	34825	18,9	7509	1,6
5 - 6	427	0,2	180	0,0
6 - 7	51	0,0	16	0,0

Doba zdržení vodní nádrže Všechlapy

Obecně je doba zdržení definovaná jako doba, kterou molekula vody stráví ve vodní nádrži nebo jezeru. Zjednodušeně se tato doba zdržení vypočítá podílem objemu vodního tělesa a jeho přítoku či odtoku (Shaw a kol. 2002). Přesto existují však i přesnější modely, které simulují reálnou výměnu molekul vody na základě limnologických poměrů jednotlivých vrstev limnionu a přítoků podzemní vody do nádrže, které například ve svém reportu shrnují Duwe a kol. (2001).

Průměrný dlouhodobý přítok Q_a za celé sledované období do vodní nádrže Všechlapy byl vypočten v předchozí podkapitole na hodnotu $0,88 \text{ m}^3/\text{s}$. Z batymetrického mapování byl určen objem $476\,635 \text{ m}^3$.

$$RT = \frac{V}{Q_a} = \frac{476635}{0,88} = 150,45 \text{ hod} = 6 \text{ dnů a } 6,5 \text{ hodin}$$

Dlouhodobá průměrná doba zdržení vodní nádrže Všechlapy je 6 dnů a 6,5 hodin.

Při extrémních přítocích do nádrže, například při maximálním nejvyšším naměřeném přítoku ve výši $17,64 \text{ m}^3/\text{s}$ (ze dne 10.3.2000), by měla vodní nádrž podle tohoto zjednodušeného výpočtu vyměnit svůj objem vody již za 7,5 hodiny.

Na druhou stranu, pokud by se počítala průměrná doba zdržení pro rok 2020, který průměrně dosahoval přítoku do nádrže $0,38 \text{ m}^3/\text{s}$, průměrná doba zdržení za rok 2020 by byla 14,5 dne, což odpovídá více než dvojnásobku dlouhodobé doby zdržení.

6.3 Srovnání současných morfologických podkladů s historickými podklady

Tato podkapitola srovnává dva historické podklady obsahující informace o hloubkových poměrech v místech současné vodní nádrže Všechlapy.

6.3.1 Srovnání s mapou údolí před zátopou

Získaná výškopisná mapa v naskenované podobě byla georeferencována a všechny výškopisné údaje převedeny do geografické podoby. Pro porovnání se současnou batymetrickou mapou byla od nadmořské výšky odečtena zásobní hladina 211,6 m n. m. Nejhlubší místo v původním údolí v místě současné vodní nádrže Všechlapy bylo po výstavbě v místě přehrazení toku u paty přehradní hráze, které v minulosti bylo hluboké rovných 7 metrů. Oproti současnosti se nejhlubší místo nacházelo uprostřed hráze. V současnosti se nejhlubší místo nachází u výpusti nádrže (blíže levému břehu) a dosahuje hloubky 6,75 m.

Při porovnání současné batymetrické mapy (Příloha 5) a terénu před samotnou zátopou (Příloha 4). Je patrné, že bylo s terénem ještě pracováno před samotnou zátopou. Blízko současné hráze se nacházela elevace, která svou výškou převyšovala zásobní hladinu vodní nádrže Všechlapy o tři metry. Tato elevace byla pravděpodobně odstraněna. Také v oblasti přítoku bylo údolí před zátopou o 2 metry výše než současné dno vodní nádrže.

Při výpočtu objemu údolí pod obrysem současné vodní nádrže získanou z DIBAVOD byl vypočítán objem 565 693 m³. Pokud by se odečetl tento původní „údolní“ objem od objemu zjištěného z batymetrického mapování, výsledné zanešení nádrže by dosahovalo 15,7 %, tedy 89 058 m³ uloženého sedimentu.

6.3.2 Srovnání s nákresem hloubek z laboratorní zprávy ENVI s.r.o. v roce 1993

Profily a hloubky byly v roce 1993 pravděpodobně měřeny při zásobní hladině, ale při dalším zpracování od stolu došlo nejspíš k roztažení naměřených výsledků na obrys katastrální mapy, kdy tvar ohraničující katastrálně zátopové území VD Všechlapy se velmi podobá obrysu výšky zásobní hladiny Všechlap. Po georeferencování tohoto podkladu na katastrální mapy byly však některé hloubkové profily situovány v místech, kde se v současnosti nachází již břeh.

Tato zpráva neudává vypočtený objem vody v nádrži, ale pouze odhad objemu sedimentu, který byl určen 120 000 m³. Nejhlubší místo je situováno ve středu nádrže těsně před hrází a dle průběhů hloubnic nedosahuje hloubky ani 6 metrů.

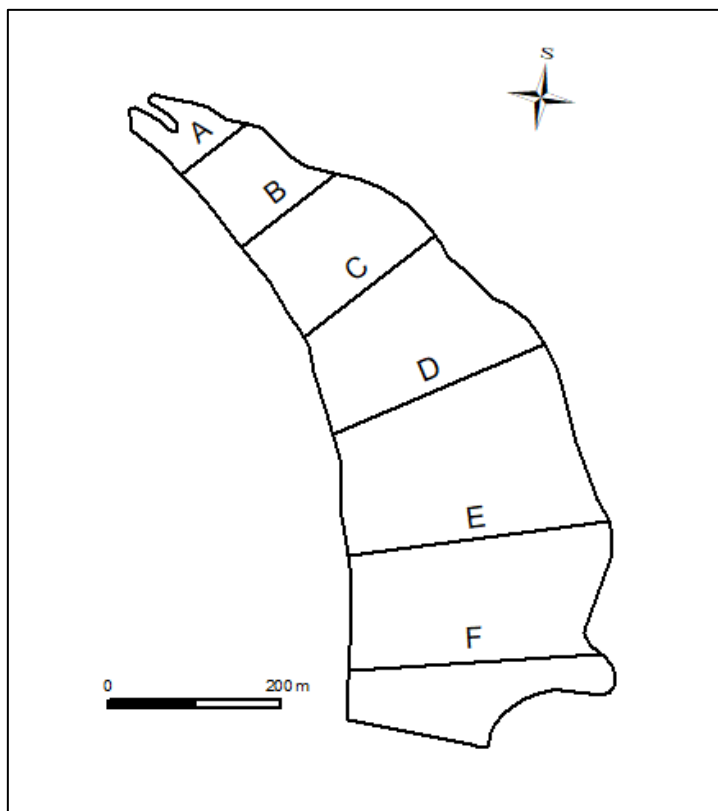
Digitalizovaná mapa hloubek z roku 1993 je součástí příloh (Příloha 6).

6.3.3 Srovnání příčných profilů s historickými podklady

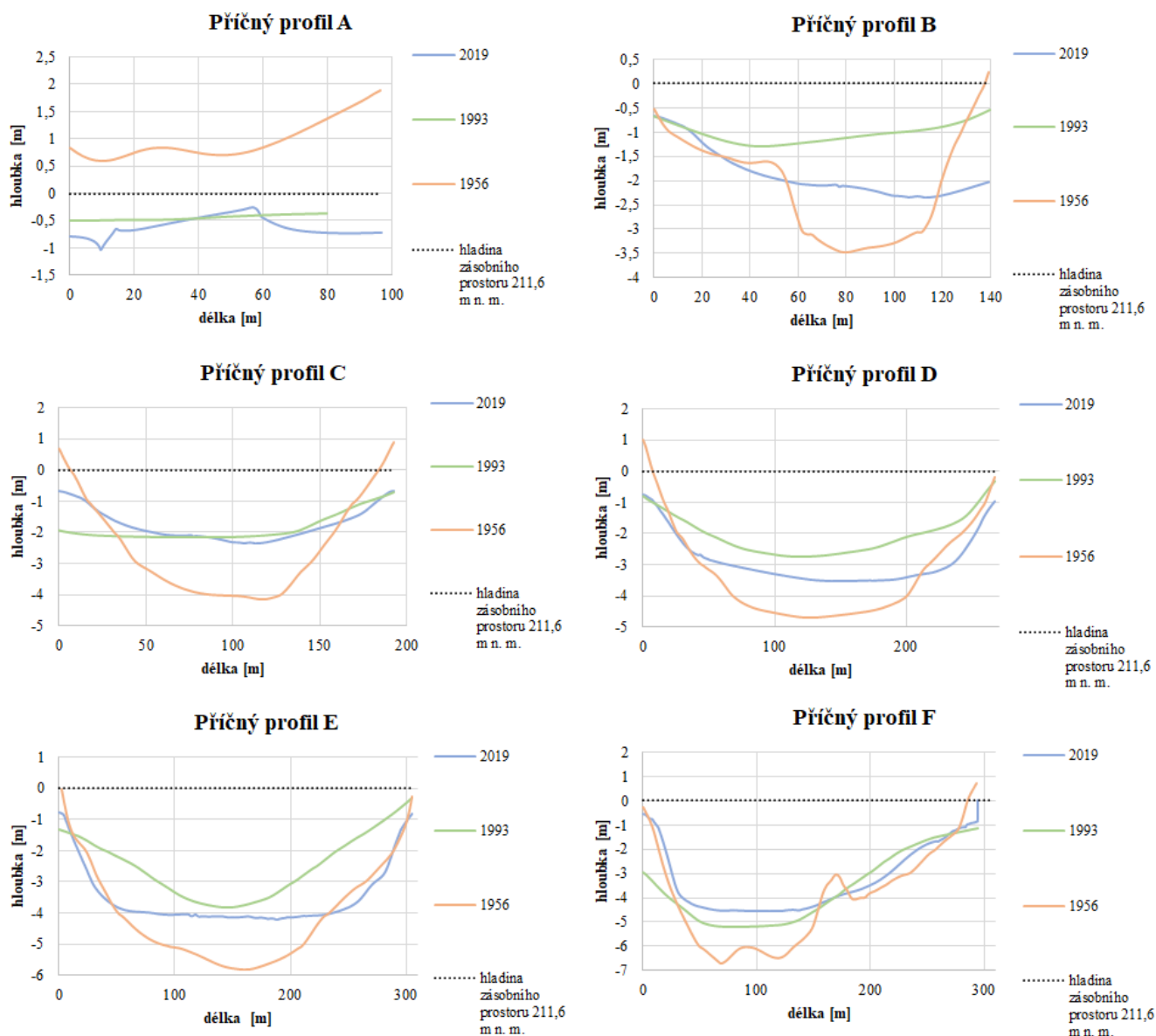
Pro porovnání příčných profilů se současnou batymetrickou mapou byly použity mapové podklady původního terénu před zátopou a výstavbou vodní nádrže Všechlapy na podkladech Státní mapy odvozené a laboratorní zpráva poskytnutá Povodím Ohře vypracovaná v roce 1993 společností pro ekologické studie a servis ENVI s.r.o.

Volba příčných profilů byla na základě již určených profilů z laboratorní zprávy z roku 1993 (viz. Obr. 26). Délka příčných profilů byla ale zkrácena dle obrysu současné batymetrické mapy, tedy dle obrysu vodní nádrže z databáze DIBAVOD.

Výsledné příčné řezy jsou zobrazeny na obrázku 27.



Obr. 26 – schéma vedení příčných profilů (zdroj: DIBAVOD, Rauch 1993, vlastní zpracování)



Obr. 27 – výsledné příčné řezy skrz údolí vodní nádrže Všechlapy

Z obrázku 27 je patrné, že mapové podklady z roku 1993 a následné vypovídající příčné profily neodpovídají předpokládanému průběhu. V případě B, D a E profily z mapového podkladu 1993 výrazně podhodnocují hloubku, kdy například hloubka Všechlapy je v roce 1993 o 1,5 menší, než v roce 2019. Již ve výše zmíněné podkapitole metodiky byl zmíněn problém s georeferencováním mapy z roku 1993, která byla zpracovávána na základě katastrální mapy, kde obrys vodní nádrže odpovídá hladině zátopy, a ne obrysu zásobního prostoru, při které pravděpodobně bylo měření hloubek prováděno.

Při porovnání profilů údolí před zátopou (1956) a profilů současné vodní nádrže je vidět, že se s terénem ještě pracovalo. V profilu A (nejblíže přítoku do vodní nádrže) je dno údolí v roce 1956 dna úrovní současného zásobního prostoru. U profilů údolí z roku 1956 je také patrná změna ve sklonu a tvaru údolí oproti průběhu v současnosti. Ve většině případech se tvar údolí změnil z tvaru U na neckovitý tvar.

6.4 Terénní průzkum hlavních přítoků Bouřlivce a Loučenského potoka

Terénní průzkum byl prováděn za účelem zhodnocení možného vzniku a výskytu transportovaného materiálu v povodí. Průzkum byl prováděn ve dnech 18. a 19. prosince 2021.

Z terénního průzkumu bylo zjištěno že nejvíce neseného a uloženého materiálu pochází z vyšších nadmořských výšek, kdy přítoky nejsou antropogenně upraveny.

V těchto horních částech toků se nacházelo mnoho nátrží a akumulčních valů. V místě nejvyššího spádu potoka (nadm. výška 725–750), byl i přes velký spád a nespočet tůní, zákrutů a překážek akumulován nesený materiál.

I v takto velkém spádu docházelo k divočení toku, kdy se koryto rozdělovalo na více ramen a zpět se opětovně spojovalo, zároveň docházelo k tvoření systému stupňů a tůní, které tvořily jak balvany, tak i mrtvé dřevo. I v těchto tůních se nacházelo mnoho nevytříděného sedimentu všech zrnitostí (Obr. 28).



Obr. 28 – 4,6. říční kilometr Křižanovského potoka v nadmořské výšce 725 m. n. m (fotografie autora)

Dle poměrně často se vyskytujících akumulací uprostřed toku a deformací stromů lze soudit, že v povodí všech horních toků dochází často k podemílání břehů a sesuvů částí svahů do koryt potoků. V případě Křižanovského potoka se na jeho horním toku nacházely akumulace o výšce i 2 m (Obr. 29). Od nadmořské výšky 500 m n. m. začínají být všechna koryta antropogenně poupravována, dochází ke zpevnění břehů přilehlých k lesním cestám a postupně se přidávají umělé přehrážky, kterých je v případě Křižanovského potoka rovnou 7 na úseku dlouhém pouze 200 m. v. Bezejmenný pravostranný přítok ústící do Křižanovského potoka na 3,7 ř. km, je při soutoku přehrazen hned 2 přehrážky a jednou dešťovou zdrží.



Obr. 29 – sesunutá akumulace do Křižanovského potoka, pod sněhem, zarostlá zhruba 3letými nálety buku, nalevo buk deformovaný díky svahovým procesům (fotografie autora)

V případě Hajského potoka tento nepatrný tok v době mapování je ve výšce 540 m n.m. osazen dvěma 5 metrů vysokými dešťovými zdrži.

Od nadmořské výšky 350 m n m, začínají být tyto drobné přírodní toky poupravovány, počínaje záhozy a po dosažení trvalých obydlí přilehlých obcí ve všech případech jsou toky vedeny upraveným korytem ve formě nepropustného koryta obdélníkového tvaru opevněného kamennou dlažbou. V nepropustném korytě jsou vedeny všechny přítoky všemi intravilány obcí. Po opuštění obce toky mají dále rovný lineární průběh, ale již jsou koryta opevněna například pouze kamennou rovinou nebo kamennou dlažbou pouze po březích.

Dle ústního sdělení pracovníků Lesů ČR a pana Adámka z POH všechny zdrže na horních tocích jsou pravidelně vybírány o zadržený akumulovaný materiál.



Obr. 30 – akumulovaný sediment v dešťové zdrži na Hajském potoce (fotografie autora)



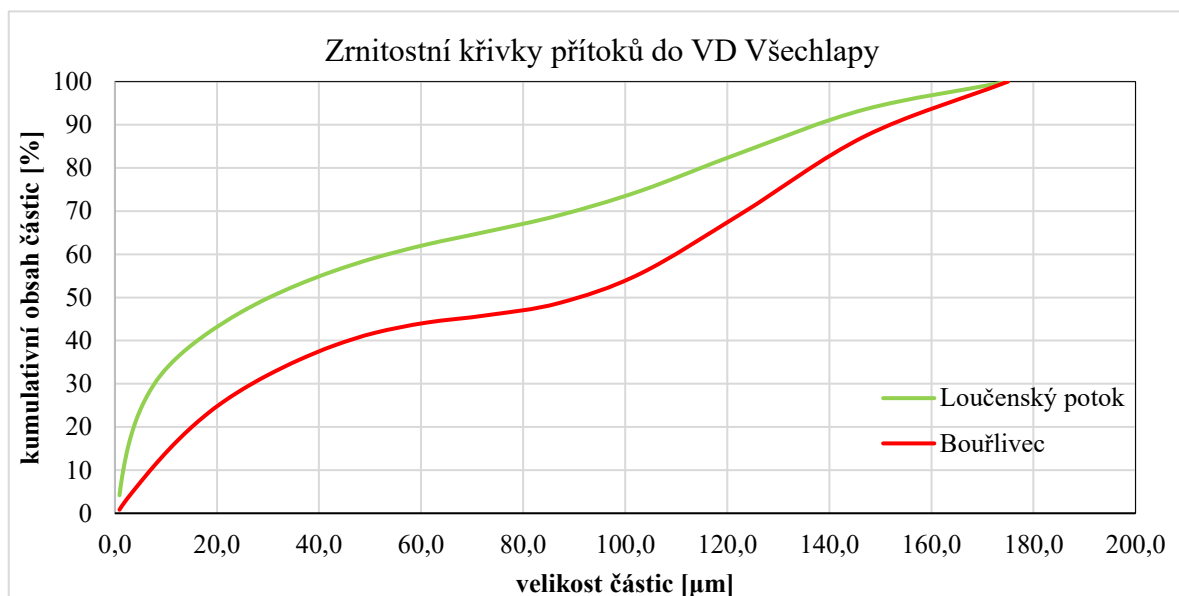
Obr. 31 – nepropustné opevnění celého koryta Oseckého potoka (fotografie autora)

6.5 Kvalita sedimentů

6.5.1 Výsledky zrnitostní analýzy

Žádný vzorek ze stanovovaných neobsahoval více než 30 % jílu. Kompletní tabulky se zrnitostními podíly jsou součástí příloh (Příloha 7).

