

**Univerzita Palackého v Olomouci**  
**Přírodovědecká fakulta**  
**Katedra geoinformatiky**

**HODNOCENÍ VÝVOJE FLUVIÁLNÍCH FOREM  
V CHKO LITOVELSKÉ POMORAVÍ**

**Diplomová práce**

**Bc. Kristýna ZEDNÍČKOVÁ**

**Vedoucí práce RNDr. Jakub MIŘIJOVSKÝ, Ph.D.**

**Olomouc 2020**  
**Geoinformatika**

## **ANOTACE**

Diplomová práce se zabývá druhou etapou monitoringu a následnou analýzou vybraných fluviálních forem v CHKO Litovelské Pomoraví. Výzkum je zaměřen na tři zájmová území – Kenický meandr, Hynkovský meandr a Štěpánovskou nátrž. Všechny oblasti byly již dříve zkoumány a díky historickým mapám a leteckým snímkům je možné zjistit vývoj lokalit od roku 1836 do současnosti. V rámci diplomové práce byly na jaře 2018 pomocí bezpilotního systému snímkovány lokality Kenického a Hynkovského meandru.

Ve všech oblastech proběhlo vizuální hodnocení na základě historických map a leteckých snímků, podle kterých byla vytvořena břehová linie. Pomocí modelů vytvořených v nástroji ModelBuilder byla vypočítána sinuosita určující, zda řeka ve sledovaném úseku meandruje. Dále byly vypočítány polygony akumulace a eroze mezi dvěma obdobími, což umožnilo definovat, v jakých místech procesy probíhaly. Celková míra migrace udává, o kolik metrů se úsek posunul za časové období.

V oblasti Kenického meandru bylo provedeno zaměření čtrnácti příčných profilů, jejichž vývoj lze sledovat od roku 2011. Zaměření proběhlo v lednu a březnu 2020 pomocí totální stanice a ve větších hloubkách pomocí sonaru. Největší změny nastaly u profilu č. 11, kde dochází působením proudnice k velké boční erozi na levém břehu. Ve vrcholové části meandru dochází k sedimentaci na štěrkopískových lavicích nánosového břehu.

Další analýza proběhla v oblasti Štěpánovské nátrže, kde byl zjištěn úbytek objemu materiálu v programu CloudCompare. Vizuálním hodnocením byla provedena analýza říčního dřeva v oblastech Kenického meandru a Štěpánovské nátrže. Analýza stavů vodní hladiny byla provedena z dat měřených na jezu Hynkov od roku 2014 do roku 2018.

Hlavními výstupy diplomové práce jsou mapy břehových linií a mapy akumulace a eroze, které zobrazují vývoj jednotlivých lokalit v letech snímkování. Dále je provedena interpretace vývoje oblastí a je předpovězen budoucí vývoj všech sledovaných lokalit. Výsledky shrnuje jednoduchá online aplikace.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

meandr; břehová nátrž; Litovelské Pomoraví; příčný profil; sonar

Počet stran práce: 87

Počet příloh: 9 (z toho 8 volných a 1 elektronická)

## **ANOTATION**

The Master Thesis is focused on the second phase of the monitoring and subsequent analysis of chosen fluvial forms in the Litovelské Pomoraví Protected Landscape Area. The research has three study areas – Kenický meander, Hynkovský meander and Štěpánov cutbank. All study areas have been studied before and their development can be determined because of the available historical maps and aerial images from 1836. The aerial imaging by the Unmanned Aerial Vehicle was realized in spring 2018 in Kenický meander and Hynkovský meander.

The measurement of 14 cross-section profiles was executed in area of Kenický meander, the development of the cross-section profiles can be observed from 2011. The measurement of the cross-section profiles was realized in January and March 2020 using total station and sonar. The greatest changes are happening at the cross-section profile 11 where large lateral erosion is at the river left bank. The changes are caused by action of the main streamline current. The river material deposition is happening in gravel-sand point bars of the convex bank at the top part of the meander.

Visual assessment based on historical maps and aerial images was done in all study areas. First the bank line was created, and then sinuosity was calculated using model created in ModelBuilder tool. Sinuosity determines if the river is meandering in the specific river section. Polygons of deposition and erosion between time periods were created and specific places of these processes could be defined. The total migration rate states how many metres has specific river section moved between the periods.

Other analysis was calculation of decrease of the material volume in the Štěpánov cutbank area. The analysis was done in CloudCompare software. The analysis of woody debris was done by visual assessment in areas of Kenický meander and Štěpánov cutbank. The analysis of the water level was created by data collected on Hynkov weir in period from 2014 to 2018.

The outcomes of the thesis are riverbank lines maps and deposition and erosion maps. The maps show development of all study areas according to available maps and aerial images. Interpretation of the study areas development is presented, and future development is predicted. All results are presented in online application.

## **KEYWORDS**

meander; cutbank; Litovelské Pomoraví; cross-section profile; sonar

Number of pages: 87

Number of appendixes: 9

**Prohlašuji, že**

- diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu. Pro zpracování charakteristik jsem použila historické letecké snímky, které vlastní Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad generála Josefa Churavého a Správa CHKO Litovelské Pomoraví. Dále byly v práci použity výsledky z prací Otmara Petyniaka a Tomáše Purketa, na které výzkumem navazuji.

- jsem si vědoma, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo,

- beru na vědomí, že Univerzita Palackého v Olomouci (dále UP Olomouc) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užívat (§ 35 odst. 3),

- souhlasím, aby jeden výtisk diplomové práce byl uložen v Knihovně UP k prezenčnímu nahlédnutí,

- souhlasím, že údaje o mé diplomové práci budou zveřejněny ve Studijním informačním systému UP,

- v případě zájmu UP Olomouc uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít výsledky a výstupy mé diplomové práce v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,

- použít výsledky a výstupy mé diplomové práce nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem UP Olomouc, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly UP Olomouc na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Olomouci dne

Bc. Kristýna Zedníčková

Děkuji vedoucímu práce RNDr. Jakobovi Miřijovskému, Ph.D. za rady a připomínky v průběhu vypracování práce, dále děkuji za půjčení přístrojů a pomoc při terénních měřeních. Také děkuji Správě CHKO Litovelské Pomoraví a Odboru ochrany Magistrátu města Olomouce za poskytnutá data. V neposlední řadě děkuji Martinu Portešovi za pomoc při terénních měřeních.

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Kristýna ZEDNÍČKOVÁ**  
Osobní číslo: **R170121**  
Studijní program: **N1301 Geografie**  
Studijní obor: **Geoinformatika**  
Název tématu: **Hodnocení vývoje fluviálních forem v CHKO Litovelské Pomoraví**  
Zadávající katedra: **Katedra geoinformatiky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem diplomové práce je provést druhou etapu monitoringu s následnou analýzou vývoje vybraných fluviálních forem v CHKO Litovelské Pomoraví. Stěžejní část práce se bude věnovat hodnocení vývoje odtrženého meandru ve vazbě na jeho nejbližší okolí. Studentka na základě vlastního sběru dat a dat z předcházejících měření provede zhodnocení aktuálního vývoje, hodnocení změn v průběhu času a pokusí se zpracovat i odhad budoucího vývoje. Předpokládá se využití dat z vlastního leteckého snímkování, geodetického měření i hydrologických dat z piezometru a srážkoměru. Výsledkem budou detailní plány reflektující vývoj daných zájmových oblastí se slovním popisem a provedenými analýzami. Vybrané výsledky budou publikovány pomocí online aplikace.

Studentka vyplní údaje o všech datových sadách, které vytvořila nebo získala v rámci práce, do Metainformačního systému katedry geoinformatiky a současně vytvoří zálohu údajů ve formě validovaného XML souboru. Celá práce (text, přílohy, výstupy, zdrojová a vytvořená data, XML soubor) se odevzdá v digitální podobě na CD (DVD) a text práce s vybranými přílohami bude odevzdán ve dvou svázaných výtiscích na sekretariát katedry. O diplomové práci studentka vytvoří webovou stránku v souladu s pravidly dostupnými na stránkách katedry. Práce bude zpracována podle zásad dle Voženílek (2002) a závazné šablony pro diplomové práce na KGI. Povinnou přílohou práce bude poster formátu A2.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **max. 50 stran**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**  
Seznam odborné literatury:

Hauf, M. et al. (1989): Geodézie, Praha  
MIŘIJOVSKÝ, Jakub, et al. Spatiotemporal evolution of a unique preserved meandering system in Central Europe-The Morava River near Litovel. Catena, 2015, 127: 300-311.  
Petyniak, Otmar. Stav a budoucí vývoj odtrženého meandru v CHKO Litovelské Pomoraví. Diplomová práce. UP Olomouc, 2014.  
KOŽENÝ, P., et al. (2011): Vývoj technické stabilizace dřevní hmoty v korytě Moravy v CHKO Litovelské Pomoraví, Vodní hospodářství. Technická dokumentace k jednotlivým zařízením používaným v terénu.  
VOŽENÍLEK, V. (2002): Diplomové práce z geoinformatiky. Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc, UP, 31 s.


Vedoucí diplomové práce: **RNDr. Jakub Miřijovský, Ph.D.**  
Katedra geoinformatiky

Datum zadání diplomové práce: **16. června 2017**  
Termín odevzdání diplomové práce: **5. května 2019**

doc. RNDr. Martin Kubala, Ph.D.  
děkan

L.S.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI  
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA  
KATEDRA GEOINFORMATIKY  
17 listopadu 50, 771 46 Olomouc  
-1-



prof. RNDr. Vít Voženílek, CSc.  
vedoucí katedry

V Olomouci dne 2. února 2018

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>1 CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>9</b>
<b>2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ</b> .....	<b>10</b>
<b>3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY</b> .....	<b>12</b>
3.1 Terminologie .....	12
3.2 Literatura zabývající se zájmovým územím .....	16
3.2.1 Odborná literatura .....	16
3.2.2 Diplomové práce .....	18
3.3 Odborná literatura zabývající se jiným územím .....	23
<b>4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ</b> .....	<b>25</b>
4.1 Terénní práce .....	27
4.1.1 Umístění a zaměření vličovacích bodů .....	27
4.1.2 Snímkování .....	28
4.1.3 Přístroje .....	29
4.1.4 Měření příčných profilů v Kenickém meandru .....	30
4.2 Zpracování dat .....	34
4.2.1 Tvorba ortofotomozaiky v programu Agisoft PhotoScan .....	34
4.2.2 Zpracování historických map a leteckých snímků .....	35
4.2.3 Tvorba břehových linií .....	36
4.2.4 Modely .....	36
4.2.5 Zpracování dat vodního stavu na jezu Hynkov .....	40
4.2.6 Výpočet úbytku objemu materiálu Štěpánovské nátrže .....	41
4.2.7 Zpracování příčných profilů v Kenickém meandru .....	43
<b>5 INTERPRETACE VÝSLEDKŮ</b> .....	<b>44</b>
5.1 Historický vývoj .....	44
5.1.1 Kenický meandr .....	44
5.1.2 Hynkovský meandr .....	49
5.1.3 Štěpánovská nátrž .....	53
5.2 Vodní stav na jezu Hynkov .....	57
5.3 Výpočet úbytku objemu materiálu Štěpánovské nátrže .....	60
5.4 Vývoj příčných profilů v Kenickém meandru .....	62
5.5 Říční dřevo .....	77
5.5.1 Kenický meandr .....	77
5.5.2 Štěpánovská nátrž .....	80
<b>6 VÝSLEDKY</b> .....	<b>81</b>
<b>7 DISKUZE</b> .....	<b>84</b>
<b>8 ZÁVĚR</b> .....	<b>86</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE</b>	
<b>PŘÍLOHY</b>	



# ÚVOD

Fluviální tvary prochází zpravidla velmi pomalým, avšak neúprosným vývojem, který byl dříve přirozený. Dnes je ale obvyklé a v některých situacích dokonce nezbytné do vývoje zasahovat a tok regulovat. Můžeme tak ochránit lidská obydlí a životy například při povodních. Ztrácíme tím ale možnost sledovat chování řeky v přirozeném prostředí a reakci přírody na vzniklé změny. Jednou z doposud nezměněných oblastí v České republice je Národní přírodní rezervace Ramena řeky Moravy v CHKO Litovelské Pomoraví. Řeka Morava není v rezervaci regulovaná člověkem a nachází se zde ekosystém s meandry, slepými rameny, větvením řeky a rozmanitou vegetací.

Jednou z možností výzkumu vývoje fluviálních forem je použití historických map a leteckých snímků z dřívějších dob i současnosti. Již na historických mapách jsou zakresleny meandry a další fluviální tvary toku v oblasti. Díky leteckým snímkům můžeme pozorovat, jak oblast vypadala před osmdesáti lety a hodnocením změn můžeme odhadnout budoucí vývoj. K tomu mohou sloužit i přesnější technologie pro sběr dat. Použitím totální stanice a GPS přijímače jsou získávány souřadnice v milimetrových přesnostech. Použitím technologie sonaru lze získat přesná data o hloubce koryta i z oblastí, kam za normálních okolností nelze vstoupit a je potřeba použít loď.

Kenický meandr zajímá vědce delší dobu a po protržení šije v roce 2012 je důraz na jeho studium ještě větší. V grafech příčných profilů, které byly v oblasti odtrženého meandru zaměřeny, lze identifikovat místa, která jsou erodována, kde probíhá akumulace materiálu a kam již voda neproudí jako dříve.

Cílem diplomové práce je navázat na výzkumy provedené v oblasti CHKO Litovelské Pomoraví. Vznikne tak sjednocená metodika včetně vytvořených modelů v nástroji ModelBuilder, která umožní výsledky dalších výzkumů srovnat se současnými. V práci byla vytvořena jednoduchá online aplikace, která zprostředkovává zjištěné výsledky laické veřejnosti, ale i odborníkům z CHKO Litovelské Pomoraví.

# 1 CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem diplomové práce je provést druhou etapu monitoringu s následnou analýzou vývoje vybraných fluviálních forem v CHKO Litovelské Pomoraví. Pro účely práce byly vybrány tři oblasti výzkumu – Kenický meandr, Hynkovský meandr a Štěpánovská nátrž. Všechny tři oblasti byly dříve zkoumány v rámci výzkumů a jiných diplomových prací. Pro ucelenost tématu jsou některé výsledky a výstupy interpretovány z předchozích výzkumů. Stěžejní částí práce je studium odtrženého Kenického meandru, je hodnocen jeho vývoj ve vazbě na nejbližší okolí. Výzkum v oblasti vychází z prací Petyniaka (2014) a Purketa (2015), kteří se věnovali geodetickému zaměření příčných profilů v meandru. V diplomové práci je geodetické měření příčných profilů také provedeno a výsledky jsou porovnány s předchozími.

Dále jsou vytvořeny ortofotomozaiky oblastí výzkumu, snímkování oblastí pomocí bezpilotního systému bylo provedeno vedoucím práce. K hodnocení změn jsou použity letecké snímky a historické mapy, podle kterých jsou digitalizovány břehové linie koryta. Pomocí břehových linií je vypočítána sinuosita sledovaného úseku a jsou zjištěny polygony akumulace a eroze. Na základě těchto dat je provedeno zhodnocení současné situace a je předpovězen budoucí vývoj oblastí.

Cíl zpracování hydrologických dat z piezometru a srážkoměru byl pozměněn, jelikož přístroje nebyly při jejich kontrole funkční a potřebná data z nich nebylo možné získat. Místo těchto dat byly zpracovány hodnoty stavů hladiny na jezu Hynkov od roku 2014 do roku 2018 a vývoj stavu hladiny byl zhodnocen.

Výstupem práce jsou mapy vývoje sledovaných oblastí, grafy zobrazující vývoj vypočítaných charakteristik a vývoj příčných profilů v Kenickém meandru. Dále je provedeno slovní hodnocení analýz a je vytvořena jednoduchá online aplikace prezentující získaná data a výsledky.

## **2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ**

### **Použité přístroje**

Pro měření v terénu bylo použito několik přístrojů. K zaměření vlivovacích bodů a kontrolu stabilizačních kolíků příčných profilů byl použit GNSS přijímač Trimble R4. V některých případech musela být pro zaměření vlivovacích bodů použita totální stanice Trimble S3 Robotic, především v oblastech lesa, kde GNSS přijímač nemá signál. Při snímkování zájmových lokalit vedoucím práce v roce 2018 bylo použito bezpilotní zařízení DJI Phantom 4 Pro. Pro měření příčných profilů byl využit sonar Deeper Smart Sonar CHIRP+ a totální stanice Trimble S3 Robotic.

### **Použitá data**

V práci byla použita data z několika odlišných zdrojů – Katedra geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci, Správa CHKO Litovelské Pomoraví (Správa Chráněné krajinné oblasti Litovelské Pomoraví) nebo Odbor ochrany Magistrátu města Olomouce. Z diplomové práce Petyniaka (2014) a bakalářské práce Purketa (2015) byla použita data o břehových liniích koryta, umístění příčných profilů a data o zaměřených příčných profilech. Dalšími použitými podklady byly letecké snímky, jejichž podrobný výčet se nachází v tabulce 3. Některé snímky byly pořízeny vedoucím práce, nejnovější snímky byly pořízené pomocí bezpilotního systému v roce 2018 a v roce 2020. Další snímky byly již dříve pro účely jiných prací zakoupeny Katedrou geoinformatiky od VGHMÚř (Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu v Dobrušce) a byly vedoucím práce poskytnuty pro účely diplomové práce. Snímek z roku 1938 byl poskytnut Správou CHKO Litovelské Pomoraví. Historické mapy byly použity prostřednictvím WMS služby a jejich poskytovateli jsou Virtuální mapová sbírka, na které spolupracuje velké množství institucí, a Národní geoportál INSPIRE. Odbor ochrany Magistrátu města Olomouce poskytl data o výšce hladiny a průtocích z automatizované stanice jezu Hynkov.

Primární data vznikla přímo pro účely diplomové práce. Jsou to dvě sady leteckých snímků Kenického a Hynkovského meandru, které byly následně zpracovány do podoby ortofotomozaiky. Dále byly digitalizovány břehové linie a z nich vytvořené středové linie koryta a polygony eroze a akumulace. Velkou částí nově získaných dat byly zaměřené příčné profily koryta měřené pomocí totální stanice a sonaru a z nich vytvořené grafy porovnání změny příčných profilů koryta v Kenickém meandru.

### **Použité programy**

Zpracování leteckých snímků do podoby ortofotomozaiky proběhlo v programu Agisoft PhotoScan Professional 1.4.3. Další zpracování prostorových dat probíhalo v programu ArcGIS for Desktop 10.5. Jednalo se především o georeferencování snímků, digitalizaci břehových linií, tvorbu modelů pro generování středových linií, digitalizaci říčního dřeva, výpočet sinuosity a tvorbu polygonů eroze a akumulace. Hodnoty z měření příčných profilů byly zpracovány v programu Microsoft Excel. Vzdálenosti a úbytek objemu z mračen bodů byly spočítány v open source programu CloudCompare verze 2.10.2. Vizualizace v podobě map a grafů příčných profilů byly provedeny v programu Adobe Illustrator 24.0.