Loučenský potok obsahoval převážné frakce odpovídající prachu, na druhou stranu nejčastěji zastoupená zrnitostní frakce v případě vzorků z potoka Bouřlivec byla ve frakci jemnozrnného písku. Zrnitostní křivky obou přítoků znázorňuje následující obrázek (Obr. 32).



Obr. 32 – zrnitostní křivka sedimentu potoka Bouřlivec a Loučenského potoka (vlastní zpracování)

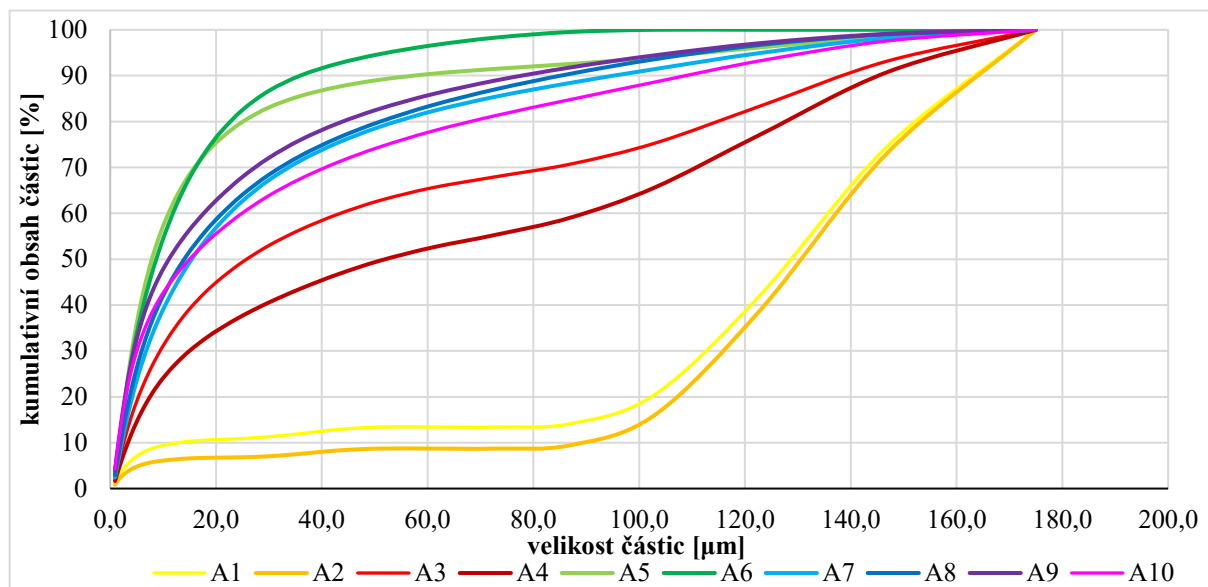
V prvních 20 cm v obou profilech převažuje zrnitostní frakce jemnozrnného písku. V odběru A převládá jemnozrnný písek v prvních 20 cm zhruba 88 %, zatímco v odběru C, který je vzdálenější, převládá jemnozrnný písek pouhými 47 %.

Oba odběry profilů jader A a C mají níže od hloubky 20 cm podobně zastoupené zrnitosti, kde u obou převládá prachová zrnitostní frakce.

Pro celý profil jádra A platí, že je zrnitostně více bohatší na jemnozrnný písek a jíl. Na druhou stranu pro profil jádra C je více charakteristický velký podíl prachu. Zrnitostní křivky obou profilů A a C jsou znázorněny na obrázku 33 a 34.

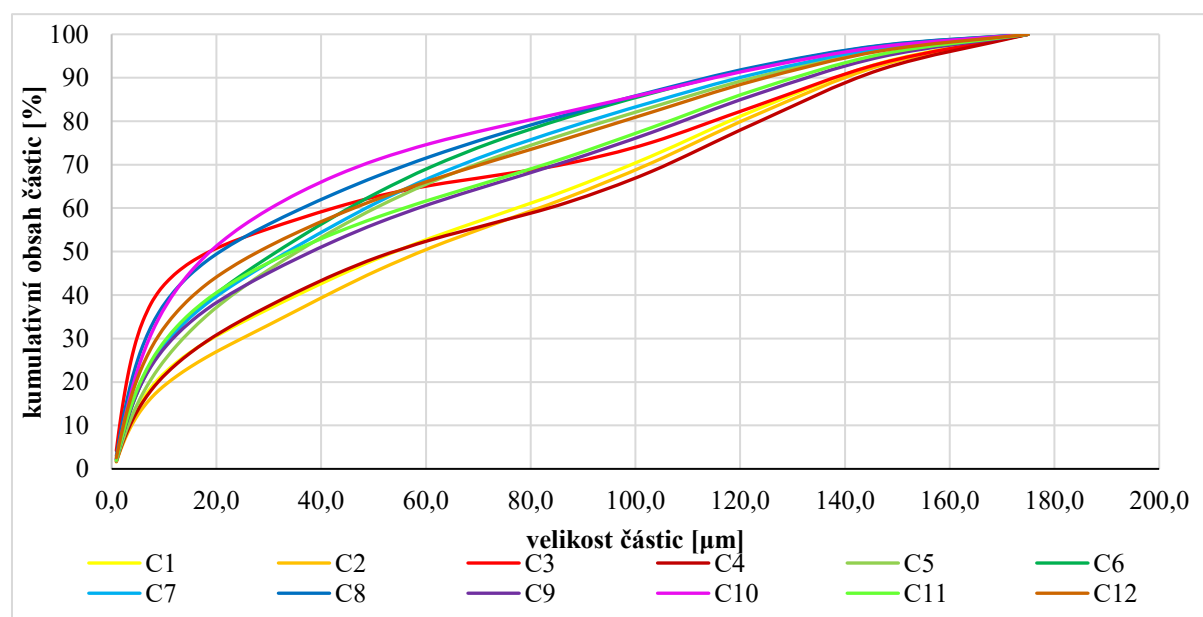
Výše zmíněná fakta potvrzují obecné pravidlo, že sedimenty blíže přítoku jsou méně zrnitostně vytríděné a obsahují větší zrnitostní frakce.

Z obrázku 33 je patrné, že prvních 20 cm profilu A obsahuje velký podíl částic jemnozrnného písku. Nicméně do hloubky se zrnitostní zastoupení mění nepravidelně. To může signalizovat zvrstvení způsobené různými hydrologickými událostmi s většími či menšími průtoky.



Obr. 33 – zrnitostní křivka profilu A

Na druhou stranu profil C, jehož zrnitostní křivku představuje obrázek 34, na první pohled zobrazuje velmi podobný průběh křivek pro jednotlivé hloubkové profily. Tento profil C byl odebrán dále od přítoku, a proto je více zrnitostně vytríděnější.



Obr. 34 – zrnitostní křivka profilu C

6.5.2 Výsledky chemických analýz profilů sedimentů

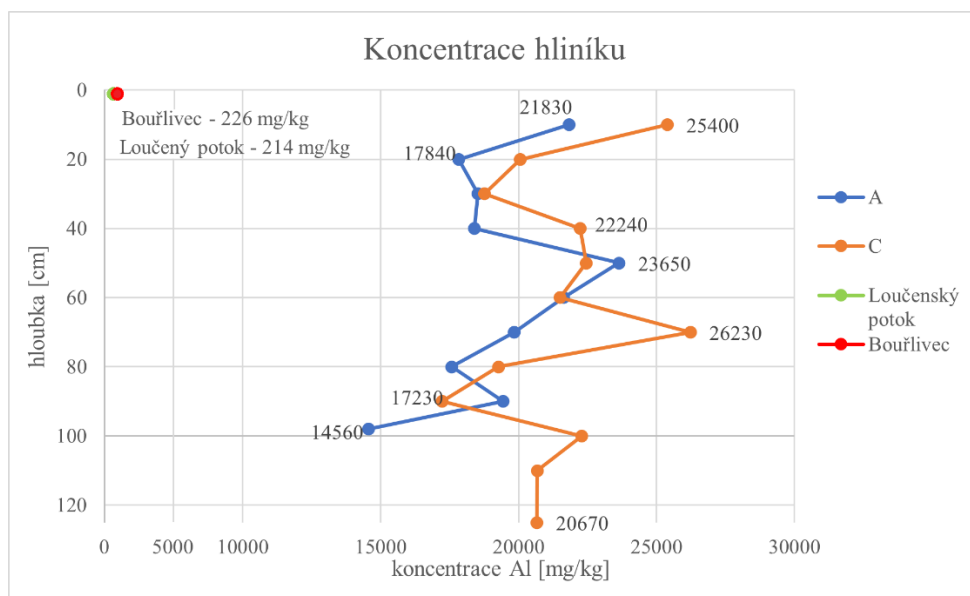
Tato podkapitola se věnuje výsledkům stanovených koncentrací prvků v potocích Bouřlivec a Loučenský potok a výsledným koncentracím v jednotlivých hloubkách odebraných profilech jader A a C z vodní nádrže Všechlapy.

Al – hliník

Koncentrace hliníku v přítocích jsou řádově o 2 desetinná místa menší, než koncentrace zachycené v sedimentu vodní nádrže (to může být například způsobeno srážedly, které se používají při nadměrné koncentraci fosforu ve stojatých vodách). Průběhy koncentrací hliníku do hloubky u obou profilů mají tři lokální maxima a velmi podobný průběh. Profil A, který je blíže přítoku, dosahuje celkově nižších koncentrací než profil C, který se nachází blíže hrázi. Průměrná koncentrace jádra A je 19331 mg.kg^{-1} a jádra C je 21400 mg.kg^{-1} .

Obsah hliníku v potoce Bouřlivec a Loučenském potoce dosahoval velmi podobných hodnot.

Z poznatků zaměřených na přirozené pozadíové koncentrace prvků lze usoudit, že naměřené koncentrace jsou velmi podhodnocené, a to z důvodu použití lučavkového rozkladu na analýzu koncentrace prvků v sedimentu.



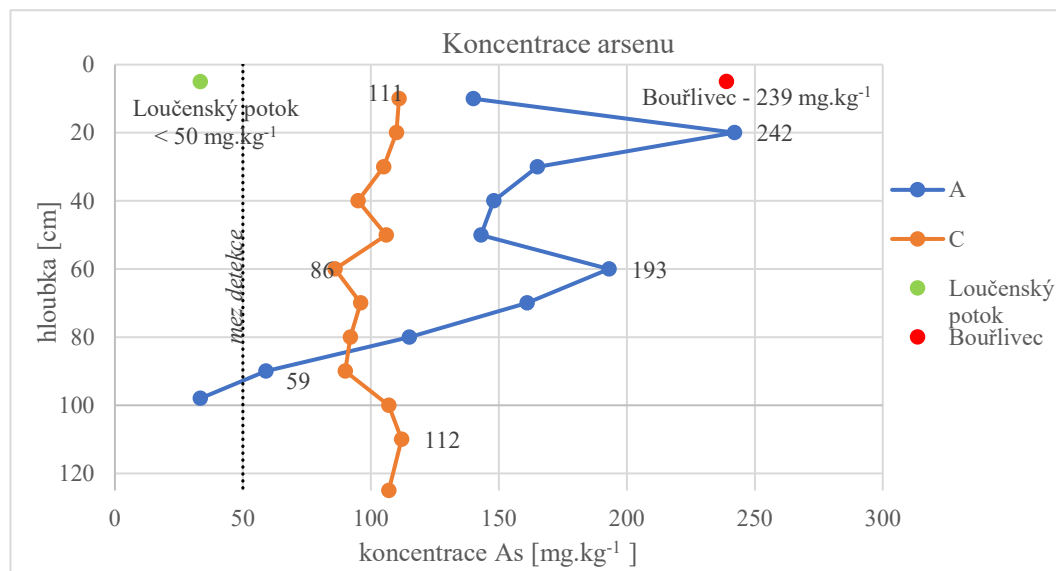
Obr. 35 – koncentrace hliníku v profilech jader A a C a v přítocích

Ag – stříbro

Bohužel mez detekce přístroje, na kterém byly vzorky analyzovány, je pro stanovení stříbra 10 mg.kg^{-1} . Tato koncentrace nebyla změřena ani v jednom ze stanovovaných vzorků.

As – arsen

Ačkoliv mez detekce přístroje byla pod 50 mg na kg, většina vzorků tuto mez přesáhla kromě Loučenského potoka a vzorku profilu A v hloubce 90–100 cm (vzorek označen A10).

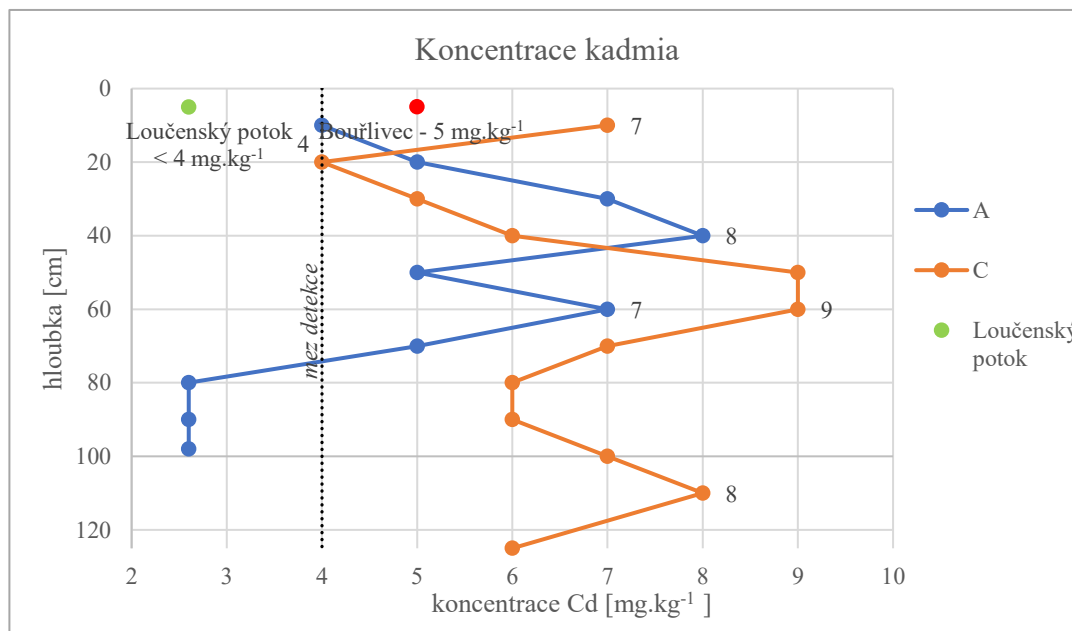


Obr. 36 – koncentrace arsenu v profilech A a C a přítocích, hodnoty pod mezí detekce jsou zobrazeny jako 2/3 detekčního limitu

Nejvyšší koncentrace arsenu byla změřena ve vzorku odebraného jádra A v hloubce 10–20 cm. Podobně vysoká koncentrace byla také zaznamenána ve vzorku odebraném z potoka Bouřlivec. Oproti tomu koncentrace v druhém přítoku – vzorek z Loučenského potoka – byla koncentrace arsenu pod mezí detekce měřicího přístroje. Z toho vyplývá, že hlavním zdrojem arsenu v sedimentech uložených ve vodní nádrži Všechny je s největší pravděpodobností původem z povodí Bouřlivec před soutokem s Loučenským potokem. Dalším zajímavým faktem je, že v profilu A, který je blíže přítoku, je celková koncentrace arsenu vyšší než v o 160 metrů vzdálenějším profilu C. Navíc v profilu jádra A lze pozorovat dvě maxima koncentrací, a to v hloubce 10 až 20 cm a v hloubce 50 až 60 cm a následný strmý pokles koncentrací od hloubky 60 cm. V nejhlubších částech sedimentu, tj. 90 až 100 cm, nebyla koncentrace arsenu zachycena měřicím přístrojem, tudíž obsah arsenu v nejhlubších místech sedimentů blíže přítoku je menší než 50 mg.kg⁻¹. Na druhou stranu v jádru C, které bylo odebráno dále od přítoku, jsou koncentrace arsenu podstatně nižší. Průměrná koncentrace arsenu v tomto jádře je 101,4 mg.kg⁻¹ sušiny a jednotlivé koncentrace se s hloubkou, v porovnání s jádrem A, výrazně nemění. Průměrná koncentrace arsenu v jádru A je 151,8 mg.kg⁻¹.

Cd – kadmium

Ačkoliv mez detekce měřicího přístroje byla pod 4 mg.kg^{-1} , většina vzorků tuto mez přesáhla kromě Loučenského potoka a tří vzorků jádra A v hloubce 70–100 cm (vzorky A8, A9 a A10).