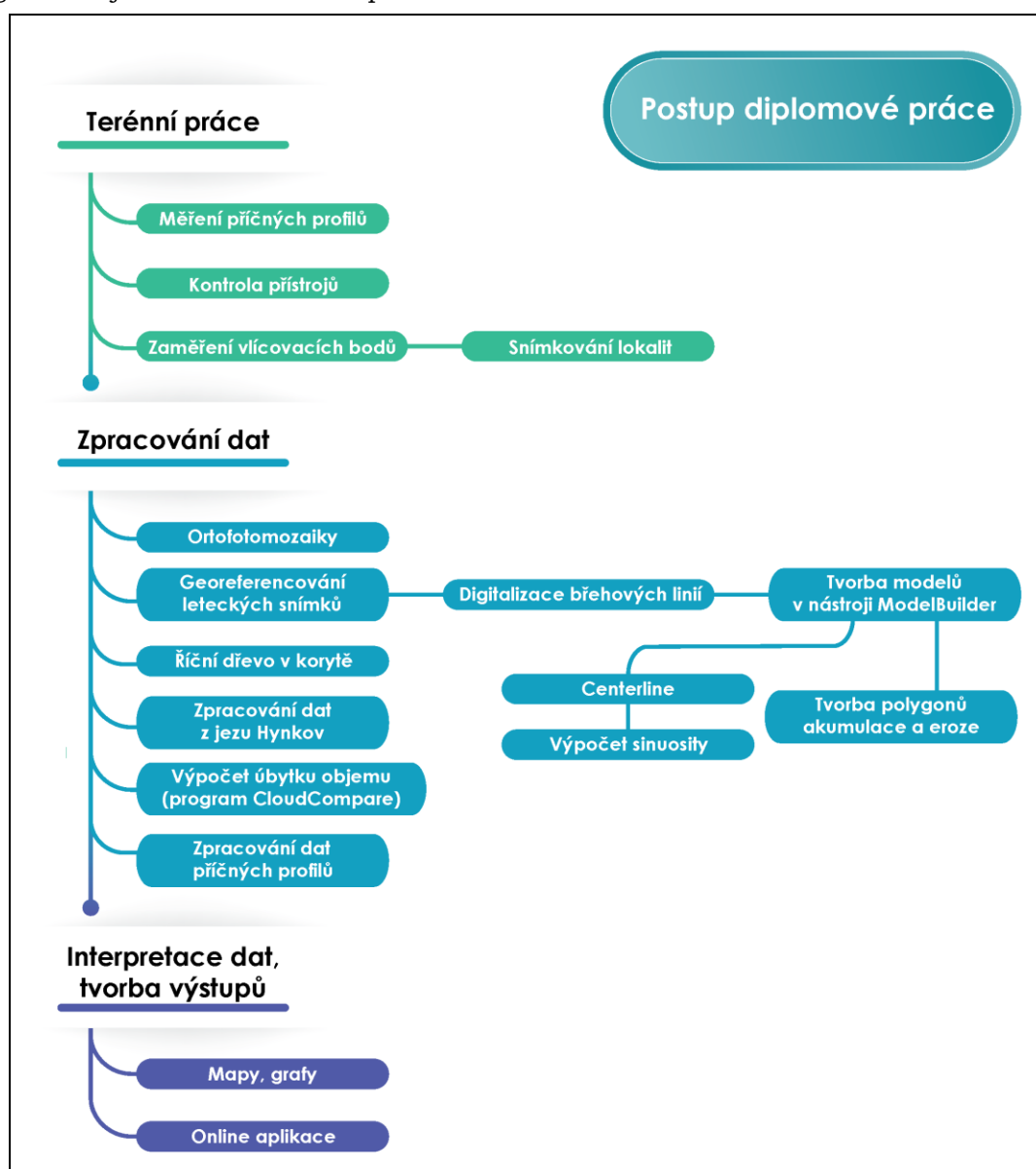
### **Postup zpracování**

Postup práce lze rozdělit na tři dílčí části (obr. 1). První část zahrnuje terénní práce, mezi které patřilo rozmístění a zaměření vlivovacích bodů, snímkování lokalit vedoucím práce pomocí bezpilotního systému, kontrola a vyzvednutí měřících přístrojů, kontrola

a oprava umístění bodů příčných profilů a zaměření příčných profilů. První část terénních prací probíhala v dubnu a červnu 2018, kdy bylo provedeno snímkování Kenického a Hynkovského meandru, kontrola a vyzvednutí přístrojů v korytě meandru a v obci Hynkov. Kontrola bodů příčných profilů proběhla v listopadu 2019 a zaměření příčných profilů proběhlo v lednu a v březnu 2020. Podrobněji jsou terénní práce popsány v kapitole 4.1.

Druhá část práce je zaměřena na zpracování primárních a sekundárních dat. Vybrané letecké snímky musely být nejdříve georeferencovány do souřadnicového systému S-JTSK. Následně proběhla digitalizace břehových linií z historických map a leteckých snímků a další analýzy a tvorba modelů v programu ArcMap. Dále proběhlo zpracování dat získaných měřeními příčných profilů a dat ze stanice na jezu Hynkov. Podrobnější popis jednotlivých částí zpracování dat se nachází v kapitole 4.2.

Poslední část práce se skládá z interpretace všech výsledků (kapitola 5), které jsou srovnány s výsledky z předešlých prací a jsou popsány změny mezi etapami měření a možné příčiny jednotlivých změn. Nakonec byly výsledky vizualizovány v podobě map a grafů a v jednoduché online aplikaci.



Obr. 1 Postup práce

## 3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

### 3.1 Terminologie

V kapitole jsou definovány pojmy, které se v práci často vyskytují a jsou stěžejní k pochopení tématu práce.

#### **Břehová eroze**

Laterální (boční) eroze se vyskytuje při opotřebenosti břehu toku, většinou při podemletí tokem, což vede ke klesání břehu a následnému zhroucení materiálu, jež tvoří břeh. (Huggett, 2017)

Knighton (1998) zmiňuje, že pohyb materiálu ve vodě je ovlivněn fyzikálními vlastnostmi materiálu, především velikostí, tvarem, hustotou a strukturním uspořádáním. Materiál, ze kterého se skládají břehy přírodních koryt, je často velmi proměnlivý, nejčastěji jej tvoří soudržné části písků a štěrků, a obecně se stává jemnějším a jednodušším na dolních tocích. Kořenové systémy vegetace mohou posílit soudržnost břehu a tím zvýšit odolnost vůči erozi, což se děje především na horních tocích řek. (Knighton, 1998)

Na březích toků se nejčastěji vyskytují dva druhy procesů – hydraulické akce a selhání materiálu. Odstraňování materiálu z břehu hydraulickými akcemi souvisí s rychlostními podmínkami vody blízko břehu. Tvrdé, vyschlé břehy jsou vůči hydraulickým akcím velmi odolné a mokré břehy relativně jednoduše podléhají erozi. Citlivost břehu na procesy spojené se selháním materiálu závisí na geometrii, struktuře a materiálu břehové oblasti. Zvětrávání, opakované namáčení, vysušování půdy a tvorba trhlin snižují stabilitu břehu, což zpravidla vede až k jeho zhroucení, které dočasně chrání spodní část břehu od další eroze. (Knighton, 1998)

Množství, periodicita a rozložení břehové eroze závisí na mnoha faktorech – vlastnosti proudu toku, materiál břehu, podpovrchové podmínky nebo lidský faktor. Materiály odlomené erozí z břehů představují velké množství sedimentů nesených proudem toku. Míra a výskyt eroze výrazně ovlivňují formu a pohyb koryta toku, především v meandrujících oblastech. Všechny faktory určují, jakým způsobem se vytvoří údolní niva v oblasti vodního toku. (Knighton, 1998)

#### **Břehová nátrž**

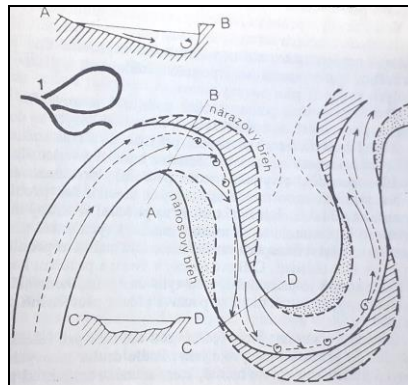
Břehová nátrž je svíslá stěna, která je většinou tvořená zeminami nebo málo zpevněnými horninami. Nejčastěji se vytváří na nárazových březích meandrů a zákrutů. Tvar nátrže vzniká boční erozí, která podemílá břehy koryta vodního toku. Velikost břehové nátrže může být od jednoho metru výšky až po stovky metrů dlouhá a desítky metrů vysoký útvar. Na našem území se nátrže vyskytují v nivách a v nárazových březích neregulovaných vodních toků. (Lexikon tvarů reliéfu České republiky, 2010)

Ačkoliv břehové nátrže patří k přirozenému vývoji koryt vodních toků, často jsou regulací toků odstraňovány nebo upravovány. Břehová nátrž pomáhá k rozvoji tvaru a hydraulické členitosti vodního toku. Její úpravou dochází k zásahům do ekosystémů vodních toků a niv a s tím souvisejícím zásahům do prostředí, ve kterém žijí chráněné druhy živočichů nebo rostlin. Může docházet ke zrychlování proudění, čímž se zvyšují povodňové rozlivy do oblasti nivy. Důsledkem je snížená rozmanitost fauny a flóry. Zásahy do nátrží by měly být prováděny pouze v případech, kdy ohrožují nebo poškozují oprávněné zájmy. (AOPK ČR (Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky), Regionální pracoviště Střední Čechy, 2019)

## Meandr

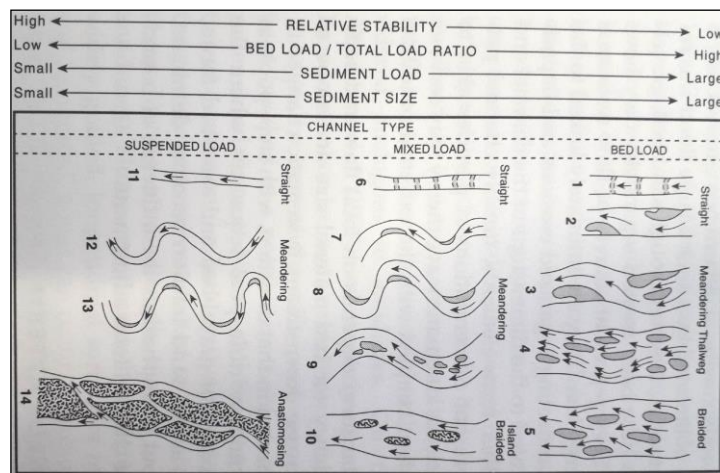
Většina přirozených koryt toků má sklony k postupnému meandrování. Definice meandru není přesně určena, na což upozorňují Leopold a Wolman (1960), kteří uvádí, že fyzikální principy vedoucí k tvorbě meandru ještě nebyly identifikovány. Podle Knightona (1998) není vznik meandru způsoben náhodnými procesy a většina vysvětlení jeho vzniku je založena na dvou tvrzeních. Vznik je způsoben kmitavými vlastnostmi turbulentního proudění nebo je výsledkem interakce mezi proudem a pohyblivým dnem koryta, při které jsou sedimenty nezbytným elementem.

Meandr se skládá z konvexního a konkávního břehu. Na konvexním (nánosovém) břehu je rychlost proudění menší, probíhá zde sedimentace materiálů a vznikají říční lavice. Na konkávním (nárazovém) břehu probíhá eroze způsobená zintenzivněným vířivým pohybem vody směrem k břehu, který je rychleji rozrušován a vznikají břehové nátrže (obr. 2). (Netopil a kol., 1984)



Obr. 2 Vývoj meandru řeky (Netopil a kol., 1984)

Leopold a Wolman (1957 in Knighton (1998)) rozdělili toky na rovné, meandrující a rozvětvené. Knighton (1998) považuje toto dělení za neuspokojivé a zmiňuje existenci několika dalších typů, mezi které patří například anastomozující. Schumm (1985) dělí toky na 14 typů (obr. 3), zaměřuje se na typ dna koryta jako další dělicí prvek.



Obr. 3 Klasifikace typů toků (podle Schumm 1981, 1985 in Knighton, 1998)

Další parametr, který se používá ke klasifikaci toku, je sinuosita. Výpočet sinuosity je definován jako poměr mezi délkou koryta a přímou délkou údolí (Knighton, 1998). Stølum (1996) výpočet sinuosity uvádí mírně odlišně. Uvádí, že je to poměr délky koryta mezi dvěma body a nejkratší vzdálenosti mezi těmito body. Hodnota sinuosity se může

vyskytovat mezi 1 až přibližně 3, žádná maximální hodnota sinuosity však neexistuje (Stølum, 1996). Řeka se stává meandrující při hodnotě sinuosity obvykle větší než 1,5 (Huggett, 2017). Charlton (2008) uvádí dělení toku podle sinuosity následovně:

- hodnota menší než 1,1 – rovný tok,
- hodnota mezi 1,1 a 1,5 – sinusoidní tok,
- hodnota větší než 1,5 – meandrující tok.

Meandry mohou být v různých úsecích toku pravidelné i nepravidelné. Za charakteristiku meandru může být považována asymetrie a výskyt složených tvarů. K popisu geometrických vlastností meandru existuje více přístupů, podle jednoho se meandr skládá z vlnové délky a rádia zakřivení. Další přístup charakterizuje meandr třemi vlastnostmi – vlnová délka, sinuosita a stupeň nepravidelnosti. (Knighton, 1998)

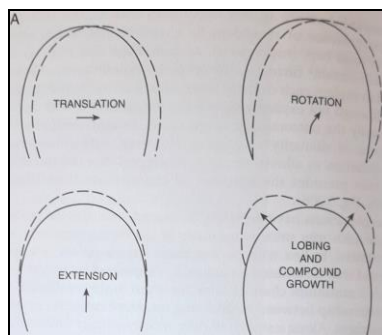
Stølum (1996) považuje meandry za sebeorganizující procesy, které oscilují v prostoru a čase mezi řádnými a chaotickými tvary.

Primární a sekundární proudy ovlivňují rozložení eroze a sedimentace v meandrech. Markham a Thorne (1992, in Knighton (1998)) rozdělili oblast meandru na tři regiony podle sekundárních proudů v příčných profilech:

- region středního koryta – projde tudy okolo devadesáti procent proudů, proudění je helikoidální (šroubovice),
- region vnějšího břehu – vytváří se zde oblast opačné cirkulace, jejíž síla roste s průtokem, strmostí břehu a ostrostí zakřivení meandru,
- region vnitřního břehu – vyskytuje se zde efekt shlukování (shoaling), který vyvolává vnější proudy působící maximální rychlostí na vnější břeh.

V neustále se vyvíjejícím meandru nastává několik typů pohybů, jejichž frekvence a rozložení jsou nejisté (obr. 4):

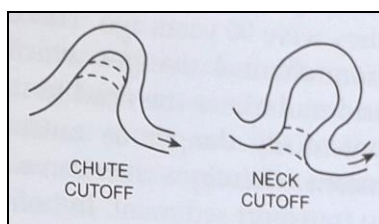
- posun (translation) – celý meandrový zákrut se posune po proudu toku bez změny svého tvaru,
- rozšíření (extension) – zákrut se posune do stran a zvětší se amplituda a délka zákrutu,
- rotace (rotation) – osy zákrutu změni svou orientaci,
- prodlužování a vznik složených tvarů (lobing and compound growth). (Knighton, 1998)



Obr. 4 Typy meandrového posunu (Knighton, 1998)

Za určitých podmínek proudění a vlastností materiálu, které vedou ke zvyšování amplitudy a těsnosti meandrového zákrutu, může sinuosita dosáhnout hodnoty, při které už řeka není schopná meandr udržet. Následně dochází k oddělení zákrutu od hlavního toku řeky. Existují dva hlavní typy oddělení (cutoff) – chute cutoff a neck cutoff (obr. 5). Častěji se vyskytuje typ chute cutoff, protože se meandry obvykle

vyskytují v říčních nivách. Oddělením meandrů se zvyšuje spád v korytě a následně schopnost koryta přenášet materiál. (Knighton, 1998)



Obr. 5 Typy odtržení meandru (Knighton, 1998)

### Příčný profil

Příčný profil je definován jako „velikost a tvar koryta v jednom místě koryta nebo jako průměr úseku“ (Knighton, 1998). V případě přírodních koryt je forma příčného profilu nepravidelná v obrysu břehů a také lokálně proměnlivá. Existuje několik parametrů, které popisují příčný profil toku, většinou se jejich hodnoty získávají měřením délky přes koryto a průměrné hloubky. Tyto vlastnosti přesně nedefinují tvar koryta, poměr šířky a hloubky lze ale využít k určení typu tvaru koryta. (Knighton, 1998)

### Říční dřevo

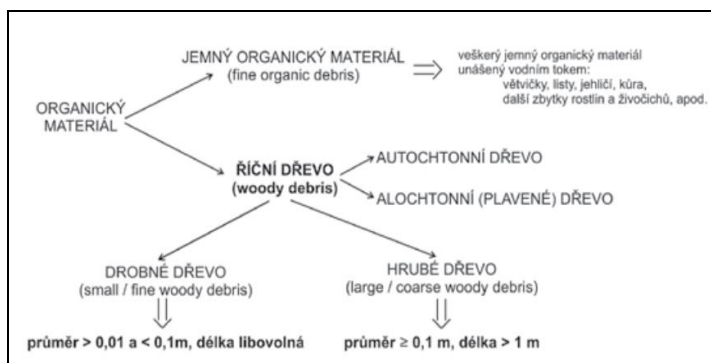
Termín říční dřevo poprvé v české terminologii zmiňují Máčka a Krejčí v publikaci *Říční dřevo ve vodních tocích ČR* (2011). Autoři používají termín pro vyjádření vztahu dřevní hmoty k fluviálnímu prostředí bez přisuzování vlastností dřevní hmotě. Ostatní termíny jsou specifitější a vyjadřují vlastnosti dřevní hmoty.

Máčka a Krejčí (2011) definují říční dřevo jako „mrtvou či živou dřevní biomasu nacházející se v korytě nebo nivě vodního toku, která byla vystavena účinkům hydrogeomorfologických procesů a která tyto procesy sama modifikuje“.

Říční dřevo zahrnuje stromy, keře a jejich fragmenty (kmeny, větve, pařezy, kořeny), dále jsou zahrnuty produkty ze dřeva jako jsou trámy, desky nebo ploty, které se dostaly do vodního toku. (Máčka, Krejčí, 2011)

Pro určení minimálních rozměrů jednotlivých kusů se nejčastěji používají limity 10 cm pro šířku a 1 m pro délku (obr. 6). Dřevo větší, než tento limit se nazývá hrubé říční dřevo (LWD). Pokud dřevní hmota nedosahuje této velikosti, nazývá se drobné říční dřevo (SWD). Dřevní hmota se dále může dělit na mrtvé či živé stromy, nebo podle polohy v korytě – celé v korytě, částečně v korytě nebo celé v nivě. (Máčka, Krejčí, 2011)

Říční dřevo lze klasifikovat na základě počtu kusů na individuální kusy nebo dřevní akumulace, které vznikají při seskupení minimálně tří vzájemně se dotýkajících kusů hrubého říčního dřeva. Některé dřevní akumulace mohou obsahovat až stovky kusů dřeva a mohou blokovat průtok tokem. (Máčka, Krejčí, 2011)



Obr. 6 Terminologie a klasifikace dřevní hmoty v říčním ekosystému (Máčka, Krejčí, 2010)



## 3.2 Literatura zabývající se zájmovým územím

Oblast Litovelského Pomoraví, a především Kenického meandru, byla v posledních letech často zkoumána a hodnocena. Oblastí se zabývali vědci ve svých výzkumech i studenti ve svých závěrečných pracích. Na Katedře geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci probíhal souvislý výzkum a na toto téma bylo napsáno několik závěrečných prací. V oblasti byly zkoumány různé jevy a proběhlo více etap výzkumu. Dále se oblasti podrobně věnovali studenti geografie Masarykovy univerzity v Brně. V této části je uveden popis nejdůležitějších výzkumů a závěrečných prací, které se věnují zájmovému území.

### 3.2.1 Odborná literatura

#### **Prognóza geomorfologického vývoje řeky Moravy v úseku od jezu Hynkov po Kenickou lávku (Máčka, Krejčí, 2006)**

V roce 2006 vypracovali autoři studii pro CHKO Litovelské Pomoraví. Kromě popisu současné situace se věnovali předpovědi budoucího vývoje, především po možném protržení šíje Kenického meandru. Zaměřili se především na predikci možných dopadů protržení šíje, jelikož měli odlišný názor na řešení budoucí situace v oblasti než správci toku a odborná veřejnost.

Podle autorů řeka vytváří anastomózní systém s dominantním hlavním korytem řeky Moravy a bočními trvale protékajícími rameny. Některá menší ramena nazývající se smuhy jsou periodická. Ačkoliv je oblast chráněným územím, není zcela přírodní krajinou. Nachází se v přírodě velmi blízkém stavu, ve kterém v současné době probíhají přirozené hydrologické, geomorfologické a biologické procesy. V minulosti území prošlo velkými změnami, od přerodělování průtoků v říčních ramenech pro provoz vodních mlýnů, po napřimování koryta. Velký vliv na lokální proudění má jez Hynkov, který ovlivňuje celou následující část toku.

Kenický meandr se začal vytvářet již po roce 1910 utvářením jeho šíje. V 80. letech 20. století byl meandr plně vyvinut a následně docházelo pouze k zužování šíje. Ve studii proběhlo terénní měření příčných profilů, podélných profilů, byla proměřena šíje Kenického meandru a mapovány překážky v korytě řeky, za které byly považovány šterkopiskové náplavy a plavená dřevní hmota. Ze všech pozorování a měření byla nakonec vytvořena prognóza vývoje zájmového území po odškrvení Kenického meandru.

Podle autorů se největší změny vyskytnou v nejbližším okolí šíje, kde se nachází Kenická akumulace, která bude i nadále ovlivňovat hydrologické a geomorfologické procesy v korytě, pokud dojde k protržení v nejužším místě šíje. Autoři očekávají rychlé rozšíření průchodu po protržení šíje, kam spadnou nově vyvrácené stromy. Dále předpokládají, že k protržení šíje meandru dojde při povodňovém stavu toku.