Obr. 37 – koncentrace kadmia v profilech A a C a přítocích, hodnoty pod mezí detekce jsou zobrazeny jako 2/3 detekčního limitu

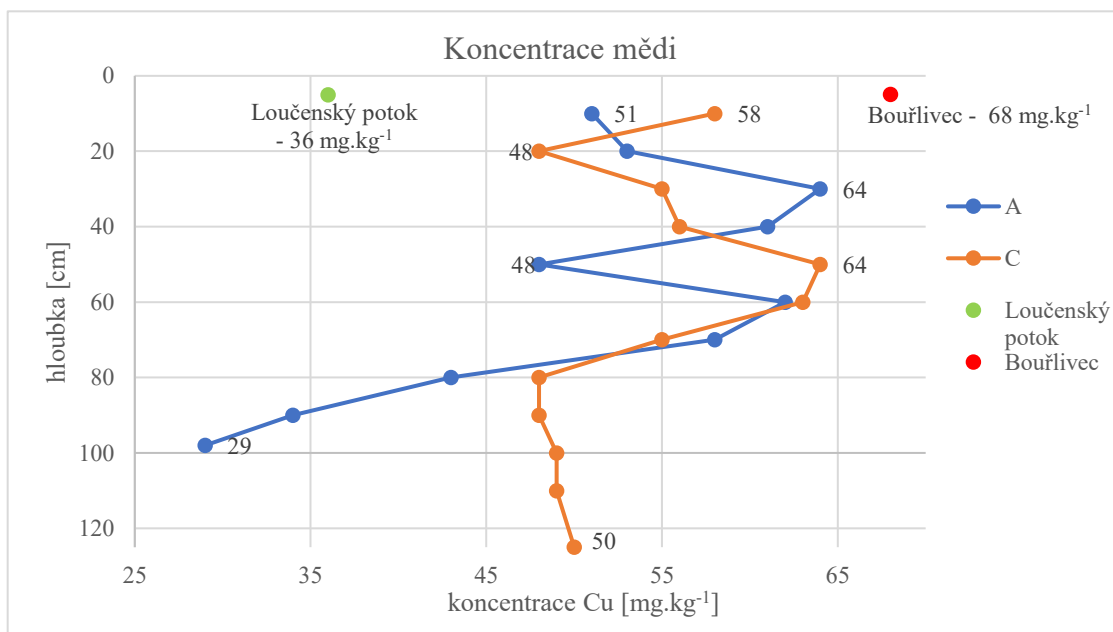
Nejvyšší koncentrace byla naměřena v hloubce 40 až 60 cm v jádře C, a to 9 mg.kg^{-1} . V tomto jádře byla průměrná koncentrace $6,7 \text{ mg.kg}^{-1}$. V jádře A, které dosahovalo celkově menších koncentrací než odběry v jádru C, byla naměřena průměrná koncentrace $5,9 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Bouřlivec vykazoval koncentraci kadmia ve výši 5 mg.kg^{-1} . Obsah kadmia v Loučenském potoce byl nižší než detekční limit.

Kadmium společně se zinkem mají výrazně podobný průběh koncentrací. Je to z důvodu, že se ve většině případech chemicky doprovází ve sloučeninách.

Cu – měď

Koncentrace mědi jsou v obou příčných profilech A i C v menší hloubce podobné, jejich maximum je v obou případech 64 mg.kg^{-1} . V profilu A, který je blíže přítoku do nádrže v hloubce 80 cm rychle klesá do nižších koncentrací, kdežto profil C (blíže hrázi) se v této hloubce ustálí a pohybuje se do nižších hloubek okolo koncentrace mg.kg^{-1} .

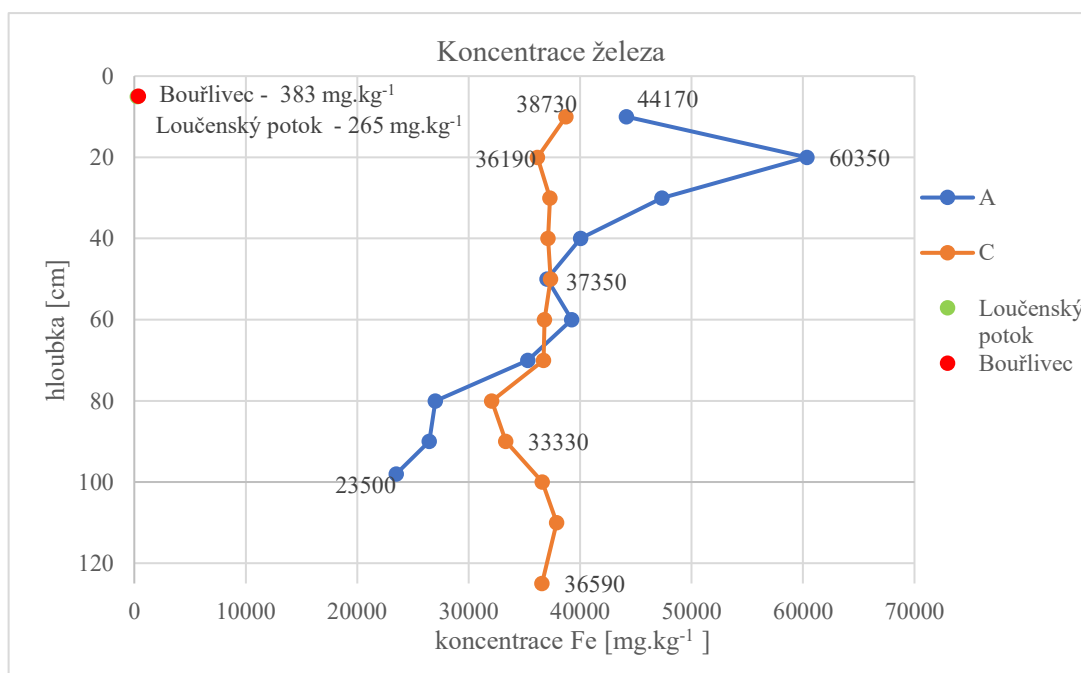


Obr. 38 – koncentrace mědi v profilech jader A a C a přítocích

Potok Bouřlivec dosahuje téměř 2 x větší koncentraci mědi v sedimentu než Loučenský potok. Průměrná hodnota odběru jádra A je $50,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ a jádra C je $53,6 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Fe – železo

Koncentrace železa jsou obdobně jako u hliníku řádově větší v odběrech ve vodní nádrži než koncentrace zachycené na přítocích. V odběru C je koncentrace železa skrz hloubkový profil stabilní, nemění se a jeho průměrná koncentrace je 36369 mg.kg^{-1} . U odběru A, který je blíže přítoků má v hloubce 10–20 cm maximální koncentraci 60350 mg.kg^{-1} a poté koncentrace do hloubky klesá. Průměrná koncentrace zjištěná v jádře A je 38057 mg.kg^{-1} .

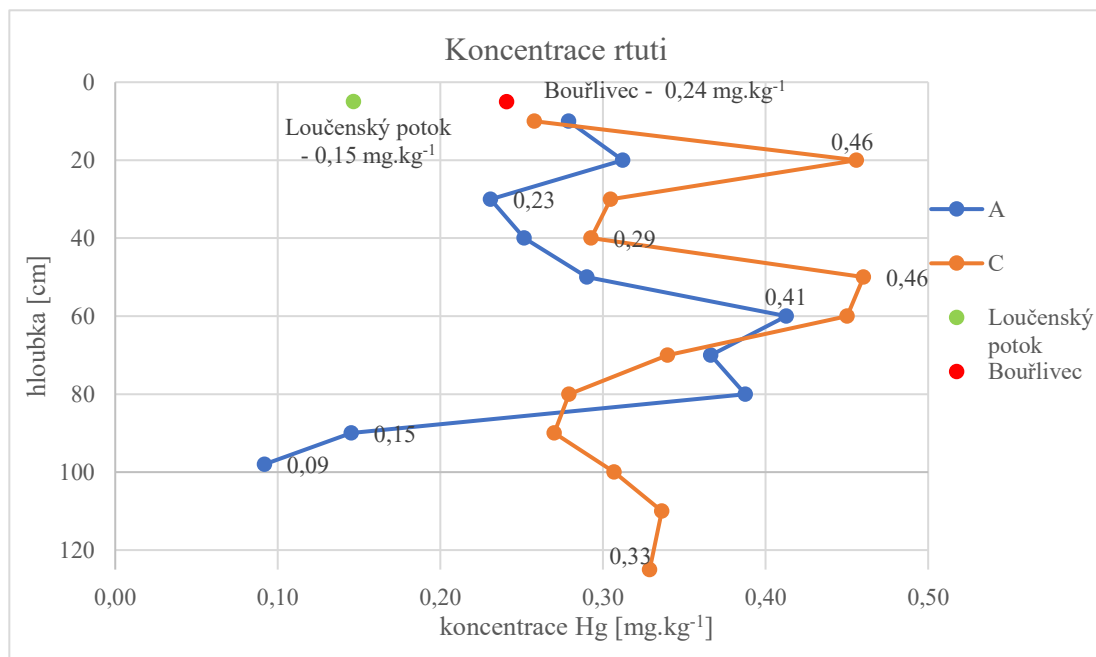


Obr. 39 – koncentrace železa v profilech jader A a C a přítocích

Vzorky přítoků – potoka Bouřlivec a Loučenského potoka dosahují podobných koncentrací, které jsou oproti vzorkům odebraných ze dnového sedimentu nádrže o dva řády desetinného čísla nižší.

Hg – rtuť

Obě odebraná jádra mají do hloubky 70 cm podobný průběh hodnot. Jádro A pak v hlubších polohách nabývá čím dál menších koncentrací rtuti. Na druhou stranu jádro C do hloubky nabývá koncentrací ustálených okolo 0,3 mg.kg⁻¹. Nejvyšších hodnota 0,46 mg.kg⁻¹ byla zaznamenána v hloubce 20 a 50 cm profilu C. Průměrná koncentrace rtuti v profilu jádra A je 0,28 mg.kg⁻¹ a v jádru C 0,34 mg.kg⁻¹.

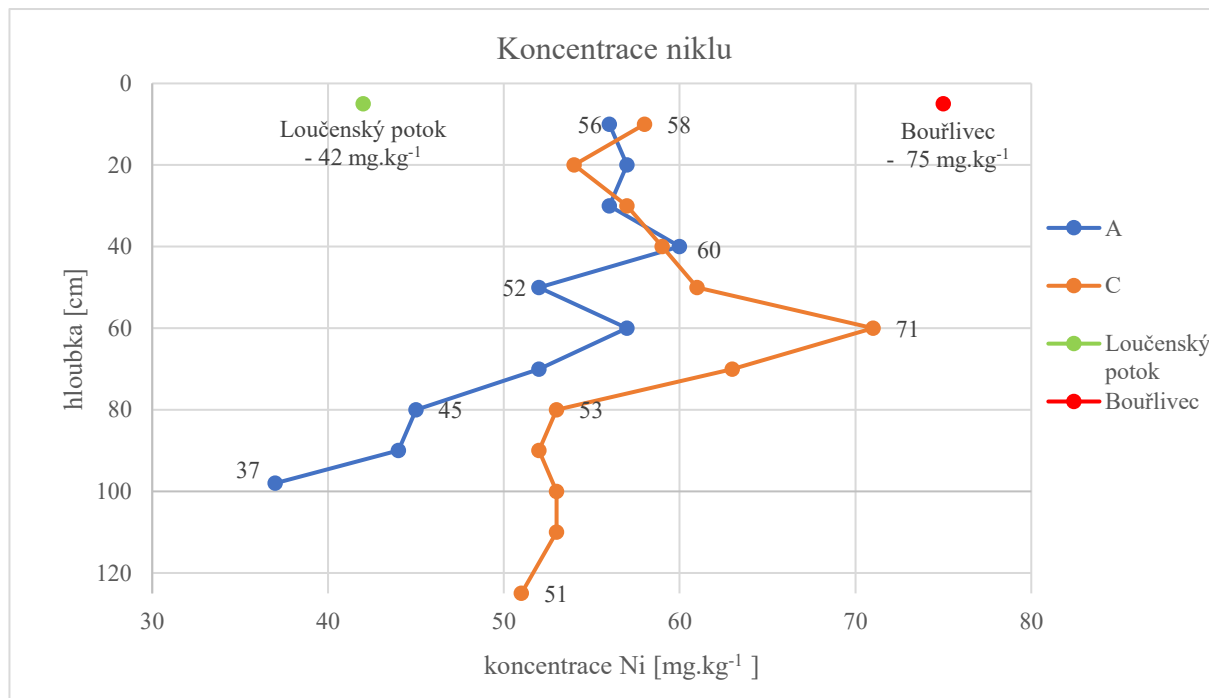


Obr. 40 – koncentrace rtuti v profilech jader A a C a přítocích

V sedimentu z potoka Bouřlivec byla zjištěna koncentrace Hg vyšší než v Loučenském potoce.

Ni – nikl

Nejvyšší naměřená hodnota niklu byla v odběru z potoka Bouřlivec ve výši 75 mg.kg⁻¹. Oproti Bouřlivci, Loučenský potok obsahoval téměř o polovinu méně niklu.

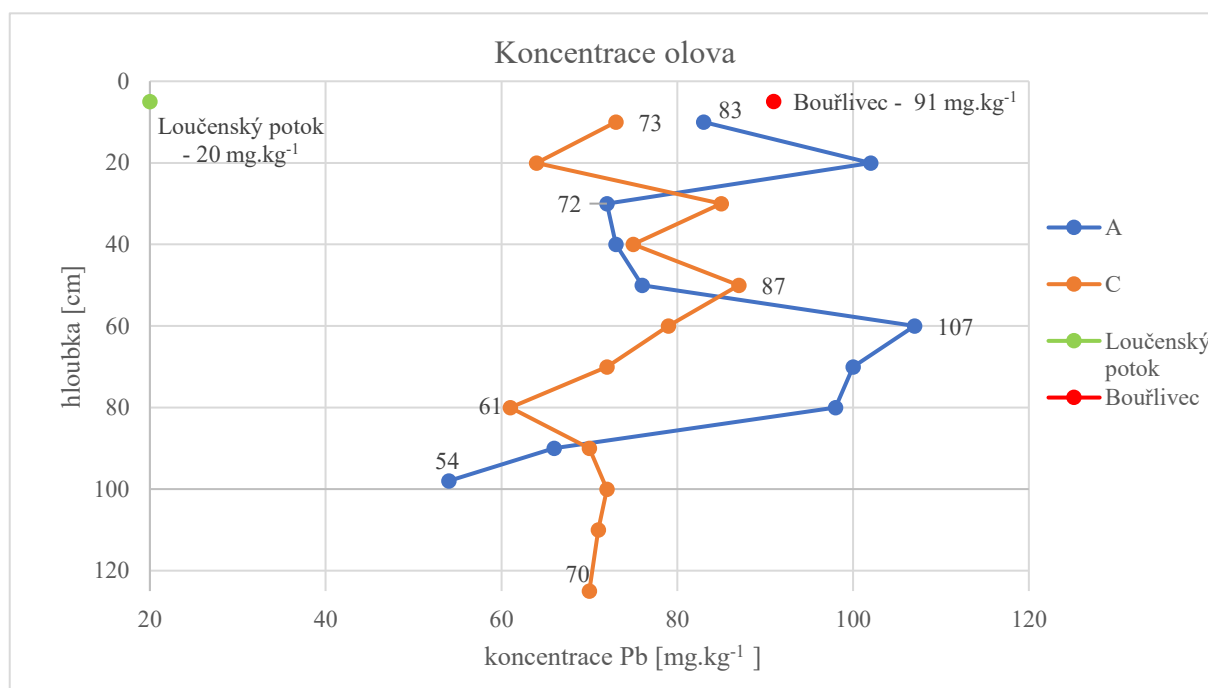


Obr. 41 – koncentrace niklu v profilech jader A a C a přítocích

Oba odběry jader mají do hloubky obdobný průběh koncentrací, které se s větší hloubkou zmenšují. Nejvyšší naměřená koncentrace v odebraných jádrech byla v profilu C v hloubce 50 až 60 cm. V této hloubce dosahovalo maximum téměř stejné hodnoty jako koncentrace naměřená v potoce Bouřlivec. Průměrná hodnota v jádře A je 51,6 mg.kg⁻¹ a jádře C 57,1 mg.kg⁻¹.

Pb – olovo

Rozdíl koncentrací olova v přítocích byl až trojnásobný. Bouřlivec obsahoval 91 mg.kg^{-1} olova, kdežto Loučenský potok pouze 20 mg.kg^{-1} . Průběh koncentrací u odebraných profilů jader nemá podobný průběh do hloubky. Nejvyšší hodnoty dosáhl profil A v hloubce 50 až 60 cm – 107 mg.kg^{-1} . Profil A také dosáhl vyšší průměrné koncentrace v celé své délce $83,1 \text{ mg.kg}^{-1}$. Profil jádra C dosahovalo průměrné koncentrace $73,3 \text{ mg.kg}^{-1}$.