Pozitivně by po protržení šíje mohla působit plavená dřevní hmota, která plní ve vodních tocích stabilizační úlohu. Erovaný materiál se bude transportovat po proudu toku, část však zůstane uložena v oblasti pod meandrem. Celkově poroste objem dřevní hmoty v korytě, zejména kvůli vyvrácení stromů způsobeném břehovou erozí. Voda poteče přes průrvu v šíji téměř kolmo na původní směr k výstupu meandru, což způsobí erozi levého břehu a dojde zde k výraznému rozšíření koryta.

Autoři předpokládají, že meandr může zůstat průtočný po určitou dobu po odtržení. Větší část vody však bude odtékat novým protrženým korytem. Po čase dojde k přehloubení koryta nad šíjí zpětnou erozí, tím pádem bude meandr průtočný pouze při zvýšeném vodním stavu. Také Kenická akumulace bude částečně bránit průchodu

vody do meandru. Trvale zaplavené zůstanou pouze části, kde je koryto hlubší a voda sem bude protékat z oblasti pod šíjí. Na závěr autoři očekávají proměnu meandru na poloslepé rameno, které bude protékáno pouze při povodňových stavech. Také bude probíhat zazemňování meandru materiálem přineseným během povodní a materiálem z okolních lesů. Protržením meandrové šíje dojde ke zkrácení koryta řeky přibližně o 475 m.

### **Spatiotemporal evolution of a unique preserved meandering system in Central Europe — The Morava River near Litovel (Miřijovský, Šulc Michalková a kol. 2015)**

Článek se podrobně věnuje popisu několikaletého výzkumu v oblasti Kenického meandru. Hlavními cíli studie jsou kvantifikace vývoje anastomozujících/meandrujících říčních systémů, které byly modifikovány regulacemi, popis procesu odškrcení meandru v zalesněné říční nivě, určení vztahu velké dřevní hmoty a morfologie kanálu a prezentace potenciálu historických dat a UAV technologií pro studie meandrujícího říčního systému. Ve studii byly použity různé metody získávání dat, například analýza starých map, analýza historických leteckých snímků, snímky získané pomocí UAV technologie nebo terénní geodetické měření.

Oblast zájmového území leží mezi 251,1 a 249,5 km řeky Moravy, východně od obce Hynkov. Tato část řeky patří ke střednímu toku, ve kterém řeka začíná ztrácet svou rychlost, a proto se zde vyskytuje anastomózní (meandrující) říční systém. Oblast říční nivy se do šířky rozkládá přibližně na 5 kilometrech a nachází se v ní nivní lesy, zemědělská půda a zastavěné území. Největší průtoky se v oblasti objevují na jaře a nejnižší na přelomu léta a podzimu, povodně se ale mohou vyskytovat během celého roku. Větší povodně se vyskytují přibližně jednou za 5–10 let. Velký vliv na současnou podobu řeky měl lidský faktor. Regulace se týkaly především narovnávání koryt, vyztužování břehů nebo odstraňování sedimentů ze dna koryta. Zásahy se začaly objevovat již v 19. století a způsobily oslabení anastomózního říčního systému a některé větve řeky se staly méně významnými, naopak se zvýšila laterální eroze v hlavním korytě řeky. Regulace velmi zjednodušily tvar celé řeky, což v období povodně ovlivňuje rozliv řeky. Při povodni nemá voda o co zpomalit kvůli rovnému korytu, což způsobuje větší škody dále po proudu řeky. Velká část meandrů je v současné době propojena s hlavním korytem pouze podzemní vodou a voda se v nich nachází pouze při povodni.

Autoři popisují použité metody výzkumu, například analýzu starých map a leteckých snímků. Metoda efektivně dovolí zaznamenat vývoj řeky a její charakter zhruba od poloviny 19. století, kdy se začaly vydávat mapy velkých měřítek se souřadnicovými systémy. Další využitou metodou byla UAV fotogrammetrie, která spojuje výhody vertikálních snímků letecké fotogrammetrie a malé vzdálenosti a vysokého detailu pozemní fotogrammetrie. Pro studii byly vytvořeny dvě sady snímků, na kterých byly provedeny analýzy vývoje koryta a dřevní hmoty v korytě. Terénní průzkum probíhá od roku 2000, dále byla provedena měření v letech 2006, 2012 a 2014.

Autoři se detailně zaměřují na popis výsledků každé z použitých metod. Při analýze starých map a leteckých snímků vytvořili mapu z let 1836–2014, která ukazuje, jak se celé koryto postupně posunulo. Následně pro každý mapovaný rok popsali změny, které v korytě nastaly. Mapa z roku 1878 ukazuje oblast po narovnání koryta, kdy byla většina původních meandrů odříznuta od hlavního toku. První letecký snímek z roku 1938 ukazuje velké změny, horní tok Střední Moravy byl částečně narovnan, další vedlejší části jsou postupně méně průtočné a začínají se zde usazovat sedimenty. Šířka meandrové šíje se v tomto období pohybuje okolo 70 m. Další narovnání koryta je viditelné na snímku z roku 1971. Na novějších snímcích je viditelné narovnávání

meandrové šije. Z hlediska procesů eroze a akumulace v posledních dvaceti letech dochází k větší erozi. V posledních letech se výrazně snížila hodnota akumulace, především po protržení meandru.

Prvních 6 příčných profilů bylo v oblasti zaměřeno v roce 2000. V roce 2006 bylo zaměřeno 13 příčných profilů. Po protržení meandru se prohloubil příčný profil nacházející se těsně nad šíjí meandru o 1,5 m, jeho šířka zůstala nezměněná. Maximální tloušťka sedimentů se pohybovala v hodnotách od 0,25 do 1,2 m. Příčný profil nacházející se pod šíjí meandru zaznamenal dynamický vývoj s rozšířením o 6 m a prohloubením o 0,3 m u konkávního a tvorbou nánosové lavice u konvexního břehu.

Dřevní hmota a dřevní akumulace v korytě se začaly zkoumat v letech 2005–2006. Velká část dřevní hmoty se nacházela v dřevních akumulacích, které v korytě způsobily odchylku toku a jeho rozšíření. Většina akumulací byla menší, pouze na začátku Kenického meandru se nacházela větší – Kenická akumulace, která velmi ovlivňovala morfologii dna před protržením meandru. Největší vliv měla akumulace na rozšíření koryta, které má v této části 40 m, průměrná šířka koryta je 19,3 m. Akumulace zůstala na svém místě i po protržení meandru, odplaveny byly menší kusy dřeva.

### **3.2.2 Diplomové práce**

#### **Otmar Petyniak (2012)**

Bakalářská práce *Analýza současného vývoje reliéfu Kenického meandru* se zabývá morfologickou analýzou vývoje reliéfu meandru a jejím cílem bylo vytvořit mapy stavu koryta Kenického meandru před a po protržení šije, které nastalo v zimě 2012. Břehová linie koryta byla zaměřena geodeticky a byly zakresleny štěrkopískové náplavové lavice a říční dřevo v korytě. Dalším cílem práce byla analýza změn reliéfu dna z příčných profilů, které byly vytvořeny v rámci bakalářské práce Uhrové. Poté byl vytvořen DMR (digitální model reliéfu) Kenické smuhy, což je periodicky zaplavovaná tůň. Jednou z hlavních částí práce je analýza historického vývoje Moravy v okolí Kenického meandru, kdy autor podrobně popisuje změny v korytě a celkové změny říčních ramen a koryt v oblasti. První mapou, která zachycuje oblast Kenického meandru, je Müllerova mapa Moravy, kterou ale nelze použít pro přesné zaměření koryta, protože nemá matematické základy. Mapy I. vojenského mapování zobrazují tři koryta v okolí Hynkova, v žádném z koryt se neprojevuje meandrování. První mapy s matematickými a geodetickými základy jsou mapy Stablního katastru. Zde je viditelně zakresleno meandrující koryto Střední Moravy, stejně široce jako hlavní koryto řeky Moravy, které má dnes jiný průběh. Pod šíjí Kenického meandru se nachází vodní plocha a koryto se rozděluje na dvě části. Další mapy zachycující oblast jsou mapy III. vojenského mapování. Zde se objevuje nové koryto, které se zčásti shoduje s korytem Hraniční Moravy. Další části se příliš nezměnily, pouze Štěpánovská smuha začala ztrácet svůj význam ve prospěch hlavního koryta. Dále autor analyzuje Hospodářskou mapu revíru Střeň, která ukazuje území po napřimení toku a odstavení původních meandrů na hlavním korytě. Napřimení způsobilo zrychlení laterální eroze a zahlobení koryta. Poslední analyzovanou mapou je reambulovaná mapa III. vojenského mapování, průběh koryta je velmi podobný průběhu na Hospodářské mapě revíru Střeň.

Dalšími analyzovanými daty byly letecké snímky zájmového území. První snímky pochází z roku 1938. Na nich je patrná velká změna od posledních známých dat v podobě map, kdy se během několika desetiletí velmi změnil průběh řeky. Je zde dobře viditelná Kenická smuha, a také mizející Štěpánovská smuha. Kenický meandr je zřetelně viditelný a nachází se ve fázi nejdynamičtějších změn. Další snímek pochází

z roku 1954, šije se již začíná zužovat a meandr se celkově zvětšuje. Snímek z roku 1971 ukazuje nově vyhloubené narovnané koryto, které není zatím průtočné a na Střední Moravu je napojené svým spodním koncem. Také nastává nalepšování průtoků Střední Moravy pomocí jezu Hynkov. Další letecké snímky pochází z let 1985, 1994, 2003 a 2006. Na nich je viditelné postupné zužování šije a pozvolný vývoj břehů.

Autor zaměřil dvě sady příčných profilů, jednu v prosinci 2011 a druhou v květnu 2012, již po protržení meandru. V textu práce se věnuje popisu změn profilů, které byly ovlivněny protržením šije meandru. Jeden z profilů nemohl být podruhé zaměřen kvůli ztrátě bodů, které určovaly umístění profilu. Místo toho byl vytvořen profil protržené šije. Nakonec byly vytvořeny grafy, které srovnávají odlišnosti vývoje koryta v jednotlivých profilech mezi roky 2011 a 2012.

Poslední analytickou částí práce bylo určení Kenické akumulace a říčního dřeva v korytě. Kenická akumulace se vytvořila především díky okolním břehům a jejich ústupu při zužování šije. Před protrhnutím šije se akumulace skládala ze čtyř částí, které byly navzájem odlišné svým charakterem. Některé byly tvořeny velkými kmeny, jiné spíše menšími kusy dřeva. Po protržení šije se akumulace výrazně změnila, některé kusy dřeva byly odplaveny a do koryta napadaly nové stromy, které ovlivňují proudění v korytě. Dále po proudu řeky se vytvořilo několik dalších malých akumulací z odplavených částí. Celkový objem říčního dřeva se po protržení šije příliš nezměnil.

Poslední částí práce je hodnocení předpovědi situace po protržení ze studie *Prognóza geomorfologického vývoje řeky Moravy v úseku od jezu Hynkov po Kenickou lávku* autorů Máčky a Krejčího (2006). Podle studie se měla šije protrhnout v nejužším místě, což bylo potvrzeno. Dále se měl průchod v šiji rychle rozšířit až na 25 m, tato situace zatím nenastala. Místo boční eroze spíše nastala eroze hloubková. Kenická akumulace začala bránit proudění řeky do meandru, který postupně ztrácí průtočnost. Předpoklady výše zmíněné studie se kromě rozšíření koryta naplňují a očekává se prodloužení meandrové vlny potenciálních meandrů.

#### **Otmar Petyniak (2014)**

Diplomová práce s názvem *Stav a budoucí vývoj odtrženého meandru v CHKO Litovelské Pomoraví* je stěžejní prací ve výzkumu v oblasti Kenického meandru. Autor začal svůj výzkum již v rámci bakalářské práce a v diplomové práci poznatky rozšiřuje. Hlavním cílem práce byl dlouhodobý monitoring stavu odtrženého meandru ve vazbě na jeho nejbližší okolí zahrnující několik geodetických zaměření příčných profilů koryta, sběr hydrologických dat leveloggerem a barologgerem, letecké snímkování a odběr vzorků sedimentů. Konečným výsledkem bylo objasnění historického vývoje Kenického meandru a popis současného stavu. Nakonec proběhla hydrologická simulace, která pomohla předpovědět budoucí vývoj zájmové oblasti.

Jednou z použitých metod bylo zjištění vývoje břehové linie řeky v zájmové oblasti. Autor použil metodu mapování historických mapových zdrojů a leteckých snímků. Metoda nepřináší nejpřesnější výsledky, ale lze pomocí ní uspokojivě určit průběh a charakter vodního toku a sledovat historický vývoj území. První historické mapy, které bylo možné použít, byly mapy II. vojenského mapování z let 1836–1837. Prvním dostupným snímkem oblasti Kenického meandru je snímek z roku 1938, další snímky jsou z let 1954, 1971, 1985, 1994, 2003, 2006, 2012, 2013 a 2014. Autor krátce analyzuje stav oblasti v každém období. Určení břehových linií probíhalo digitalizací břehu na jednotlivých snímcích. Jelikož se celá oblast nachází v lužním lese, je problematické určit břehovou linii v zastíněných oblastech. Dále byla vypočítána střední míra migrace v dané ploše pomocí hodnot délky koryta a sinuosity za jednotlivá

období. Kombinací linií ze dvou po sobě jdoucích období byly odvozeny polygony eroze a akumulace. Hodnoty eroze a akumulace byly v letech 1938–2014 přibližně v rovnováze, jejich rozdíl přepočtený na roční průměr nedosahuje ani v největším rozdílu jednoho procenta, což značí velmi pomalý nárůst.

V další části práce byla použita data o průtocích na řece Moravě z profilu Olomouc–Nové Sady. Z těchto dat byly zjištěny informace o největších povodňových průtocích za posledních 80 let. Po povodních v roce 1997, kdy se vyskytl nejvyšší průtok, byla v roce 2001 zřízena na jezu Hynkov automatizovaná sonda měřící výšku hladiny, průtoky a teplotu vody. Bylo zjištěno, že průměrný počet povodňových dní v roce od roku 2001 je 5,64, největší povodně se v tomto období vyskytly v letech 2003, 2005 a 2006. Autor popisuje vlivy povodňových průtoků na vývoj meandrové šije, která začala stagnovat a její destrukce nastala až o šest let později.

Velkou částí práce byl monitoring příčných profilů koryta, jehož první etapa proběhla v rámci bakalářské práce a druhá etapa v květnu až červnu 2013 a červnu až červenci 2014 v rámci diplomové práce. Celkem byly zaměřeny čtyři sady příčných profilů. U každého profilu byly odebrány vzorky materiálu dna, které byly poté tříděny metodou sítování do frakcí až po průměr 0,25 mm.

Na závěr byla provedena předpověď vývoje lokality. Modelování proběhlo v modelu HEC-RAS a bylo provedeno zvlášť pro aktivní část koryta Moravy a zvlášť pro Kenický meandr kvůli podmínkám modelu. Jedním z výsledků modelování bylo předpovězení změn v korytě v jednotlivých profilech podle průtoků z roku 2013 a také podle průtoků odpovídajících povodni v roce 2012. Nakonec proběhlo celkové modelování budoucího vývoje oblasti. Při další povodni autor očekává rozšíření koryta v nejužší části v oblasti šije. Obecně závisí vývoj meandru na četnosti a síle protékání.

### **Tomáš Purket (2015)**

Další bakalářská práce s názvem *Zaměření a hodnocení vývoje geomorfologických objektů pomocí geodetických a fotogrammetrických metod* se na rozdíl od předchozích prací věnuje kromě Kenického meandru i dalším lokalitám. Zabývá se vývojem koryta řeky v oblastech Hynkovského meandru, břehové nátrže u Štěpánova a lokality u Věže. Celkově práce navazuje na bakalářskou a diplomovou práci Petyniaka a umožňuje tak další výzkum sledovaných oblastí.

Nejprve bylo provedeno zaměření příčných profilů v Kenickém meandru nivelační metodou. Polohy profilů byly použity stejné jako v práci Otmara Petyniaka. Autor provedl měření příčných profilů dvakrát, první probíhalo během podzimu 2014 a zimy 2015 a druhé na jaře 2015. Autor se věnoval terénnímu měření v ostatních lokalitách a obsluze a stažení dat z několika senzorů – srážkoměru, barologgeru a leveloggeru.

Další částí práce byla fotointerpretace leteckých snímků z let 1971, 1985, 1994, 2003, 2006, 2014 a 2015, které byly georeferencovány a následně analyzovány. Byla provedena digitalizace břehových linií, při níž autor řešil problémy s vegetací zasahující do koryta, dlouhými stíny na černobílých snímcích a nízkou kvalitou starších snímků. Dále popisuje současný stav lokality u Věže, pro kterou je k dispozici pouze snímek z roku 2015.

Detailně autor zpracoval data ze zaměření příčných profilů. Pro každý profil byl vytvořen graf porovnávající všechna existující měření příčných profilů, používá zde data naměřená Petyniakem (2012, 2014) i svá vlastní data. Následně je doplněn detailní slovní popis vývoje jednotlivých profilů a jsou uvedeny důvody změn dna koryta.

Na konci práce autor krátce shrnuje poznatky k budoucímu vývoji všech sledovaných lokalit. Kenický meandr se může vyvíjet dvěma směry: „Buď bude

pokračovat postupná sedimentace po celé délce meandru a dotvoří se aluviální zátka v nátoku a výtoku z meandru, nebo se v místě bývalé šije nahromadí dřevní akumulace, vytvoří se hráz, která koryto přehradí a obnoví se proudění v korytě. V tomto případě by se přerušila sedimentace, vytvořená aluviální zátka by byla erodována a zničena.“ (Purket, 2015). Vývoj Hynkovského meandru je podle autora jednoznačný, předpokládá se, že se do 10 let meandr protrhne. Břehová nátrž u Štěpánova by měla postupně ustupovat na jihovýchod.

### **Lukáš Krejčí (2006)**

Diplomová práce *Fluviální tvary v NPR Ramena řeky Moravy* se zabývá především fluviální geomorfologií v oblasti Kenického meandru a podrobně se zaměřuje na oblast mezi jezem Hynkov a ústím Benkovského potoka. Částečně se autor práce zabývá biogeomorfologií, která zkoumá vliv bioty na fluviální procesy a tvary. Dále popisuje anastomózu na řece Moravě s hlavním korytem a vedlejšími rameny, například Mlýnský potok nebo občasné protékané smuhy.

Následně autor popisuje metody terénního výzkumu, například měření šířky a hloubky koryta, průtočných profilů nebo rozsah štěrkopískových lavic. Velkou část terénního průzkumu věnoval autor mapování a kvantifikaci plavené dřevní hmoty. Autor se snažil ke každému kusu dřevní hmoty zachytit průměr, délku nebo sklon kmene. Dalšími charakteristikami jsou poloha v korytě, původ, celkový stav a další. Při určování objemu PDH (plavené dřevní hmoty) a hrubého dřeva se autor řídil metodikami THEVENET a kol. (1998) a podle standardních postupů používaných v lesnické praxi. Dále autor popisuje akumulace nacházející se v zájmovém území, podrobně se věnuje Kenické akumulaci. Věnuje se popisu geomorfologických účinků výskytu PDH na utváření koryta a jeho tvaru. „Základním východiskem všech geomorfologických účinků PDH je fakt, že vyskytne-li se plavená dřevní hmota v průtočném profilu, zmenší se tím jeho plocha a stávající struktura musí na událost nějakým způsobem reagovat. Jednou z možností je změna koryta, druhou změna proudění, nejčastější je však kombinace obojího“ (Krejčí, 2006).

Na konci práce se autor zaměřuje na historický vývoj koryta řeky a stejně jako u dříve uvedených diplomových prací čerpá z map od I. vojenského mapování a z novějších leteckých snímků. Dále používá bibliografické záznamy, které jsou „zajímavým, spolehlivým, ale nepříliš názorným zdrojem informací“ (Krejčí, 2006). Zde nachází informace o záplavách, chodu ledů nebo činnostech prováděných na toku.

### **Martin Knot (2015)**

Diplomová práce *Hydromorfologický monitoring aktuálního vývoje řeky Moravy v Litovelském Pomoraví* se zaměřuje zejména na situaci po odtržení šije Kenického meandru. Autor se věnuje charakteristice sedimentačních procesů v meandru pomocí sedimentárních analýz a metody ERT (elektrická odporová tomografie). Dále se snaží charakterizovat vývoj tvaru meandru a definovat jeho aktivní období. Následně popisuje měření příčných profilů, instalaci měřících zařízení a odběr vzorků dnových sedimentů, které byly následně analyzovány. Autor umístil přístroj levellogger přímo v meandru v blízkosti místa s nejnižší nadmořskou výškou.

Dále autor provádí analýzu zrnitosti sedimentů pomocí metody síťování. Při této metodě se používají síta o různých velikostech a zjišťuje se, jak velké klasty sedimentů sítím propadnou. Části menší než 0,25 mm byly poté analyzovány pomocí laserové granulometrie. Analýza sedimentární výplně koryta byla provedena metodou ERT.