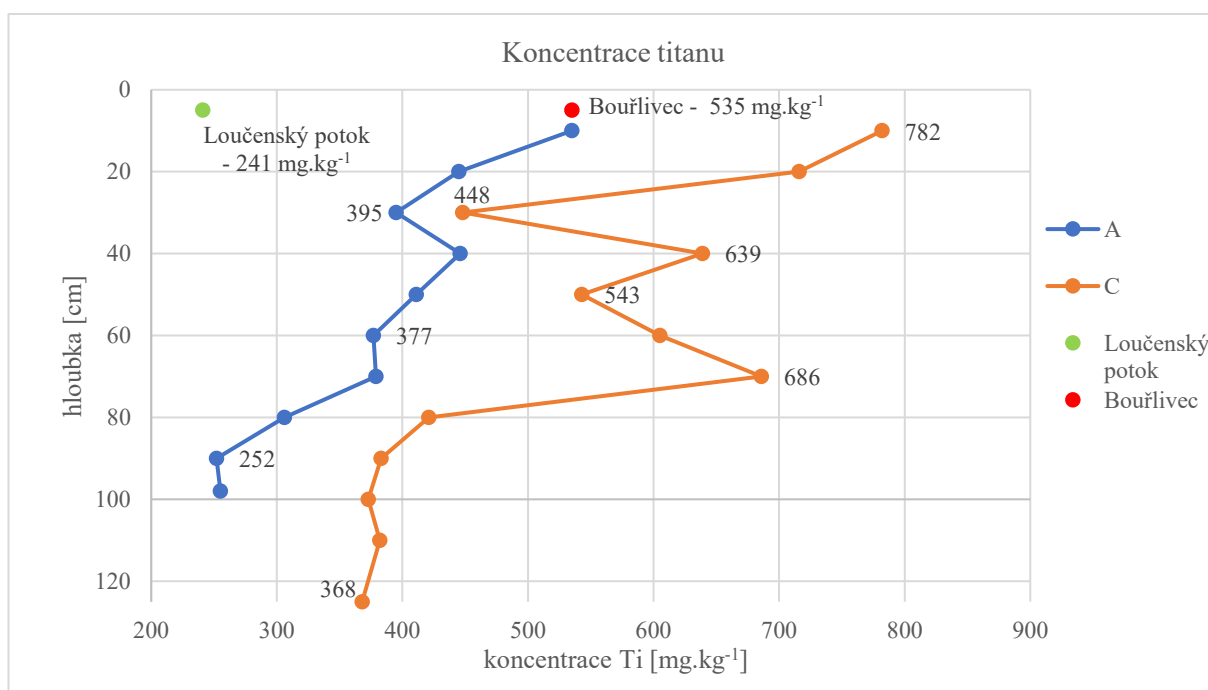
Obr. 42 – koncentrace olova v profilech jader A a C a přítocích

Ti – titan

Jako v mnoha již výše zmíněných případech, koncentrace titanu ve vzorcích z potoka Bouřlivec dosahují vyšších hodnot než Loučenský potok. Bouřlivec v tomto případě obsahoval až dvakrát vyšší koncentraci titanu.

Největší maximální koncentrace byla naměřena v povrchové vrstvě profilu C v hloubce 0-10 cm. Tento profil celkově dosahoval ve všech hloubkách vyšších koncentrací než profil A. Průměrná koncentrace profilu C je $528,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ a u profilu A $380,1 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Obdobně jako u hliníku, lze z poznatků ohledně přirozených pozadíových koncentrací prvků usoudit, že naměřené koncentrace jsou velmi podhodnocené, a to z důvodu použití lučavkového rozkladu na analýzu koncentrace prvků v sedimentu.

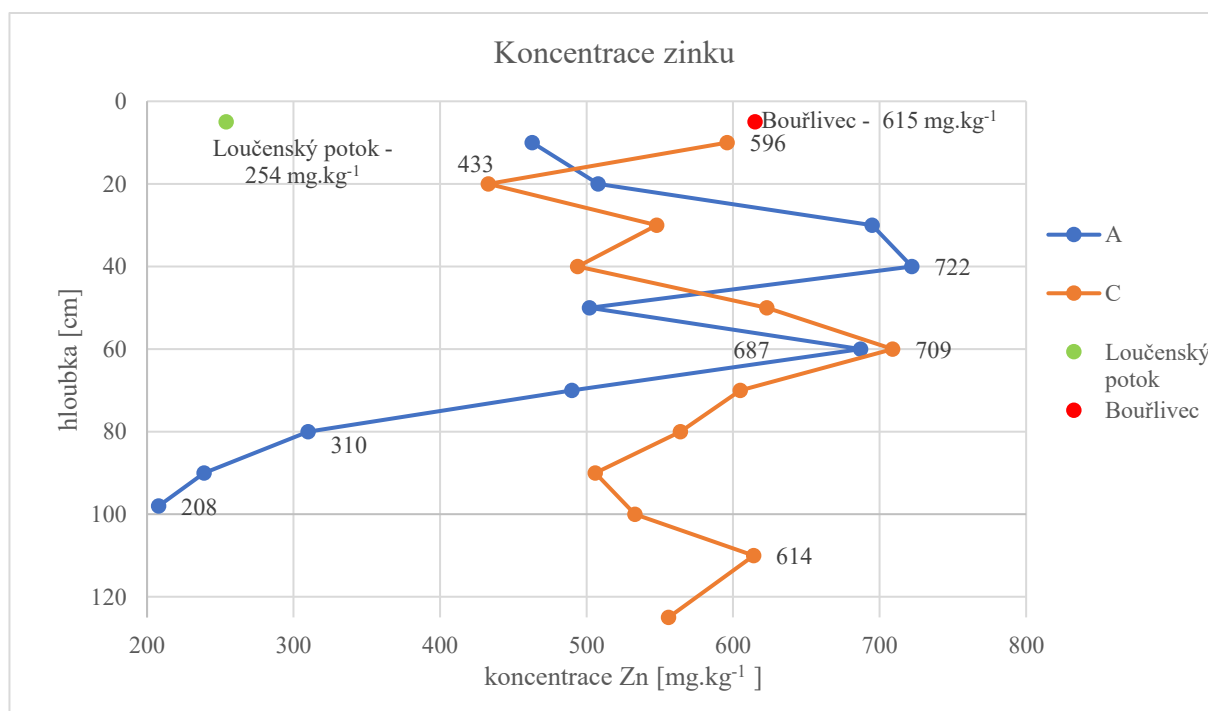


Obr. 43 – koncentrace titanu v profilech jader A a C a přítocích

Zn – zinek

Koncentrace zinku svým průběhem do hloubky kopírují kadmium. Podobně jako kadmium v profilu jádra A, má zinek dvě maxima koncentrace v hloubce 30 až 40 cm a 50 až 60 cm a od svého druhého maxima strmě klesá do velmi nízkých hodnot v nejhlubších částech jádra. Podobné výsledky jako u kadmia mají také potoky. Loučenský potok vykazuje velmi nízké hodnoty. Oproti tomu Bouřlivec dosahuje skoro až trojnásobné hodnoty než Loučenský potok a blíží se k hodnotě maximální zjištěné koncentrace zjištěné v profilu jádra A v hloubce 30 až 40 cm (722 mg.kg⁻¹).

V druhém odebraném jádře C hodnoty koncentrace zinku nabývají skrz celý hloubkový profil hodnoty blíží se průměrné koncentraci celého jádra C 565 mg.kg⁻¹.



Obr. 44 – koncentrace zinku v profilech jader A a C a přítocích

6.5.3 Vyhodnocení kontaminace sedimentů

Pro vyhodnocení znečištění sedimentů kovy a polokovy byly použity tři metody. První pomocí srovnání s požadovými hodnotami a následným zařazením do klasifikačního systému GHW Elbe, který vypracoval Prange (1997) pro celý region povodí Labe. Druhá metoda vyhodnocení byla provedena pomocí geoakumulačních indexů, kdy se použily dvě přirozené požadové koncentrace. První – mezinárodně uznávané koncentrace, určené Turekianem a Wedepohlem (1961) v částech zemské kůry a druhé – studovanému povodí bližší požadové koncentrace, stanovené Lochovským (2008), pro povodí řeky Bíliny. Třetí metodou je zhodnocení dle norem environmentální kvality stanovené MKOL (2014).

6.5.3.1 Hodnocení podle systému GHW Elbe

Klasifikační systém tříd znečištění GHW Elbe stanovený Prangem (1997) podle jeho určených požadových hodnot uvádí následující tabulka (Tab. 11).

Tab. 11 – třídy znečištění sedimentů podle klasifikačního systému pro region Labe - GHW – Elbe (Prange 1997)

Třída znečištění	I	I - II	II	II - III	III	III - IV	IV
Ag (mg.kg ⁻¹)	0,3	≤ 0,5	≤ 1	≤ 3	≤ 5	≤ 11	≥ 11
Al (mg.kg ⁻¹)	88 600	≤ 110 000	≤ 354 000	≤ 709 000			
As (mg.kg ⁻¹)	24	≤ 50	≤ 97	≤ 194	≤ 389	≤ 778	≥ 778
Cd (mg.kg ⁻¹)	0,4	≤ 1,3	≤ 2	≤ 3	≤ 7	≤ 13	≥ 13
Cu (mg.kg ⁻¹)	32	≤ 42	≤ 129	≤ 257	≤ 514	≤ 1 030	≥ 1 030
Fe (mg.kg ⁻¹)	47 600	≤ 83 000	≤ 190 000	≤ 389 000	≤ 760 000		
Hg (mg.kg ⁻¹)	< 0,3	≤ 0,3	≤ 1,2	≤ 2,4	≤ 4,8	≤ 9,6	≥ 10
Ni (mg.kg ⁻¹)	53	≤ 66	≤ 212	≤ 425	≤ 849	≤ 1 700	≥ 1 670
Pb (mg.kg ⁻¹)	29	≤ 47	≤ 115	≤ 229	≤ 459	≤ 918	≥ 918
Ti (mg.kg ⁻¹)	5 910	≤ 8 080	≤ 23 600	≤ 47 300	≤ 94 600	≤ 189 000	≥ 189 000
Zn (mg.kg ⁻¹)	150	≤ 187	≤ 600	≤ 1 200	≤ 2 400	≤ 4 800	≥ 4 800

Z výsledných naměřených koncentrací ve studovaném území, které byly pro profily jader A a C zprůměrovány vyplývá, že podle výše zmíněné klasifikace hliník, železo, titan a z větší části i rtuť spadají do I. třídy (Tab. 12).

Při porovnání ostatních koncentrací prvků zjištěných v potoce Bouřlivec a v Loučenském potoce se naměřené koncentrace mezi sebou liší o jednu, až tři třídy znečištění, přičemž ve všech případech horší třídy znečištění dosahuje potok Bouřlivec. Nejhorší třída znečištění byla zjištěna III. třída – a to v prvním případě koncentrace arsenu v potoce Bouřlivec a v druhém případě koncentrace kadmia v případě obou odebraných jader A a C a rovněž opět v potoce Bouřlivec. Vyšších tříd znečištění, než které se objevily v hodnocení znečištění profilů jader odebraných ve vodní nádrži Všechlapy, vykázal potok Bouřlivec v případě arsenu, niklu a zinku.

Tab. 12 – hodnocení koncentrací naměřených v potocích a průměrných koncentrací vybraných prvků v odebraných profilech jádrech z VD Všechlapy

	Ag mg.kg ⁻¹	Al mg.kg ⁻¹	As mg.kg ⁻¹	Cd mg.kg ⁻¹	Cu mg.kg ⁻¹	Fe mg.kg ⁻¹	Hg mg.kg ⁻¹	Ni mg.kg ⁻¹	Pb mg.kg ⁻¹	Ti mg.kg ⁻¹	Zn mg.kg ⁻¹
Loučenský potok	< 10	214	33,3*	2,6*	36	265	0,15	42	20	241	254
Bouřlivec	< 10	226	239	5,00	68	383	0,24	75	91	535	615
A	< 10	19331	139,93	4,88	50,30	38057	0,28	51,60	83,10	380,10	482,40
C	< 10	21400	101	6,67	53,58	36396	0,34	57,08	73,25	528,83	565,08

*pro zhodnocení byla pro vzorky jejichž koncentrace byla pod mezí detekce použita hodnota 2/3 z limitu detekce

Rtut', klasifikovaná jako I. třída znečištění, byla zjištěna v obou potocích a odběru jádra A, které je blíže přítoku. Odběr z jádra C byl jako jediný klasifikován II. třídou znečištění, což může vypovídat kumulaci rtuti v „klidnějších“ místech nádrže, kde není tak velká unášecí schopnost vody – například ve vazbě na usazenou organickou hmotu.

6.5.3.2 Hodnocení pomocí geoakumulačních indexů

Hodnocení pomocí geoakumulačních indexů zavedl Müller (1979) na základě následujícího výpočtu:

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1,5 * B_n} \right)$$

Kdy C_n vyjadřuje změřenou koncentraci daného prvku ve vzorku a B_n udává požadovou hodnotu stanovovaného prvku v přírodním sedimentu (uvedeno v Tab. 14). Koeficient 1,5 odpovídá přirozené variabilitě prostředí.

Výsledné hodnoty geoakumulačních indexů se dále řadí do sedmi tříd I_{geo} , kdy třída 0 hodnotí vzorek jako nekontaminovaný sediment (nejlepší kvalita) a 6. třída hodnotí vzorek jako velmi silně kontaminovaný sediment. Všechny třídy znečištění sedimentů podle geoakumulačních indexů uvádí následující tabulka (Tab. 13)

Tab. 13 – třídy znečištění sedimentu podle hodnoty geoakumulačních indexů (Müller 1979)

Hodnota I_{geo}	Třída I_{geo}	Znečištění sedimentu
< 0	0	nekontaminovaný
< 1	1	nekontaminovaný až středně kontaminovaný
< 2	2	středně kontaminovaný
< 3	3	středně kontaminovaný až silně kontaminovaný
< 4	4	silně kontaminovaný
< 5	5	silně kontaminovaný až velmi silně kontaminovaný
≥ 5	6	velmi silně kontaminovaný

Pro zhodnocení byly použity požadové koncentrace stanovené Turekianem a Wedepohlem (1961), kteří stanovili globální přirozené hodnoty v přírodním sedimentu a požadové koncentrace, které stanovil Lochovský (2008) pro lokální povodí řeky Bíliny. Hodnoty zmíněných požadových koncentrací jsou součástí následující tabulky (Tab. 14).

Tab. 14 – požadové koncentrace přirozené hodnoty koncentrace vybraných prvků stanovené Turekianem a Wedepohlem (1961) a Lochovským (2008)

	Požadové koncentrace vybraných prvků [mg.kg^{-1}]										
	Ag	Al	As	Cd	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	Ti	Zn
T&W	0,07	80000	13	0,3	45	47200	0,4	68	20	4600	95
Lochovský	0,1	-	17	0,12	40	52000	0,07	78	24	-	130

Výsledné hodnoty dvou odebraných jader A a C z vodní nádrže Všechny byly pro každý stanovovaný prvek zprůměrovány a vyhodnoceny pomocí geoakumulačních indexů jako jedna hodnota pro každý prvek. Pro koncentrace, které byly pod mezí detekce, byla použita hodnota koncentrace 2/3 limitu detekce. Výsledná vyhodnocení každého vzorku z profilů jader A a C jsou součástí příloh (Příloha 8 a Příloha 9). Výsledné zhodnocení vzorků Bouřlivce, Loučenského potoka a průměrných hodnot z profilů jader A a C jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 15).

Tab 15 – výsledné geoakumulační indexy vypočtené dle Müllera (1979) s využitím pozadových hodnot určených Turekianem a Wedepohlem (1961) a Lochovským (2008)

	Loučenský potok		Bouřlivec		A		C	
	T&W	Lochovský	T&W	Lochovský	T&W	Lochovský	T&W	Lochovský
Al	-9,13	–	-9,13	–	-2,63	–	-2,49	–
As	0,77*	0,39*	3,62	3,23	2,84	2,46	2,38	1,99
Cd	2,53*	3,85*	3,47	4,80	3,44	4,76	3,89	5,21
Cu	-0,91	-0,74	0,01	0,18	-0,42	-0,25	-0,33	-0,16
Fe	-8,06	-8,20	-7,53	-7,67	-0,90	-1,04	-0,96	-1,10
Hg	-2,03	0,48	-1,32	1,20	-1,12	1,40	-0,82	1,70
Ni	-1,28	-1,48	-0,44	-0,64	-0,98	-1,18	-0,84	-1,04
Pb	-0,58	-0,85	1,60	1,34	1,47	1,21	1,29	1,02
Ti	-4,84	–	-3,69	–	-4,18	–	-3,71	–
Zn	0,83	0,38	2,11	1,66	1,76	1,31	1,99	1,53

*pro výpočet I_{geo} indexů byla pro vzorky jejichž koncentrace byla pod mezí detekce, použita hodnota 2/3 z limitu detekce

6.5.3.3 Celkové zhodnocení I_{geo} indexů

Koncentrace **stříbra** nebyla změřena z důvodu nedosažení meze detekce měřicího přístroje (tj. přesně 10 mg.kg⁻¹). Při dosažení meze detekce by stříbro při hodnocení pomocí geoakumulačních indexů bylo klasifikováno nejhorší 6. třídou – velmi silně kontaminovaný sediment. Z těchto výsledků lze konstatovat, že pro stanovení obsahu stříbra a zhodnocení znečištění sedimentu stříbrem, použitá metoda a technologie nebyla vhodně zvolena. Vzhledem k tomu že, koncentrace nebyla zachycena ani v jednom ze stanovovaných vzorků, nebyla přepočítávána na 2/3 limitu detekce a nebyla vyhodnocována kvalita sedimentu v ukazateli stříbra.

Loučenský potok podle obou použitých pozadových koncentrací spadá ve většině případů do 0. třídy znečištění (tj. **nekontaminovaný**). V případě arsenu a kadmia nedosáhla koncentrace zmíněných prvků ani meze detekce měřicího přístroje. Přesto byla pro výpočet I_{geo} indexů použita hodnota 2/3 limitu detekce. Vzorek Loučenského potoka byl zhodnocen jako středně až silně kontaminovaný sediment kadmíem a nekontaminovaný až středně kontaminovaný sediment arsenem.

U ostatních vzorků **kadmium** dosahovalo 4. až nejhorší 6. třídy I_{geo}. Například u koncentrací kadmia naměřených v profilu jader A a C se lišily třídy I_{geo} u jednotlivých použitých

pozad'ových hodnot o 2 třídy, přičemž přísněji hodnotí geoakumulační index s použitím pozad'ových hodnot určených Lochovským (2008). V tabulce 15 si lze povšimnout, že I_{geo} indexy pro kadmium s využitím pozad'ových hodnot Lochovského (2008) hodnotí potok Bouřlivec a profil A 5. třídou – silně kontaminovaný, až velmi silně kontaminovaný a profil C hodnotí nejhorší 6. třídou – velmi silně kontaminovaný. Kdežto pozad'ové koncentrace určené Turekianem a Wedepohlem (1961) všechny tři vzorky hodnotí 4. třídou I_{geo} .

Dalším výrazným znečišťujícím prvkem je **arsen**. Ten byl nejhůře vyhodnocen pro potok Bouřlivec. V obou případech použitých pozad'ových koncentrací byl v ukazateli obsahu arsenu klasifikován jako silně kontaminovaný sediment (4. třída I_{geo}). Také obě odebraná jádra byla klasifikována jako středně kontaminovaný až silně kontaminovaný (3. třída I_{geo}) sediment arsenem.

Mezi další znečišťující prvky patří **zinek**, o kterém je známo, že chemicky doprovází kadmium (Pitter 2015). Zinek byl převážně klasifikován 2. a v jednom případě i 3. třídou I_{geo} . Obdobné klasifikace dospělo také **olovo**, které ve všech případech bylo klasifikováno také 2. třídou I_{geo} .

Výrazné rozdíly v klasifikaci pomocí I_{geo} indexu vznikly také při hodnocení koncentrace **rtuťi**. Díky velmi rozdílným pozad'ovým koncentracím, byly vzorky (Bouřlivec, A a C) dle pozad'ové koncentrace Lochovského (2008) hodnoceny jako středně kontaminované sedimenty rtuťi.

Oproti tomu, dle pozad'ové koncentrace Turekiana a Wedepohla (1961) jsou stejné vzorky ohodnoceny jako nekontaminovaný sediment.

Co se týče prvků **hliníku a titanu**, použitá metoda lučavkového výluhu není dle ústního sdělení paní laborantky Lenky Jílkové ideální pro stanovení veškeré koncentrace zmíněných prvků. Pro tyto prvky nebyla přirozená koncentrace pozadí dle Lochovského (2008) stanovována. Na druhou stranu dle Turekiana a Wedepohla (1961) pozad'ová hodnota stanovená je, nicméně v rešerši odborné literatury je uvedeno, že Turekian Wedepohl (1961) stanovoval přirozené koncentrace pozadí pomocí totálního rozkladu, tudíž výsledky mohou být velmi zkreslené.

6.5.3.4 Srovnání na základě principu norem environmentální kvality MKOL

Dalšími indikátory kvality sedimentů jsou tzv. normy environmentální kvality, které stanovila MKOL v roce 2014 v rámci koncepce pro nakládání se sedimenty. Pro klasifikování kvality sedimentu byly určeny 3 klasifikační třídy ohraničené dolní a horní prahovou hodnotou. Při podkročení dolní prahové hodnoty je vzorek klasifikován zelenou třídou. Pokud vzorek dosáhne rozmezí mezi horní a dolní prahovou hodnotou, je klasifikován žlutou třídou a pokud vzorek překročí horní prahovou hodnotu, je označen červenou klasifikační třídou.

Tab. 16 – prahové hodnoty pro normy environmentální kvality sedimentů (MKOL 2014)

Látka	Jednotka	Dolní prahová hodnota		Horní prahová hodnota
Rtuť	mg.kg ⁻¹	< 0,15	0,15 - 0,47	0,47
Kadmium	mg.kg ⁻¹	< 0,22	0,22 - 2,3	2,3
Olovo	mg.kg ⁻¹	< 25	25 - 53	53
Zinek	mg.kg ⁻¹	< 200	200 - 800	800
Měď	mg.kg ⁻¹	< 14	14 - 160	160
Nikl	mg.kg ⁻¹	-		3
Arsen	mg.kg ⁻¹	< 7,9	7,9 - 40	40

Výše zmíněná klasifikace stanovuje prahové hodnoty pouze pro vybrané těžké kovy a arsen, kterými v této diplomové práci jsou měď, nikl, kadmium, olovo, rtuť, zinek a již zmíněný arsen. V následující tabulce (Tab. 17) jsou uvedeny výsledné klasifikační třídy. Ve všech změřených vzorcích HPH výrazně překročilo kadmium, nikl a také s výjimkou vzorku Loučenského potoka i olovo a arsen. Do žluté třídy, která je definována jako rozmezí mezi dolní a horní prahovou hodnotou svojí koncentrací spadají všechny vzorky stanovované na měď, zinek a také vzorky Bouřlivec, A a C stanovované na obsah rtuti. Zelenou třídou byly klasifikovány vzorky pouze Loučenského potoka, a to pouze ve dvou hodnocených obsazích TK – rtuti a olova.

Tab. 17 – výsledné třídy znečištění sedimentů

	Ag mg.kg ⁻¹	Al mg.kg ⁻¹	As mg.kg ⁻¹	Cd mg.kg ⁻¹	Cu mg.kg ⁻¹	Fe mg.kg ⁻¹	Hg mg.kg ⁻¹	Ni mg.kg ⁻¹	Pb mg.kg ⁻¹	Ti mg.kg ⁻¹	Zn mg.kg ⁻¹
Loučenský potok	<10	214	33,3*	2,6*	36	265	0,147	42	20	241	254
Bouřlivec	<10	226	239	5,00	68	383	0,241	75	91	535	615
A	<10	19331	152	5,86	50,30	38057	0,277	51,60	83,10	380,10	482
C	<10	21400	101	6,67	53,58	36396	0,340	57,08	73,25	528,83	565

*pro zhodnocení byla pro vzorky jejichž koncentrace byla pod mezí detekce použita hodnota 2/3 z limitu detekce

7. DISKUSE

7.1 Výpočet objemu sedimentu

Z informací uvedených státním podnikem Povodí Ohře vychází, že v roce 1972 měla nádrž při napuštění objem 484 000 m³, při zásobní hladině 211,6 m n. m. Celkový objem sedimentů vypočtený z odečtení původního udávaného objemu a zjištěného současného objemu tak vychází na pouhých 7365 m³ (v roce 2019 je tedy nádrž zanesena z 1,5 %). Nicméně při rekonstrukci mapových podkladů z roku 1956 vychází celkový objem říčního údolí k výškové kótě 211,6 m n.m. a to bez finálních úprav terénu před napuštěním na 565 693 m³. Z odečtení rekonstruovaného objemu říčního údolí a současného objemu vypočteného z batymetrického mapování tudíž vychází celkové zanešení o objemu 89 058 m³, to znamená 15,7 % zanešení původního objemu říčního údolí před zatopením a výstavbou hráze. Také laboratorní zpráva z roku 1993 vypracovaná společností ENVI s.r.o. udává odhad objemu sedimentu 120 000 m³. Lze předpokládat, že říční údolí bylo v některých místech odtěženo a tento odtěžený materiál byl použit pro výstavbu zemní hráze a zpevnění levého boku vedle přehradní hráze. Tomuto faktu nasvědčují i Geologické mapy, dle kterých se na levém břehu nachází u přehradní hráze antropogenní navážky a také fakt, že původní říční údolí mělo dříve v některých místech zvýšený terén přesahující nad současnou hladinu zásobního prostoru. Jedním z výsledků při výpočtu objemu je také plocha, která se nachází pod zásobní hladinou 211,6 m n.m. Z rekonstruovaného digitálního modelu terénu původního říčního údolí vyplývá, že 24 004 m² z plochy současné vodní nádrže (z databáze DIBAVOD) se nacházelo nad nadmořskou výškou zásobní hladiny, tudíž tyto elevace musely být v minulosti odstraněny.

Jednou z výzkumných otázek bylo také v jakých místech je nádrž zanesená nejvíce. Bohužel historický dokument obsahující výškové poměry původního údolí je z období plánování přehrady. Proto v něm nejsou zahrnuty další terénní úpravy před samotným napuštěním vodní nádrže. Například Raida (2019) ve svém výzkumu popsal, že nejvíce sedimentu je ve vodní nádrži Les Království uloženo ve středu nádrže, nicméně ve své práci též zmiňuje, že rozmístění sedimentu na dně vodní nádrže je charakteristické pro každou nádrž v závislosti na morfologii dna a samotného zatopeného říčního údolí.

7.2 Porovnání současných dat s laboratorní zprávou společnosti ENVI s.r.o.

V rámci rekonstrukce starších mapových podkladů získaných od podniku Povodí Ohře, byla snaha co nejpřesněji také digitalizovat také laboratorní zprávu provedenou v roce 1993, která obsahovala mapu hloubek a množství sedimentu v roce 1993. Po sáhodlouhém pátrání bylo zjištěno z elektronické komunikace s autory zprávy, že obrys, ve kterém byly hloubky interpolovány z jednotlivých profilů měření, je převzat z katastrálních map, a proto bylo těžké mapové podklady georeferencovat na současný obrys vodní nádrže (z DIBAVOD). Tyto mapy byly následně georeferencovány podle katastrálních map, ale po digitalizaci původního dna nádrže z roku 1993 a jeho následného porovnání se současným dnem nádrže se dno z roku 1993 nacházelo výše, než je současné dno nádrže. Také celková rozloha nádrže byla větší. Ze zprávy z roku 1993 například vycházelo, že měřený profil F8 se nachází již na souši, zhruba 35 metrů od současné břehové linie.

Tato laboratorní zpráva měla být podkladem pro odtěžení sedimentu a jeho následné skládkování a využití. Nicméně dle ústního sdělení pana Adámka (Povodí Ohře), bylo navrhnuté odsávání sedimentu prováděno 2 dny a po této době bylo odtěžování ukončeno z důvodu neviditelných výsledků. V laboratorní zprávě není uvedeno, kdy byly profily hloubek měřeny, ani za jaké provozní hladiny. Lze předpokládat, že měření bylo uskutečněno pár měsíců před datem 17. 2. 1993, ke kterému je zpráva podepsaná řešitelem. Z dat poskytnutých společností VODNÍ DÍLA – TBD a. s. a Povodí Ohře s. p. je známo, že hladina vodní nádrže Všechny se v rozmezí prosince 1992 až února 1993 pohybovala mezi 212,05 a 211,34 m n.m. A proto je pravděpodobné, že měření hloubek bylo provedeno z hladiny úrovní velmi blízké té zásobní (211,6 m n. m.).

Další informací, kterou tato zpráva obsahovala byly obsahy vybraných prvků v odebraných sedimentech. V rámci této zprávy byly odebrány čtyři povrchové vzorky sedimentů do 30 cm (A1, B3, D3 a F4) a dva profily jader sedimentů dosahující 100 cm (C1 a F4). Bohužel zpráva nezmiňuje, jakým způsobem byly prvky ze sušiny analyzovány. Koncentrace prvků je ve zprávě udávána jako „mg/kg sušiny“. Nicméně hodnoty, zmiňované ve zprávě jsou s výjimkou rtuti velmi podhodnocené a svou koncentrací se výsledky dostávají řádově tisíckrát níže, než jsou udávány přirozené pozadíové hodnoty prostředí udávány Turekianem a Wedepohem (1961) nebo Lochovským (2008). Tato zpráva neobsahuje informace o použitém referenčním

materiálu, navážce sušiny analyzovaných vzorků ani o počtu ředění před samotným měření, a proto nemohla být zpráva použita pro porovnání se současnými naměřenými koncentracemi.

7.3 Morfometrické parametry a hydrologický režim

Příčné profily a batymetrická mapa vykazují zkreslený průběh v těsné blízkosti břehů v případě současného dna z důvodu, že nebyla získána správná břehová linie, která by dokonale interpretovala průběh zásobní hladiny ve výšce 211,6 m n.m., které by se mohlo při interpolaci batymetrických bodů přidělit 0 hloubka. Dále je tato nepřesnost dána limity měřicího přístroje – echolotu, který má své rozmezí měření v hloubce 0,4 až 200 m, tudíž přístroj není schopný zastihnout hloubky v těsné blízkosti břehu. Tato situace by mohla být vyřešená zahuštěním naměřených hloubkových bodů z echolotu, dodatečným měřením například pomocí olovnice nebo cejchované latě. Nicméně toto dodatečné měření by z důvodu velkého rozsahu ploch do hloubky 0,4 m bylo velmi časově náročné.

Z výsledků batymetrického mapování byl zjištěn současný objem vodní nádrže 476 635 m³ a díky zhodnocení hydrologického režimu z dat bilancovaného přítoku do VD Všechlapy byla vyhodnocena dlouhodobá doba zdržení vodní nádrže na 6 dnů a 6,5 hodiny.

Z doby zdržení, která byla modelově vypočítaná například pro průměrný přítok do nádrže za rok 2020, bylo zjištěno, že doba zdržení může být v těchto suchých obdobích až dvojnásobná oproti dlouhodobé době zdržení. Z toho vyplývá, že může docházet k mnohem větší koncentraci nutrientů ve vodním díle a zvyšovat se výskyt vodního květu a také, že doplňování zásob vody do nádrže může trvat více než dvojnásobnou dobu, tedy více než je očekáváno. To se může stát problémem pro stálé odběratele z vodní nádrže. Hlavně pro odběry tepelné elektrárny Ledvice, pro kterou je vodní nádrž Všechlapy záložním zdrojem pro chlazení technologií. Dalším problémem je samotné zazemnění nádrže sedimentem, díky kterému je využitelný objem vody v nádrži podstatně menší než na počátku provozu této vodní nádrže.

7.3 Obsah kovů a polokovů v závislosti na zrnitostním složení

Všechny analyzované prvky s výjimkou železa a hliníku v Bouřlivci dosahovaly vyšších koncentrací než v Loučenském potoce (převážně i dvojnásobné), nicméně potok Bouřlivec dosahoval velmi malého podílu nejjemnozrnější frakce. Podíl zrnitostních frakcí může být způsoben například antropogenním ovlivněním toků, které mají ve většině případů podobu upraveného dlážděného koryta, tj, přímý odtok v rovném opevněném korytě, s absencí lokalit s nižší unášecí schopností vody. Tudíž nejjemnozrnější frakce se mohou v toku vyskytovat, nicméně nemají při normálních či vyšších průtocích možnost se v korytě uchovat. Pro případné další analýzy by bylo vhodné zvolit reprezentativnější místo odběr např. v zákrutech, či u jiné překážky v toku, ale pro tuto analýzu byl podstatný cíl zachytit složení sedimentu v nejzazší možné části před vnosem do vodní nádrže.

Z výsledků zrnitosti vychází, že v povodí potoka Bouřlivec po VD Všechlapy jsou převážně splavovány hrubozrnější frakce z vyšších částí povodí, které jsou přirozené a velmi bohaté na písčité zrnitostní frakce. Analyzované vzorky obsahovaly pouze malý podíl nejjemnozrnějších frakcí a z tohoto důvodu nejsou v této práci splachy ze zemědělské půdy považovány za významný zdroj transportovaného materiálu v povodí.

Také z výsledků zrnitostí jednotlivých částí odebraných profilů jader nevyplývá žádná spojitost mezi podílem jílových frakcí a koncentrací vybraných prvků.

7.4 Vyhodnocení kvality sedimentů

Znečištění sedimentů bylo zhodnoceno několika metodami. Z výsledků vyplývá, že většina znečišťujících látek pochází z přítoku Bouřlivce. Pro příklad – zvýšené hodnoty arsenu v sedimentu byly zjištěny v potoce Bouřlivce, oproti tomu v Loučenském potoce nebyl arsen zachycen. Zvýšené hodnoty arsenu, oproti Bouřlivci, avšak v menší míře, se objevily také v obou profilech odebraných jader (A a C) ze dnového sedimentu VD Všechlapy. Ve zprávě „Kvalita vody v Bílině a návrhy opatření k jejímu zlepšení“ (POH 2017) byl v profilu pod vodní nádrží Všechlapy rovněž zachycen zvýšený obsah arsenu v povrchové vodě. V této zprávě se tato zvýšená koncentrace přisuzovala přirozenému prostředí Krušných hor. Nicméně z fyzicko-geografické charakteristiky a terénního průzkumu vyplývá, že pramenná oblast potoka Bouřlivce a pramenné oblasti ostatních přítoků do Loučenského potoka jsou si geologickými i ostatními podmínkami velmi podobné. Tudíž pravděpodobně se může jednat o zvýšenou koncentraci arsenu antropogenního původu, například z hutního a těžebního průmyslu rud a také ze spalování fosilních paliv (hlavně hnědého uhlí). Významné množství bývá také obsaženo ve výluzích z elektrárenských popílků. Z popisu studovaného území se může také nabízet vysvětlení, že dochází k průsakům podzemních stařinových vod z rekultivačního jezera Barbora po těžbě hnědého uhlí, které je protékáno právě potokem Bouřlivce.

Dalším výrazným znečištěním je znečištění kadmíem, ve všech klasifikacích bylo velmi špatně hodnoceno a ve většině dosahovalo nejhorších ohodnocení z hlediska znečištění. Obdobně jako u arsenu v jediném Loučenském potoce nebylo kadmium detekováno. Z výsledků vyplývá, že zdrojem kadmia je potok Bouřlivce. V odběrech profilů A a C v nádrží byly stanoveny mnohem větší koncentrace než v potoce Bouřlivce. To může být především dáno díky velmi vysokému akumulačnímu koeficientu kadmia, díky kterému velmi dlouho setrvává v tělech organismů a sedimentech.

Hlavním zdrojem kadmia v povodí přítoku Bouřlivce může být atmosférická depozice, fosforečnanová hnojiva (např. Golfový resort Barbora), čistírenské kaly, anebo odpadní vody z průmyslu galvanického pokovování.