Autor se dále věnoval analýze příčných profilů, jejichž data získal od Katedry geoinformatiky UP v Olomouci. Ke každému příčnému profilu provedl rozbor dnových

sedimentů a vytvořil graf jejich zrnitosti. Dále vytvořil graf s nadmořskými výškami v příčných profilech v rozmezí let 2013 až 2015.

Autor použil data o vodním stavu z limnigrafických stanic Moravičany a Olomouc–Nové Sady z let 2005–2014. Zaznamenal povodňové stavy ve sledovaném období, počet dosažení a překročení stupňů povodňové aktivity a hodnoty průtoků ve stanici. Přímou v meandru byly nainstalovány dva levelogery, které měřily hladinu vodního toku, čímž se zjistilo období aktivity meandru. Podle získaných dat byla v oblasti meandru voda po celou dobu měření, i když v některém období pouze v zanedbatelném množství. V závěru práce autor zmiňuje, že v poslední dekádě se vodní stavy toku příliš nemění, větší povodně se vyskytly během období pouze třikrát.

Ve výsledcích monitoringu autor uvádí, že se jedná o odškrčení meandru typu *neck cutoff* pod úhlem  $56^\circ$ , což jej předurčuje k rychlému vývoji zazemňování aluviálních zátek.

### **Petr Holík (2017)**

Diplomová práce *Hydrologická konektivita a sedimentační procesy v odškrčeném Strážnickém a Kenickém meandru* se zabývá především Strážnickým meandrem, který dává do souvislosti s Kenickým meandrem. Oba meandry jsou již odškrčené, a tak se autor snaží porovnat jejich vývoj a procesy, které v nich probíhají. Autor zmiňuje, že každý meandr se nachází v jiném stádiu, má jiné stáří, úhel odškrčení a jiné lokální hydraulické podmínky. Proto lze ve formování a rychlosti formování aluviálních zátek najít velké rozdíly. Autor provedl terénní průzkum ve Strážnickém meandru a data získaná průzkumem v Kenickém meandru použil z diplomové práce Knoty (2015).

Autor provádí stejná měření ve Strážnickém meandru jako Knot (2015) v Kenickém meandru, aby následně mohl stav meandrů porovnat. Věnuje se měření hladiny vody pomocí leveloggeru, dále používá metodu ERT, kterou zjišťuje sedimentační vrstvy v meandru a charakter nanesených sedimentů. Nakonec provádí odběr vzorků sedimentů z pěti příčných profilů.

Poté se věnuje vyhodnocení hydrologické konektivity Strážnického a Kenického meandru, který je podle měření „připojen stále v oblasti výstupní aluviální zátce, která doposud není výrazně utvořena. Na vstupní zátce je pak průměrná frekvence připojení meandru v posledním roce 286,5 dní“ (Holík, 2017). Kenický meandr je tedy téměř vždy protékán, ale jedná se o malé množství vody. Sedimentace na vstupní zátce je velmi vysoká a v současné době tvoří výraznou bariéru, kterou odděluje meandr od aktivního koryta. Při srovnání obou meandrů autor zmiňuje rozdíly hlavně ve stavu výstupních aluviálních zátek, v Kenickém meandru tato zátka téměř neexistuje a na rozdíl od Strážnického meandru zde téměř neprobíhá sedimentace. Do Kenického meandru se voda dostává přes výstupní aluviální zátku, do Strážnického přes vstupní aluviální zátku. Na stav a změnu Kenického meandru mají povodňové události větší vliv, vyplývá to zejména z jeho menší velikosti.

Oba meandry se liší ve způsobu uložení sedimentačních vrstev. Strážnický meandr má vrstvy uloženy horizontálně, v Kenickém se jedná spíše o uložení materiálu napříč profily. Také složení sedimentů je odlišné, ve Strážnickém meandru se nachází jílovitohlinité až jílovité sedimenty, v Kenickém štěrkopísky a písky. Mocnost sedimentů Kenického meandru je 3–4 m, Strážnického meandru 4–5 m.

### 3.3 Odborná literatura zabývající se jiným územím

Velké množství výzkumů probíhá ve střední Evropě, především na řece Moravě v České republice a na Slovensku a také na řekách v Maďarsku. Maďarský vědec Bertalan se ve svém výzkumu dlouhodobě věnuje vývoji řeky Sajó v Maďarsku. Jedním z konferenčních příspěvků, ve kterém prezentoval svůj výzkum společně se Szabó, je *Lateral erosion monitoring along a southern section of Sajó (Slaná) River* z roku 2015. Cílem výzkumu bylo analyzovat vývoj řeky a meandru v závislosti na přirozeném vývoji i vlivu lidské činnosti. Autoři využili k vektorizaci linií břehu několik historických leteckých snímků i map. Ve čtyřech vybraných oblastech byly vytvořeny snímky pomocí UAV a následně byl zjišťován ústup břehu. Výsledkem výzkumu bylo zjištění významného zkracování řeky mezi lety 1952 a 1980 především z důvodu regulace toku pro průmyslové účely. Po roce 1982 se začala délka středové linie toku zvyšovat a autoři předpokládají, že tato událost způsobila tvorbu meandrů.

Výsledkem jednoho z nejnovějších výzkumů autora v této oblasti je článek *Issues of Meander Development: Land Degradation or Ecological Value? The Example of the Sajó River, Hungary* (Bertalan, Novák a kol., 2018), který se na problematiku tvorby meandrů dívá i z ekologického hlediska. Výzkum probíhal na dvoukilometrovém úseku řeky Sajó, kde se autoři snažili zjistit, zda může být proces tvorby meandru označen jako proces degradace půdy nebo zda může zvýšit ekologickou hodnotu oblasti. Byly použity historické letecké snímky, metoda UAV pro odhalení změn půdy a byl proveden ornitologický průzkum. Výsledky ukázaly, že 65 let stačilo k vytvoření nového ekologického systému podél meandrující řeky, která se dostává do přírodního stavu.

Na řece Moravě probíhají výzkumy především v oblastech Litovelského Pomoraví a Strážnického Pomoraví, kde se řeka nachází v přirozeném stavu bez velkých zásahů člověkem. Článek *Response of lateral channel dynamics of a lowland meandering river to engineering-derived adjustments – an example of the Morava River (Czech Republic)* autorů Ondruch a Máčka (2015) se zabývá pěti kilometry řeky Moravy ve Strážnickém Pomoraví, kde je řeka volně meandrující a kvazi-přírodní (tok, který byl ovlivněn lidskou činností). Autoři se zaměřují na zjištění hodnot bočních posunů koryta. Eroze a akumulace byly vypočítány pomocí leteckých snímků z let 1938–2012. Největší míra eroze byla zaznamenána v období 1938–1953, následně klesala. Délka toku zkoumané oblasti ve sledovaném období vzrostla z 5 km na 6,5 km, zvětšila se i šířka toku. Autoři se zaměřili na deset meandrů ve sledované oblasti a v každém časovém období se věnovali popisu jejich změny. V závěru zmiňují, že ačkoliv se zabývali krátkým úsekem řeky, hodnoty eroze a akumulace se značně měnily v průběhu let i v jednotlivých úsecích studované oblasti. Velký vliv na erozi a akumulaci měly inženýrské práce v oblasti, především umělé oddělení meandru a narovnění části toku.

Na slovenské řece Ondavě proběhl monitoring odděleného meandru typu chute cutoff, který je popsán v článku *Monitoring of avulsion channel evolution and river morphology changes using UAV photogrammetry: Case study of the gravel bed Ondava River in Outer Western Carpathians* autorů Rusnák, Sládek a kol. (2019). Oddělení meandru proběhlo po sérii velkých povodní v roce 2010, kdy se následně vytvořilo avulzní koryto. K monitoringu oblasti a určení změn po oddělení meandru byla použita data získaná UAV metodou, data z terénního průzkumu a DMR vytvořené z dat UAV snímkování. Výsledkem byly výpočty ústupu břehu během let 2012 a 2014. Průměrný ústup břehu byl 7 cm/měsíc v prvním sledovaném období (červen 2012 až duben 2014) a poté vzrostl na 81,2 cm/měsíc ve druhém sledovaném období (duben až červen 2014). Také byl zaznamenán velký nárůst vegetace v oblasti avulzního koryta.



Velké množství publikací zveřejnil autor Piégay a jeho kolektivy. Například *Characterisation of alluvial plains by remote sensing: cases studies and current stakes* (Lejot, Piégay a kol., 2011) pojednává o využití metod dálkového průzkumu Země, konkrétně použitím satelitních snímků a UAV metod pro studium menších a středních řek. Dříve tyto metody kvůli malému prostorovému a časovému rozlišení nedovolovaly sledovat menší toky, autoři se snaží otestovat účinnost těchto metod na třech různých zájmových územích. Dále se v článku zabývají určením hloubky koryta řeky a mapováním velikosti sedimentů pomocí leteckých snímků z UAV snímkování, které mají větší prostorové rozlišení než satelitní snímky.

Další článek autorů Coz, Michalková a kol. (2010) *Morphodynamics of the exit of a cut-off meander: experimental findings from field and laboratory studies* se věnuje výzkumu toku a sedimentů na styku hlavního toku a odtrhnutého meandru. Výzkum probíhal na řece Moravě na Slovensku a na řece Ain ve Francii. Byla prováděna laboratorní měření pomocí fyzického modelu řeky Moravy podél hranic Slovenska a Rakouska a zjišťovaly se možné scénáře „znovuotevření“ dvou odtrhnutých meandrů. Na řece Ain byla prováděna terénní měření pro získání údajů o průměrné rychlosti v příčných profilech ve výstupu z odtrhnutých meandrů, čímž se zjišťovala hloubka koryta v oblastech, kde se hlavní tok dotýká odtrženého meandru. Autoři zmiňují, že z hlediska ekologického inženýrství má tato studie největší účel v nalezení řešení pro kontrolu toku a ukládání sedimentů ve vstupech a výstupech odtržených meandrů.