Při použití různých metod hodnocení kvality sedimentů docházelo v určitých případech k velmi rozdílnému hodnocení. Výrazně se například liší hodnocení koncentrace rtuti. Dle

geoakumulačních indexů s využitím pozadových hodnot určených Lochovským (2008), byly vzorky (Bouřlivec, A a C) hodnoceny jako středně kontaminované sedimenty rtutí. A dle pozadové koncentrace od Turekiana a Wedepohla (1961) jsou stejné vzorky ohodnoceny jako sediment nekontaminovaný rtutí. To je způsobeno z důvodu uvedených, velmi rozdílných pozadových koncentrací. V případě hodnocení pomocí metody GHW Elbe (Prange 1997), byly vzorky profilu A a potoků v hodnocení kontaminace rtutí klasifikovány jako neznečištěné (I. třída), a profil C I.-II. třídou. Tudíž dle metodiky GHW Elbe sedimenty nejsou významně znečištěné rtutí. Dle hodnocení podle norem environmentální kvality (MKOL 2014) byla koncentrace rtuti v potoce Bouřlivec a profilech A a C zařazena do žluté třídy a Loučenský potok do třídy zelené. Pro lze konstatovat, že v případě rtuti není vhodné její koncentraci v sedimentu hodnotit pomocí geoakumulačního indexu s využitím pozadových koncentrací od Lochovského (2008), jelikož z hlediska celého povodí Labe je rtuť hodnocena podstatně mírněji.

Z použitých metod nelze určit, která by byla pro dané povodí nevhodnější. Vyhodnocení pomocí geoakumulačních indexů s využitím pozadových hodnot Lochovského (2008) by se zdálo nejvhodnější z důvodu využití lokálních zdrojů pro jejich určení. Navíc koncentrace byly stanovány pomocí lučavkového výluhu podobně jako v této práci. Ale tento I_{geo} index s touto pozadovou koncentrací hodnotí znečištění nejpřísněji a v případě rtuti znečištění i velmi nadhodnocuje.

Na druhou stranu nomy environmentální kvality hodnotí velmi přísně obsah niklu v sedimentu. Ve všech vzorcích označil koncentraci niklu červenou třídou, kdy nikl přesahuje horní prahovou hodnotu. Kdežto při vyhodnocování tříd I_{geo} ve všech případech byly vzorky hodnoceny jako niklem nekontaminovaný sediment.

Hodnocení dle metody GHW Elbe (Prange 1997) nevykazuje žádné extrémní výkyvy podobné popsaným výše. Tato metoda byla ovšem sepsána na základě skutečností z roku 1997 a nemusí se nutně shodovat se současnými novými poznatky a požadavky na kvalitu sedimentů.

8. ZÁVĚR

Za pomoci batymetrického mapování byla vytvořena mapa aktuálních hloubkových poměrů VD Všechlapy. Byl určen obsah sedimentu a využitelný objem vody v nádrži. Pro výpočet původního objemu bylo ze starých mapových podkladů rekonstruováno původní údolí před zatopením. V návaznosti na laboratorní zprávu z roku 1993, byly odebrány dnové sedimenty a byly stanoveny koncentrace vybraných kovů a polokovů na základě lučavkového výluhu. Bohužel výsledné koncentrace ze současných odběrů nebyly porovnatelné s naměřenou koncentrací z laboratorní zprávy z roku 1993. Další výzkumnou otázkou byl obsah těchto vybraných prvků ve dvou přítocích do nádrže, které se ještě před samotným vyústěním do nádrže stékají v jeden tok – potok Bouřlivec. Povodí odvodňované potokem Bouřlivcem do soutoku zabírá 21% plochy odvodňované do nádrže a povodí Loučenského potoka odvodňuje 79 % této plochy. I přes tento plošný nepoměr v povodí, ve většině ukazatelů vyhodnocují znečištění sedimentů, potok Bouřlivec byl hodnocen nejhoršími třídami a ukazatelích kadmia, arsenu, mědi olova, zinku a niklu. Tyto zvýšené koncentrace se na základě svých chemických vlastností promítly i ve vzorcích odebraných ze dna VD Všechlapy. Jedna z hypotéz, která by mohla vysvětlovat zvýšené koncentrace prvků v potoce Bouřlivec mohou být průniky podzemních stařinových vody z rekultivačního jezera Barbora.

Dalším zajímavým tématem v případě možnosti pokračujícího výzkumu je analýza kvality sedimentů nad rekultivačním jezerem Barbora. Pro návrh vhodného vodohospodářského řešení nádrže je třeba znát informace o množství a druhu splavenin z důvodu predikce zanášení nádrže (Vrána a Beran 2013). Proto by jedním z výzkumných úkolů bylo vhodné také zhodnotit splaveninový režim v povodí Bouřlivce. Jedním z dalších cílů výzkumu by mohlo být stanovení množství organického uhlíku v sedimentech, jelikož na organický uhlík se velmi často váží těžké kovy (Pitter 2015).

Seznam použité literatury

- BÁBEK, Ondřej, Ondřej KIELAR, Zuzana LENDÁKOVÁ, Kateřina MANDLÍKOVÁ, Jan SEDLÁČEK and Jitka TOLASZOVÁ, 2020. Reservoir deltas and their role in pollutant distribution in valley-type dam reservoirs: Les Království Dam, Elbe River, Czech Republic. *Catena* [online]. **184**. ISSN 03418162. Available at: doi:10.1016/j.catena.2019.104251
- BAŽANT, Václav, 2010. *Růstové vlastnosti dřevin na výsypkových stanovištích Mostecké pánve (Severočeské hnědouhelné pánve)*. B.m. b.n.
- BERANOVÁ, Lucie, 2018. *Water quality and the assessment of anthropogenic pollution in the sediments of the Elbe river oxbow lakes* [online]. B.m. [accessed. 2021-07-23]. b.n. Available at: <https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/97900>
- BRŮNA, Vladimír, Kateřina KŘOVÁKOVÁ and Václav NEDBAL, 2015. Stabilní katastr jako zdroj informací o krajině. *Historická geograie*. **33**, 397–409.
- CULEK, Martin, Vít GRULICH, Zdeněk LAŠTŮVKA and Jan DIVÍŠEK, 2016. *Biogeografické regiony České republiky*. B.m.: Masarykova univerzita. ISBN 978-80-210-8182-6.
- ČESÁK, Julius and Miroslav ŠOBR, 2005. Metody batymetrického mapování českých jezer. *Geografie - sborník české geografické společnosti* [online]. **110**(3), 141–151 [accessed. 2021-06-13]. Available at: <https://geografie.cz/110/3/>
- DEMEK, Jaromír and Peter MACKOVČIN, 2006. *Zeměpisný lexikon ČR: Hory a nížiny*. 2. Brno: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. ISBN 80-86064-99-9.
- DUWE, Kurt, Claude GUILBAUD, Ulrich LEMMIN, Lars UMLAUF EPF, Eckard HOLLAN ISF, Bernd WAHL ISF and Petra MAHNKE, 2001. *Integrated Water Resource Management for Important Deep European Lakes and their Catchment Areas EUROLAKES D24: Realistic Residence Times Studies Work package No. 3: Realistic Residence Times*.
- ECKLEY, Chris S. and Brian BRANFIREUN, 2008. Mercury mobilization in urban stormwater runoff. *Science of the Total Environment* [online]. **403**(1–3), 164–177. ISSN 00489697. Available at: doi:10.1016/j.scitotenv.2008.05.021
- EL-AMIER, Yasser A., Abdelhamid A. ELNAGGAR and Muhammad A. EL-ALFY, 2017. Evaluation and mapping spatial distribution of bottom sediment heavy metal contamination in Burullus Lake, Egypt. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences* [online]. **4**(1), 55–66. ISSN 2314-808X. Available at: doi:10.1016/j.ejbas.2016.09.005
- FUCHS, Richard, Peter H. VERBURG, Jan G P W CLEVERS and Martin HEROLD, 2015. The potential of old maps and encyclopaedias for reconstructing historic European land cover/use change. *Applied Geography* [online]. **59**, 43–55. ISSN 01436228. Available at: doi:10.1016/j.apgeog.2015.02.013

- GRYGAR, T. Matys, O. BÁBEK, J. SEDLÁČEK, Z. LENĎÁKOVÁ, M. FAMĚRA, J. ŠTOJDL, J. PACINA, J. TOLASZOVÁ and S. KŘÍŽENECKÁ, 2020. Segregation and retention of As, potentially toxic metals, and organic pollutants in a reservoir from the Ohře River (the Czech Republic). *Journal of Soils and Sediments* [online]. **20**(7), 2931–2948. ISSN 16147480. Available at: doi:10.1007/s11368-020-02636-w
- HOLLISTER, Jeffrey and W. Bryan MILSTEAD, 2010. Using GIS to estimate lake volume from limited data. *Lake and Reservoir Management* [online]. **26**(3), 194–199. ISSN 10402381. Available at: doi:10.1080/07438141.2010.504321
- HOUSEROVÁ, Pavlína, Karel JANÁK, Petr KUBÁŇ, Jana PAVLÍČKOVÁ and Vlastimil KUBÁŇ, 2006. Chemické formy rtuti ve vodních ekosystémech - vlastnosti, úrovně, koloběh a stanovení. *Chem. Listy* [online]. **100**(10), 862–876 [accessed. 2021-11-15]. Available at: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/issue/view/129>
- CHALUPOVÁ, Dagmar, 2003. *Limnologické poměry, kvalita vody a sedimentů ve starém labském rameni Doleháj u Kolína*. B.m. b.n.
- CHALUPOVÁ, Dagmar, 2011. *Chemismus vody a sedimentů fluválních jezer Labe*. Praha. dizertační práce. Přírodovědecká fakulta UK.
- CHEN, Zhongyuan, Alaa SALEM, Zhuang XU and Weiguo ZHANG, 2010. Ecological implications of heavy metal concentrations in the sediments of Burullus Lagoon of Nile Delta, Egypt. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* [online]. **86**(3), 491–498. ISSN 02727714. Available at: doi:10.1016/j.ecss.2009.09.018
- JANSKÝ, Bohumír and Miroslav. ŠOBR, 2003. *Jezera České republiky*. B.m.: Přírodovědecká fakulta UK Praha, Katedra fyzické geografie a geoekologie. ISBN 8086561054.
- JELÍNEK, Emil, Ladislav STRNAD, Ondřej ŠEBEK, Martin MIHALJEVIČ, Vojtěch ETTLER, Petr RYCHLOVKÝ, Jan ROHOVEC, Tomáš GRYGAR, Zdeněk ŘANDA and Richard PŘIKRYL, 2008. *Moderní analytické metody v geologii*.
- JEŽEK, Josef, 2015. *Geostatistika a prostorová interpolace*. Praha: Nakladatelství Karolinum. ISBN 978-80-246-3076-2.
- JONÁŠ, Miroslav, 2020. *Hydromorfologický průzkum jako podklad pro návrh revitalizačních opatření vodních toků v intravilánech* [online]. B.m. [accessed. 2021-06-13]. b.n. Available at: <https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/122158>
- JUNKOVÁ, Anna, 2021. *Ztráty vody v povodí Loučenského potoka a Bouřlivce a možnosti jejich snížení v období hydrologického sucha*. B.m. diplomová práce. UNIVERZITA KARLOVA Přírodovědecká fakulta.
- KABÁT, Michal, 2011. *Rekultivace a sanace kamenolomu Všechlapy*. Ostrava. b.n.
- KŘÍŽ, Vladimír, 1996. *Vodní nádrže a jezera České republiky*. ISBN 80-86058-53-0.
- KUCHAŘOVÁ, Jana, 2009. *Možnosti interpolace jezerních pánví různých genetických typů*. B.m. b.n.

- KUNCOVÁ, Jaromíra, 1999a. Ústecko Most. In: *Chráněná území ČR*. B.m.: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. ISBN 80-86064-37-9.
- KUNCOVÁ, Jaromíra, 1999b. Ústecko Teplice. In: *Chráněná území ČR* [online]. B.m.: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR [accessed. 2021-06-13]. ISBN 80-86064-37-9. Available at: <https://www.ochranaprirody.cz/publikacni-cinnost/chranena-uzemi-cr/ustecko/>
- LAMBOJ, Ladislav, 2005. *Mechanika zemin a zakládání staveb*. B.m.: Vydavatelství ČVUT. ISBN 8001030946.
- LANGHAMMER, Jakub, 2014. HEM 2014 Metodika monitoringu hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků [online]. 2014. Available at: www.sfzp.cz/www.mzp.cz/www.natur.cuni.cz
- LIANG HUANG, Sui, 2003. Investigation of Cadmium Desorption from Different-Sized Sediments. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING* [online]. **129**, 241–247. Available at: doi:10.1061/ASCE0733-93722003129:3241
- LOCHOVSKÝ, Petr, 2008. Stanovení přirozeného pozadí říčních sedimentů Bíliny pro kovy a metaloidy. *VTEI* [online]. **50**(4), 8–12. ISSN 0322 - 8916. Available at: <http://www.centralniohlasovna.cz/co-web/web>
- MANDLBURGER, Gottfried, Christoph HAUER, Martin WIESER and Norbert PFEIFER, 2015. Topo-Bathymetric LiDAR for Monitoring River Morphodynamics and Instream Habitats – A Case Study at the Pielach River. *Remote Sensing* [online]. **7**, 6160–6195. Available at: doi:10.3390/rs70506160
- MKOL, 2014. KONCEPCE MKOL PRO NAKLÁDÁNÍ SE SEDIMENTY Návrhy správné praxe pro management sedimentů v povodí Labe pro dosažení nadregionálních operativních cílů. In: *Magdenurk* [online]. [accessed. 2022-02-24]. Available at: https://www.ikse-mkol.org/fileadmin/media/user_upload/CZ/06_Publikace/01_Ramcova%20smernice%20o%20vodach/2014_MKOL_Zaverecna%20zprava%20sediment.pdf
- MÜLLER, German, 1979. Schwermetalle in den sediments des Rheins-Veranderungenseitt. *Umschan*. **79**, 778–783.
- NETOPIL, Rostislav, Rudolf BRÁZDIL, Jaromír DEMEK and Pavel PROŠEK, 1984. *Fyzická geografie. 1*. Učebnice p. Praha: Státní pedagogické nakladatelství.
- PACINA, Jan, Jiří CAJTHAML, Darina KRATOCHVÍLOVÁ, Jan POPELKA, Vojtěch DVOŘÁK and Tomáš JANATA, 2021. Pre-dam valley reconstruction based on archival spatial data sources: Methods, accuracy, and 3D printing possibilities. *Transactions in GIS* [online]. ISSN 14679671. Available at: doi:10.1111/tgis.12854
- PECHOVÁ, Emilie, Ivana KAŠPAROVÁ, Martin MUSIL, Martina KOBESOVÁ, Lubomír BODLÁK, Ilona MAYERHOFEROVÁ and Libor PECHAR, 2015. *Ekologický monitoring Loučenského a Oseckého potoka (zpráva z terénního výzkumu)*.
- PENÍŽEK, Vít, 2019. *Půdní krajiny*. ISBN 978-80-213-2971-3.

PITTER, Pavel, 2015. *Pitter_Hydrochemie Ed5*. 5. B.m.: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 978-80-7080-928-0.

POH, 2017. *KVALITA VODY V BÍLINĚ A NÁVRHY OPATŘENÍ K JEJÍMU ZLEPŠENÍ*.

POKORNÁ, Markéta, 2006. Mapování mořského dna v oblasti Porkupinské pánve. *Geodetický a katografický obzor*. **52/94**(2), 25–32.

POKORNÝ, Jan and Václav HAUSER, 2002. The restoration of fish ponds in agricultural landscapes. *Ecological Engineering* [online]. 555–574. Available at: www.elsevier.com/locate/ecoleng

POVODÍ LABE S.P., POVODÍ OHŘE S.P., UNIVERZITA KARLOVA PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA and DHI A.S., 2014. *SedBiLa Význam Bíliny jako historického a současného zdroje znečištění pro nakládání se sedimenty v povodí Labe*.

PRANGE, Andreas, 1997. *Erfassung und Beurteilung der Belastung der Elbe mit Schadstoffen: Geogene Hintergrundwerte und zeitliche Belastungsentwicklung*.

PSENAKOV, Petra, Evžen STUHLÍK and Jan LELLAK, 2001. Morfometrické parametry vodárenské nádrže Drásova u Příbrami a zatopených lomů Řečičky u Blatné a Smaragdového jezírka v Brdech. *Geografie*. **106**(2), 110–121.

PYE, Kenneth and Simon J. BLOTT, 2004. Particle size analysis of sediments, soils and related particulate materials for forensic purposes using laser granulometry. *Forensic Science International* [online]. **144**(1), 19–27. ISSN 03790738. Available at: [doi:10.1016/j.forsciint.2004.02.028](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.02.028)

RADOVÁ, Markéta, 2008. *Hodnocení vlivů na životní prostředí - případová studie. Antropogenní ovlivnění pramenné oblasti Oseckého potoka*. B.m. b.n.

RAIDA, David, 2019. *Hodnocení vývoje sedimentace v přehradní nádrži Les Království s využitím batymetrického měření a GIS*. Ústí nad Labem. b.n.

RICHTER, Pavel and Emilie PECHAROVÁ, 2013. Effects of mining activities on river water quality. *Polish Journal of Environmental Studies*. **22**(4), 1269–1276.

RUDA, Aleš, 2014. *Klimatologie a hydrogeografie pro učitele* [online]. 1. vydání. Brno: Masarykova univerzita. ISBN ISSN 1802-128X. Available at: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/skripta/klimatologie_hydrogeografie.pdf

SANTNEROVÁ, Lucie, 2019. *Návrh řešení revitalizace přeložky Loučenského potoka v patě výsypky Pokrok*. Ostrava. b.n.

SEDLÁČEK, Jan, Ondřej BÁBEK and Tereza NOVÁKOVÁ, 2017. Sedimentary record and anthropogenic pollution of a complex, multiple source fed dam reservoirs: An example from the Nové Mlýny reservoir, Czech Republic. *Science of the Total Environment* [online]. **574**, 1456–1471. ISSN 18791026. Available at: [doi:10.1016/j.scitotenv.2016.08.127](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.127)

SHAW, Byron H, Byron SHAW, Christine MECHENICH and Lowell KLESSIG, 2002. *Understanding lake data* [online]. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/265738967>

- SOJKA, Mariusz, Marcin SIEPAK, Joanna JASKUŁA and Joanna WICHER-DYSARZ, 2018. Heavy metal transport in a river-reservoir system: A case study from central Poland. *Polish Journal of Environmental Studies* [online]. **27**(4), 1725–1734. ISSN 12301485. Available at: doi:10.15244/pjoes/76916
- SUDA, Jiří and Vladimír HERBER, 2001. *Cvičení z fyzické geografie I. III*. ISBN 80-7082-810-2.
- ŠOBR, Miroslav, 2021. *VD Všechny – management hospodaření na vodních tocích Loučenský potok a Bouřlivec*.
- TOLASZ, Radim, 2007. *Atlas podnebí Česka*. Praha: Český hydrometeorologický ústav. ISBN 978-80-86690-26-1.
- TOMÁŠEK, Milan, 2007. *Půdy České republiky*. Praha: Česká geologická služba. ISBN 978-80-7075-688-1.
- TUREKIAN, Karl, K. and Karl, Hans WEDEPOHL, 1961. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *Geological Society of American Bulletin* [online]. **72**(2), 175–192 [accessed. 2021-06-13]. Available at: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1961\)72\[175:DOTEIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1961)72[175:DOTEIS]2.0.CO;2)
- UHLÍŘOVÁ, Kateřina and Aleš ZBROŘIL, 2009. Možnosti využití laserového snímání povrchu pro vodohospodářské účely. *VTEI* [online]. **51**(6), 11–15. Available at: https://www.vtei.cz/wp-content/uploads/2015/08/vtei_2009_6.pdf
- VAROL, Memet, 2013. Dissolved heavy metal concentrations of the kralkizi, dicle and batman dam reservoirs in the tigris river basin, turkey. *Chemosphere* [online]. **93**(6), 954–962. ISSN 18791298. Available at: doi:10.1016/j.chemosphere.2013.05.061
- VÍTKOVÁ, Petra, 2021. *Analýza hydrologického sucha a trendy srážkoodtokových dat v povodí Bouřlivce a Loučenského potoka*. Praha. diplomová práce. UNIVERZITA KARLOVA Přírodovědecká fakulta.
- VLČEK, Vladimír and KOLEKTIV, 1984. *Zeměpisný lexikon ČSR Vodní toky a nádrže*.
- VONDOVÁ, Miroslava, 2012. *Návrh úpravy vodního toku Bouřlivec nad Mikulovem*. Ostrava. b.n.
- VRÁNA, Karel and Jan BERAN, 2013. *Rybníky a účelové nádrže*. 3. B.m.: ČVUT. ISBN 978-80-01-04002-7.
- ZLATNÍK, Alois, 1964. *Fytocenologie lesa I*. 2nd ed. Praha: SPN.

Online internetové zdroje

Analyzátor rtuti AMA 254. *Přírodovědecká fakulta* [online]. [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: <https://www.natur.cuni.cz/geologie/laboratore/laboratore-a-metody/analyzator-rtuti-ama-254>

ČADA, Václav. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA, FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD, KATEDRA MATEMATIKY. *Přednáškové texty z Geodézie*. Dostupné také z: <https://kgm.zcu.cz/studium/gen1/html/index.html>

DVORSKÝ, Tomáš. 1. Vývoj říční sítě. *Úpravy vodních toků* [online]. 2018 [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: http://hgfl0.vsb.cz/546/UT/chapter_1.html

Krajský úřad Ústeckého kraje. *Integrované povolení: Elektrárna Ledvice, zařízení pro výrobu elektrické energie a tepla*. In: . Krajský úřad Ústeckého kraje – odbor životního prostředí a zemědělství, 2015.

KRUŠNOHORCI. Vodní dílo Všechlapy. *Krušnohorci* [online]. 11. 10. 2012 [cit. 2021-7-3]. Dostupné z: <https://www.krusnohorci.cz/vylet/621-vodni-dilo-vsechlapy>

Laboratoř plazmové spektrometrie: ICP OES. *Přírodovědecká fakulta* [online]. [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: <https://www.natur.cuni.cz/geologie/laboratore/laboratore-a-metody/laborator-plazmove-spektrometrie-laps-icp-ms-icp-oes/icp-oes>

PAIL, Tomáš. Vodní díla. *Povodí Ohře (POH)* [online]. 2015 [cit. 2021-11-11]. Dostupné z: https://povodnovyportal.kraj-lbc.cz/documents/153123/229818/DnyGIS2015_PovodiOhre_TomasPail.pdf/7a22ebdf-cd40-4b80-8eaf-319aa559de2b

POVODÍ OHŘE (POH). Vodní dílo Všechlapy. *Povodí Ohře (POH)* [online]. 6.2.2019 [cit. 2021-7-3]. Dostupné z: https://www.poh.cz/vismo/dokumenty2.asp?id_org=200341&id=2594&n=vodni%2Ddilo%2Dvsechlapy

ŠKODA, Jan. Loužecký mlýn; Luschmühle. *Vodnimlyny.cz* [online]. 29.12.2017 [cit. 2021-7-3]. Dostupné z: <http://vodnimlyny.cz/mlyny/objekty/detail/6761-louzecky-mlyn-luschmuhle>

Věstník právních předpisů Ústeckého kraje [online]. 2019. 2019 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.kr-ustecky.cz/rocnik-2019/ds-100498/archiv=0>

Seznam použitých datových zdrojů

CORINE Land Cover [online]. [cit. 2021-06-15]. Dostupné z: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

ČGS. Česká geologická služba, 2021. Geologická mapa 1 : 50 000. [online]. [cit. 2021-09-21]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>

ČUZK. Český úřad zeměměřičský a katastrální, 2021. Geomorfologické jednotky ČR – 1998, [online]. [cit. 2021-12-20]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/arcgis/rest/services/GeomorfologickeJednotky/MapServer>

ČUZK. Český úřad zeměměřičský a katastrální, 2021. Katastrální mapa, [online]. [cit. 2021-12-5]. Dostupné z: <https://services.cuzk.cz/wms/wms.asp?>

ČUZK. Český úřad zeměměřičský a katastrální, 2021. Státní mapa odvozená 1: 5 000, [online]. [cit. 2021-12-5]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/archiv/>

ČUZK. Český úřad zeměměřičský a katastrální, Výškopis. Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®)

ČUZK. Český úřad zeměměřičský a katastrální, 2021. Základní mapa 1: 10 000, [online]. [cit. 2021-12-20]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/>

KOZÁK Josef a Jan NĚMEČEK, 2000. Mapa v měřítku 1: 250 000 v rámci projektu SOUVEUR ISRIC

POH, Povodí Ohře, s. p., 2021. Státní mapa odvozená 1: 5000 doplněná o výškopis pro výstavbu vodní nádrže Všechny.

RAUCH, Ota, Jan POKORNÝ a Václav HAUSER, 1993. Laboratorní zpráva: číslo 01-93. Třeboň: ENVI s.r.o., 1993.

VÚV 2020. Struktura DIBAVOD: Katalogový list DIBAVOD [online]. [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: <https://www.dibavod.cz/index.php?id=27>

Seznam použitých a zmiňovaných norem

ČSN EN ISO 14688-1 (721003). *Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zatřídování zemin: Část 1: Pojmenování a popis*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.

ČSN EN ISO 11885 (757387). *Jakost vod – Stanovení vybraných prvků optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES)*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

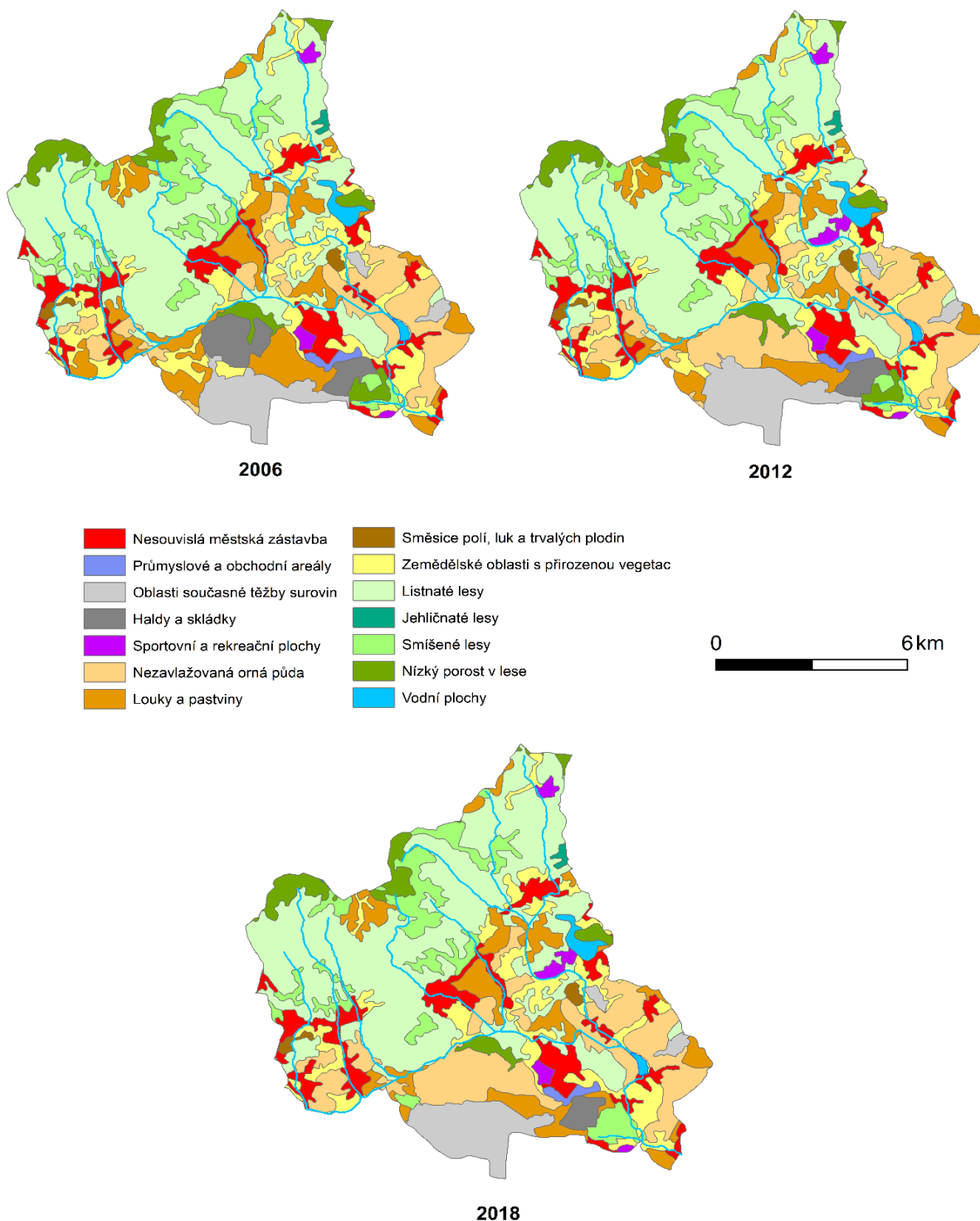
ČSN 75 7221 (757221). *Kvalita vod – Klasifikace kvality povrchových vod*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.

ČSN 75 2410 (752410). *Malé vodní nádrže*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

ČSN EN 933-1 (721183). *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví

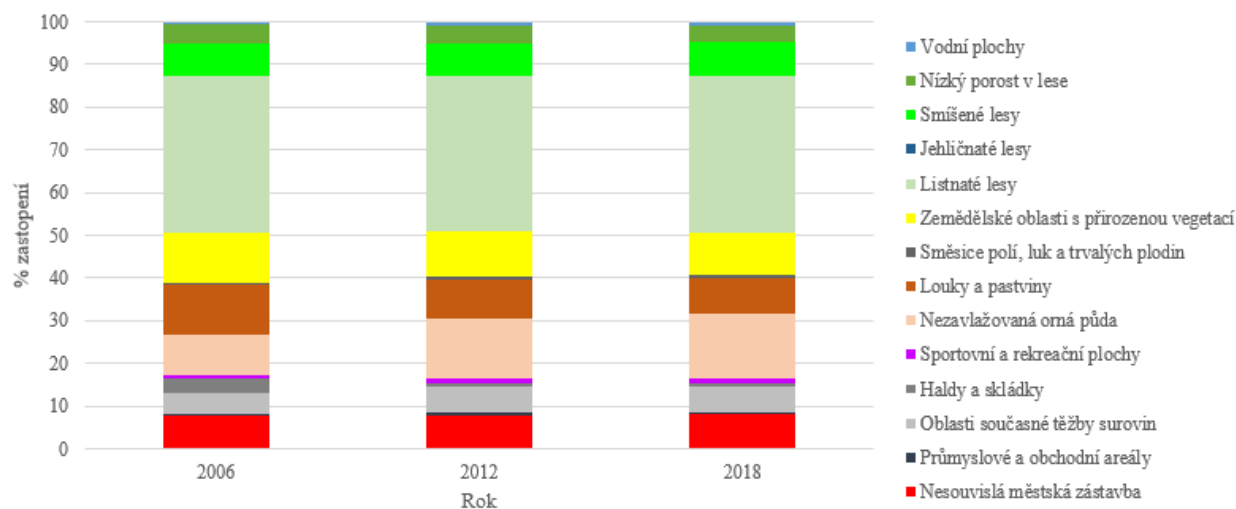
Přílohy

VÝVOJ KRAJINNÉHO POKRYVU V POVODÍ BOUŘLIVCE DLE CORINE LAND COVER



Příloha 1 – vývoj krajinného pokryvu v povodí potoka Bouřlivce dle CORINE LAND COVER (zdroj: CORINE LAND COVER 2006, 2012, 2018)

Procentuální zastoupení jednotlivých krajinných pokryvů dle CORINE Land Cover
v povodí potoka Bouřlivce

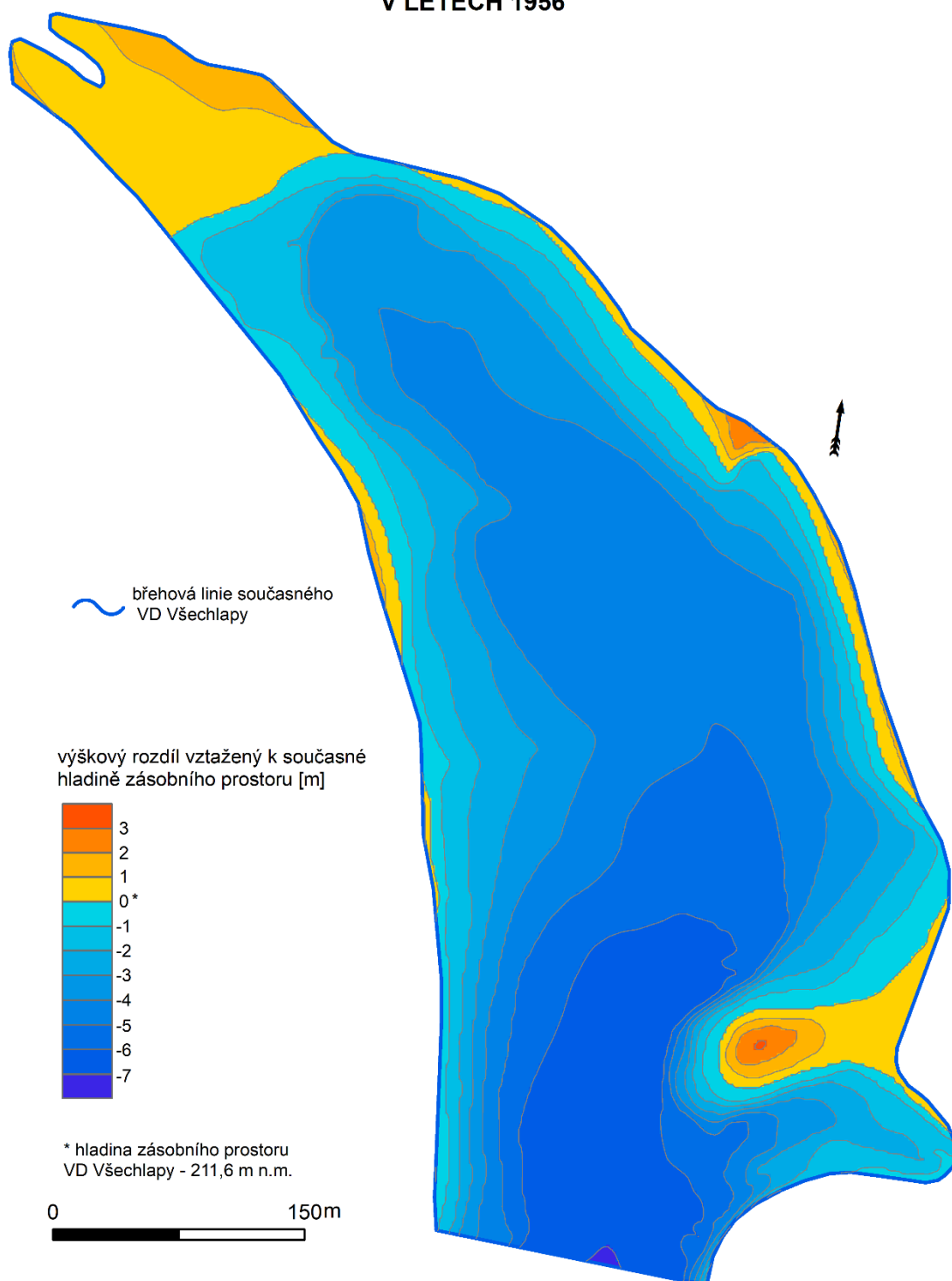


Příloha 2 – graf znázorňující procentuální zastoupení jednotlivých krajinných pokryvů v povodí (zdroj: CORINE LAND COVER 2006, 2012, 2018)

Průměrné měsíční bilancované přítoky do VD Všechlapy v m³/s

		ROK														
		1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
MĚSÍC	leden		1,15	0,31	0,99	0,54	1,63	1,48	0,30	2,75	3,12	0,38	2,49	0,46	0,99	
	únor		1,29	0,28	1,94	0,84	2,39	3,71	0,71	3,49	1,58	2,43	2,10	0,67	2,12	
	březen		1,19	0,40	2,63	2,37	3,76	5,86	2,99	2,98	1,92	1,08	3,23	1,90	2,01	
	duben		1,48	1,55	3,51	0,98	1,63	2,83	1,44	2,15	1,47	0,66	1,54	3,34	0,90	
	květen		0,96	1,49	1,70	0,50	0,81	1,34	1,15	1,34	1,15	1,04	0,84	0,93	0,44	
	červen		0,27	1,45	0,87	0,45	0,45	0,55	0,85	0,45	0,93	0,25	0,51	0,52	0,49	0,43
	červenec		0,23	0,86	0,62	0,49	0,49	0,63	0,73	0,53	0,56	0,30	0,42	0,41	0,43	0,30
	srpen		0,22	0,40	0,39	0,41	0,41	0,20	0,56	0,31	2,40	0,19	0,24	0,58	0,23	0,31
	září		0,14	0,94	0,21	0,86	0,46	0,46	0,48	0,59	0,55	0,21	0,17	0,55	0,23	0,48
	říjen		0,22	1,55	0,27	1,22	0,81	0,81	0,41	0,84	0,93	0,22	0,19	0,52	0,28	0,82
	listopad		0,37	0,41	1,69	0,15	2,83	0,82	0,24	1,35	2,96	0,19	1,24	0,40	0,77	1,82
	prosinec		0,90	0,48	1,31	0,60	1,82	0,89	0,26	2,23	2,11	0,24	0,88	0,63	0,55	1,63
		ROK														
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
MĚSÍC	leden	1,90	0,39	0,39	3,03	2,16	2,19	0,65	1,48	0,66	0,85	1,63	1,24	0,39	0,35	
	únor	1,27	0,40	0,35	1,64	1,12	1,31	0,58	0,71	1,68	1,60	1,08	1,05	1,34	1,74	
	březen	1,58	2,58	2,23	1,27	2,39	1,25	0,44	1,13	0,71	2,14	0,66	2,09	1,55	1,18	
	duben	1,93	1,72	1,15	0,83	0,91	1,27	0,35	1,66	0,55	1,02	0,65	0,83	0,41	0,85	
	květen	0,77	0,56	0,80	0,47	0,49	1,40	0,40	0,80	0,32	0,34	0,12	0,46	0,13	0,78	
	červen	0,33	0,65	0,42	0,29	0,35	2,47	0,26	0,43	0,36	0,20	0,08	0,33	0,11	0,34	
	červenec	0,15	0,64	0,35	0,25	0,49	0,52	0,17	0,26	0,31	0,13	0,02	0,10	0,04	0,73	
	srpen	0,23	0,41	0,88	0,32	0,28	0,35	0,11	0,26	0,19	0,19	0,01	0,07	0,04	0,78	
	září	0,25	0,29	0,85	0,28	0,25	0,15	0,18	0,06	0,19	0,17	0,01	0,08	0,06	0,51	
	říjen	0,18	0,22	0,87	0,32	0,25	0,36	0,43	0,13	0,23	0,32	0,03	0,09	0,16	0,33	
	listopad	0,25	0,41	1,02	0,28	0,10	0,45	0,45	0,34	0,31	0,74	0,03	0,10	0,23	0,34	
	prosinec	0,63	0,53	1,52	0,80	0,48	0,87	0,66	0,82	0,88	1,03	0,27	0,24	0,27	0,59	

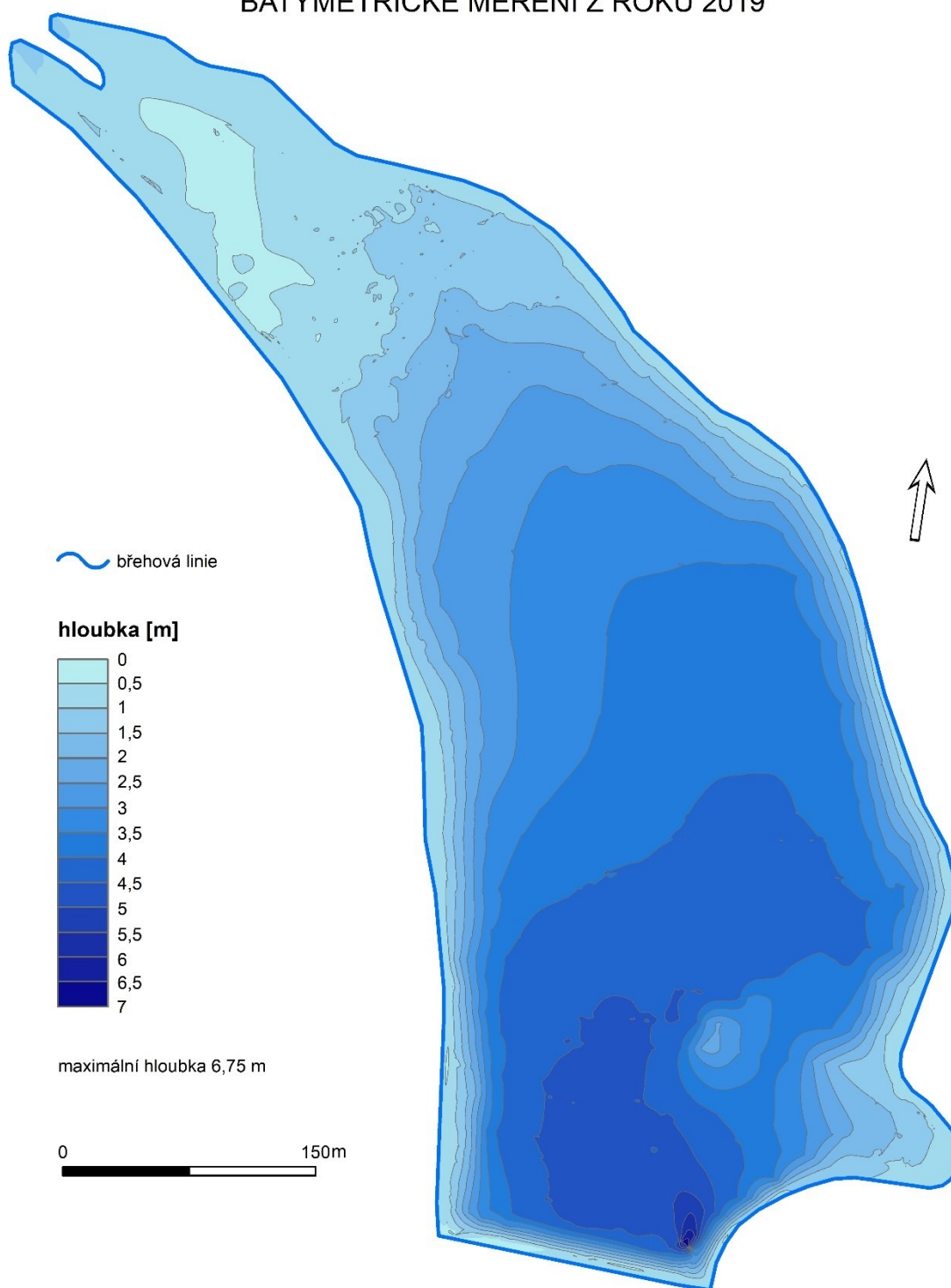
HLOUBKOVÉ POMĚRY ÚDOLÍ PŘED VÝSTAVBOU VD VŠECHLAPY V LETECH 1956



Příloha 4 – hloubkové poměry údolí v letech 1956 (POH, vlastní digitalizace historických podkladů)

VODNÍ NÁDRŽ VŠEHLAPY

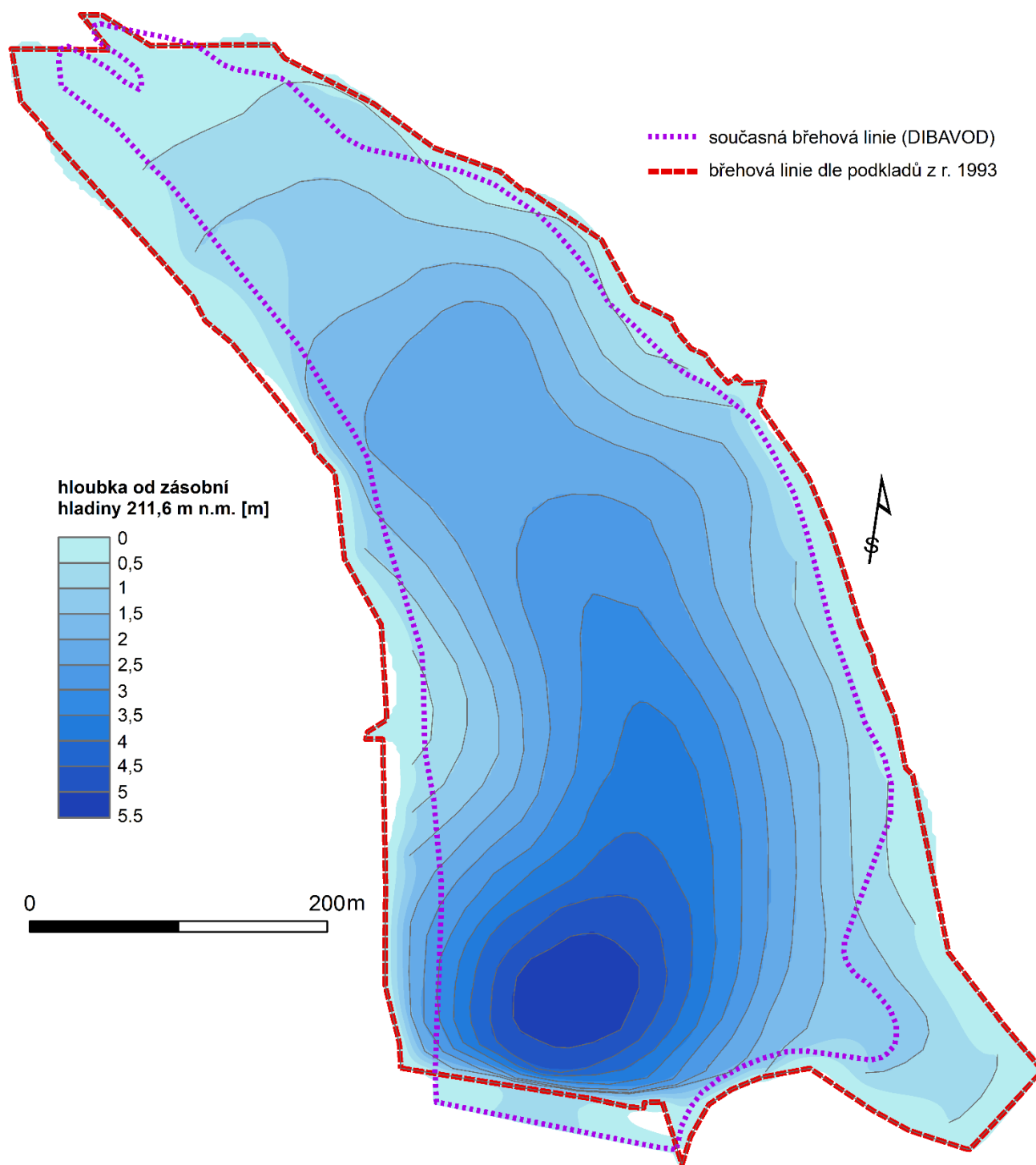
BATYMETRICKÉ MĚŘENÍ Z ROKU 2019



Příloha 5 – batymetrická mapa VD Všechlapy z roku 2019 (vlastní měření)

VODNÍ NÁDRŽ VŠECHLAPY

MĚŘENÍ V ROCE 1993



Příloha 6 – digitalizovaná mapa hloubek měřené ve VD Všechlapy v roce 1993 (POH, vlastní digitalizace)

Příloha 7 – zrnitostní podíly jednotlivých vzorků

<i>vzorek</i>	<i>hloubka [cm]</i>	<i>jíl [%]</i>	<i>prach [%]</i>	<i>jemnozrnný písek [%]</i>
Loučenský p.	0	20,99	41,77	37,24
Bouřlivec	0	5,73	38,72	55,55
A1	0-10	6,1	7,31	86,59
A2	10-20	4,21	4,51	91,28
A3	20-30	15,65	50,34	34,01
A4	30-40	11,87	41,17	46,96
A5	40-50	29,28	61,33	9,39
A6	50-60	27,79	69,12	3,09
A7	60-70	19,2	63,62	17,18
A8	70-80	21,62	62,55	15,83
A9	80-90	27,47	59,02	13,51
A10	90-98	25,63	52,88	21,49
C1	0-10	11,86	42,14	46
C2	10-20	10,42	41,41	48,17
C3	20-30	26,36	39,26	34,38
C4	30-40	11,27	42,1	46,63
C5	40-50	12,48	54,43	33,09
C6	50-60	14,76	55,71	29,53
C7	60-70	15,41	52,66	31,93
C8	70-80	21,08	51,63	27,29
C9	80-90	14,88	46,91	38,21
C10	90-100	18,83	56,68	24,49
C11	100-110	15,44	47,3	37,26
C12	110-125	17,59	49,59	32,82

	Pozadová hodnota	Al	As	Cd	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	Ti	Zn
A1	podle T & W	0	3	4	0	0	0	0	2	0	2
	podle Lochovskeho		3	5	0	0	2	0	2		2
	podle T & W	0	4	4	0	0	0	0	2	0	2
A2	podle Lochovskeho		4	5	0	0	2	0	2		2
	podle T & W	0	4	4	0	0	0	0	2	0	3
	podle Lochovskeho		3	6	1	0	2	0	2		2
A3	podle T & W	0	3	5	0	0	0	0	2	0	3
	podle Lochovskeho		3	6	0	0	0	0	2		3
	podle T & W	0	3	6	1	0	2	0	2		2
A4	podle Lochovskeho		3	4	0	0	0	0	2	0	2
	podle T & W	0	3	4	0	0	0	0	2	0	2
	podle Lochovskeho		3	5	0	0	2	0	2		2
A5	podle T & W	0	4	4	0	0	0	0	2		3
	podle Lochovskeho		4	4	0	0	0	0	2	0	2
	podle T & W	0	3	6	1	0	2	0	2		2
A6	podle Lochovskeho		3	4	0	0	0	0	2		2
	podle T & W	0	4	4	0	0	0	0	2	0	2
	podle Lochovskeho		3	5	0	0	0	0	2		2
A7	podle T & W	0	4	4	0	0	0	0	2	0	2
	podle Lochovskeho		3	5	0	0	2	0	2		2
	podle T & W	0	3	3	0	0	0	0	2	0	2
A8	podle Lochovskeho		3	4	0	0	2	0	2		1
	podle T & W	0	2	3	0	0	0	0	2	0	1
	podle Lochovskeho		2	4	0	0	1	0	1		1
A9	podle T & W	0	1	3	0	0	0	0	1	0	1
	podle Lochovskeho		1	4	0	0	0	0	1		1
	podle T & W	0	1	4	0	0	0	0	1		1
A10	podle Lochovskeho		1	4	0	0	0	0	1		1
	podle T & W	0	1	4	0	0	0	0	1		1
	podle Lochovskeho		1	4	0	0	0	0	1		1

Příloha 8 – výsledné třídy geoakumulačních indexů pro každý odebraný vzorek z profilu A

	Požadovaná hodnota	Al	As	Cd	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	Ti	Zn
C1	podle T & W	0	3	4	0	0	0	0	2	0	3
	podle Lochovského		3	6	0	0	2	0	2		2
C2	podle T & W	0	3	4	0	0	0	0	2	0	2
	podle Lochovského		3	5	0	0	3	0	1		2
C3	podle T & W	0	3	4	0	0	0	0	2	0	2
	podle Lochovského		3	5	0	0	2	0	2		2
C4	podle T & W	0	3	4	0	0	0	0	2	0	2
	podle Lochovského		2	6	0	0	2	0	2		2
C5	podle T & W	0	3	5	0	0	0	0	2	0	3
	podle Lochovského		3	6	1	0	3	0	2		2
C6	podle T & W	0	3	5	0	0	0	0	2	0	3
	podle Lochovského		2	6	1	0	3	0	2		2
C7	podle T & W	0	3	4	0	0	0	0	2	0	3
	podle Lochovského		2	6	0	0	2	0	1-2		2
C8	podle T & W	0	3	4	0	0	0	0	2	0	2
	podle Lochovského		2	6	0	0	2	0	1		2
C9	podle T & W	0	3	4	0	0	0	0	2	0	2
	podle Lochovského		2	5	0	0	2	0	1		2
C10	podle T & W	0	3	4	0	0	0	0	2	0	2
	podle Lochovského		3	6	0	0	2	0	1-2		2
C11	podle T & W	0	3	3	0	0	0	0	2	0	3
	podle Lochovského		3	6	0	0	2	0	1		2
C12	podle T & W	0	3	4	0	0	0	0	2	0	2
	podle Lochovského		3	6	0	0	2	0	1		2

Příloha 9 – výsledné třídy geoakumulačních indexů pro každý odebraný vzorek v profilu C