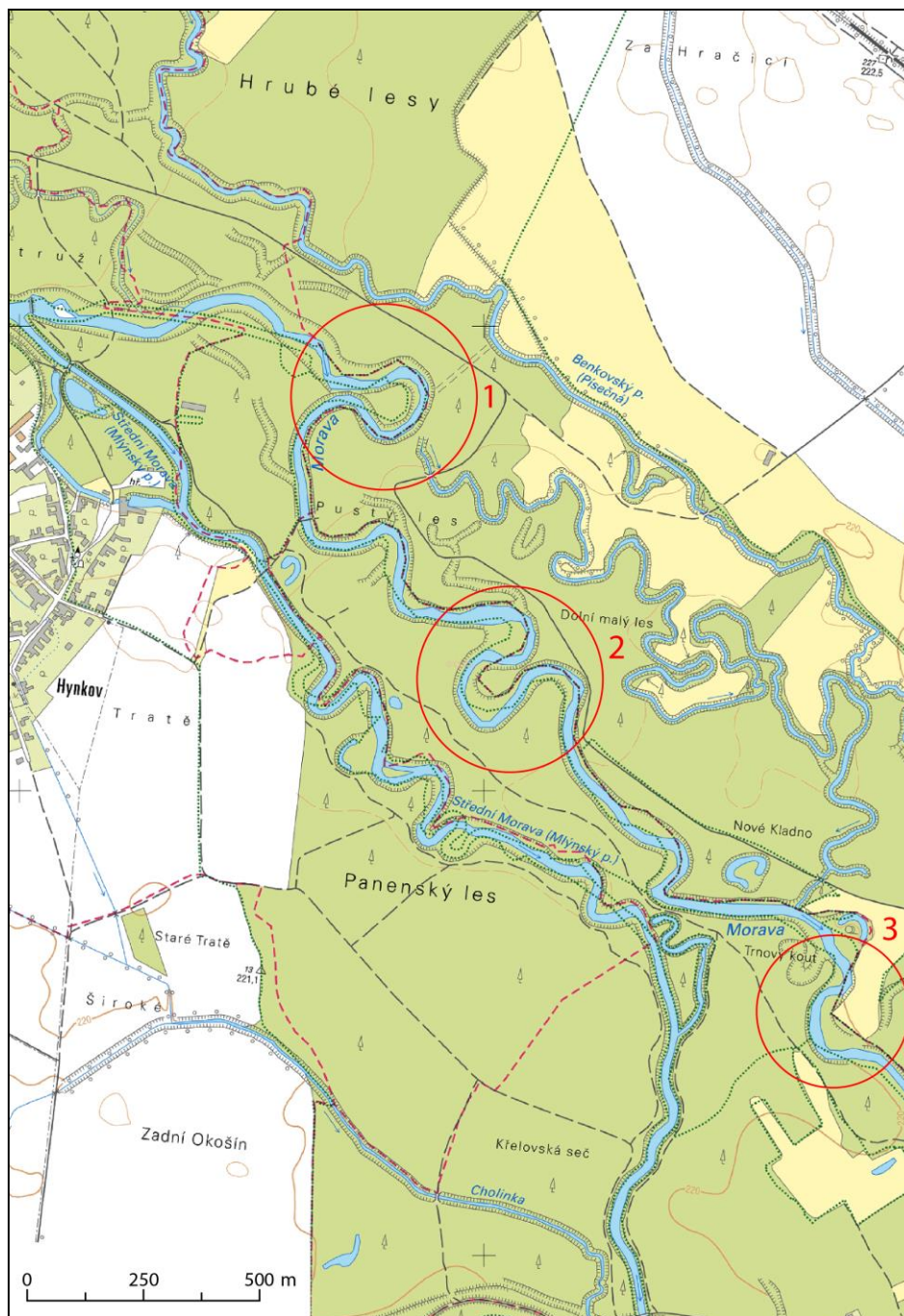
Studie *Seamless Mapping of River Channels at High Resolution Using Mobile LiDAR and UAV-Photography* autorů Flener, Vaaja a kol. (2013) zkoumá vývoj říčního koryta na řece Pulmanki ve finském Laponsku. Autoři vytváří bezešvou mozaiku řeky, jejího okolí a dna koryta. Jelikož všechna data není možné získat jednou metodou, je použito více metod. Mobilní mapovací systém ROAMER vyvinutý Finským geodetickým institutem slouží ke sběru dat o řece a jejím okolí. Dále bylo provedeno snímkování pomocí UAV a měření laserovým skenerem. Na závěr byl vytvořen batymetrický model dna řeky pomocí sonarové technologie. Výsledný model byl složen z dat všech použitých technologií a výsledkem byla analýza geomorfologických změn zájmového území.

*Spatial and Temporal Variability of Bank Erosion during the Period 1930–2016: Case Study—Kolubara River Basin (Serbia)* autorů Dragičević, Pripužić a kol. (2017) se věnuje analýzám na řece Kolubara v Srbsku. Autoři se zaměřili na 15 km dlouhý úsek řeky, která se vyznačuje geomorfologickou aktivitou v podobě vývoje meandrů, časté eroze a akumulace. Výzkum byl proveden analýzou katastrální mapy z roku 1930, leteckých snímků z let 1959–1981 a geodetickým výzkumem mezi lety 2010 a 2016. Ze všech období byly vytvořeny břehové linie a následně spočítány hodnoty akumulace a eroze břehu a průměrné míry migrace. Autoři se zaměřili na srovnání vývoje řeky z dlouhodobého (1930–2010) a krátkodobého hlediska (2010–2016). Míra migrace byla v dlouhodobém období 1,9 m/rok a v krátkodobém období 3,3 m/rok. Zvýšená intenzita eroze v krátkodobém období byla způsobena především povodní v roce 2014 a velmi variabilním průtokem s častými extrémními hodnotami.

Článek *Process of overturning due to a floodwave in an oxbow lake of Tisza River* autorů Türk, Bertalan a kol. (2016) se zaměřuje na zjištění charakteristik oxbow lake, což je jezero vzniklé po oddělení meandru. Autoři použili sonar pro zjištění hloubky v jednotlivých částech jezera, dále byly zjištěny chemické vlastnosti ze vzorků posbíraných na několika místech jezera. Autoři uvádí, že během povodní se voda z řeky dostane do jezera, voda v jezeře se promíchá a dojde k ukládání sedimentů, což přispívá k další sedimentaci jezera. Povodeň má tedy významný vliv na vývoj jezera v odtrženém meandru.

## 4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

Práce se zaměřuje na tři sledované oblasti – Kenický meandr, Hynkovský meandr a Štěpánovskou nátrž (obr. 7). Všechny oblasti byly v minulosti zkoumány, nejvíce Kenický meandr, na který se zaměřila většina prací zmíněných v kapitole 3. Výzkum v oblasti Kenického meandru byl prováděn různými metodami, byly zjišťovány změny příčných profilů, sedimenty nebo výskyt říčního dřeva. Oblast Hynkovského meandru zkoumal poprvé ve své bakalářské práci Purket (2015), který prováděl analýzu vývoje pomocí leteckých snímků. Oblast Štěpánovské nátrže byla zkoumána Miřijovským (2013) a Purketem (2015).



Obr. 7 Zájmové oblasti: 1. Kenický meandr, 2. Hynkovský meandr, 3. Štěpánovská nátrž (podkladová data – ČÚZK WMS ZM 10)

Všechna zájmová území se nachází v CHKO Litovelské Pomoraví, která byla zřízena v roce 1990 a má rozlohu 93 km<sup>2</sup>. Zkoumané oblasti spadají do Národní přírodní rezervace Ramena řeky Moravy, která se rozprostírá přibližně od Litovle k Horce nad Moravou a představuje ukázkou vývoje toku s vyvinutými říčními meandry a větvením řeky. Kenický meandr je také chráněným územím (Přírodní rezervace Kenický). (AOPK ČR, 2017)

Celá oblast CHKO Litovelské Pomoraví se rozkládá v oblasti rozsáhlé říční nivy řeky Moravy s lužními lesy. Oblast se vyznačuje pestrým geologickým podložím a nachází se na styku geomorfologických provincií Česká vysočina a Karpaty. Hlavním vodním tokem je řeka Morava, která se v této oblasti větví a meandruje. V oblasti CHKO se nachází 39,7 km řeky Moravy. V některých částech je řeka regulovaná (např. nad Litovlí a v intravilánu Litovle), někde je přirozeně meandrující. Největší část přirozeného toku řeky se nachází v NPR Ramena řeky Moravy. Díky přirozenému toku má v této oblasti řeka vysokou samočisticí schopnost. Také se zde objevuje tzv. vnitrozemská delta nebo anastomózní říční systém, kdy se řeka v lužních lesích větví na velké množství koryt, která jsou stálá nebo periodicky protékána. Pro oblast jsou velmi důležité pravidelné jarní záplavy, při kterých se voda rozlévá do všech koryt a při opadnutí vody v nich zůstává a vznikají tzv. jarní periodické tůně. (AOPK ČR, 2017)

Z klimatického hlediska leží oblast CHKO Litovelské Pomoraví v mírném klimatickém pásu, z regionálně klimatického hlediska v teplé klimatické oblasti T-2. Nejvíce srážek spadne v měsících červen a červenec, naopak nejméně v únoru. Průměrný roční úhrn srážek je přibližně 570 mm. (AOPK ČR, 2017)

V CHKO Litovelské Pomoraví se vyskytuje velké množství chráněných druhů rostlin i živočichů. Cennými typy lužních lesů jsou vrbiny. Dále se zde nachází topol černý, jasan ztepilý, jilm habrolistý a na vyvýšených místech dub letní. Z živočichů zde zůstaly zachovány cenné populace ohrožených druhů, např. korýši listonoh jarní a žábronožka sněžní, rak říční nebo roháč obecný a zlatohlávek skvostný. V oblasti žije přes 30 druhů ryb. Ze savců zde žijí ondatra pižmová, vydra říční nebo bobr evropský. (AOPK ČR, 2017)

Kenický meandr se protrhl v únoru 2012 při povodňovém stavu. Lokalita Štěpánovské nátrže se nachází v blízkosti obce Štěpánov a má délku asi 60 m. Okolí nátrže není zalesněno, což urychluje boční erozi způsobenou absencí kořenového systému stromů. (Miřijovský, 2013)

## 4.1 Terénní práce

První rekognoskace oblasti proběhla 5. 2. 2018. Byly navštíveny všechny sledované lokality (obr. 8) a s vedoucím práce proběhlo zhodnocení vývoje lokalit během doby, kdy zde nebyl prováděn žádný průzkum. Zároveň bylo provedeno nalezení a kontrola bodů příčných profilů v Kenickém meandru označených pomocí dřevěných kolíků. Tyto body jsou důležité pro provedení stejného zaměření příčných profilů jako v předchozích výzkumech, což umožňuje měření porovnat. Proto byly kolíky hledány pomocí GPS přijímače podle dříve zaměřených souřadnic bodů. Na podzim 2019 proběhla druhá kontrola všech stabilizačních kolíků, z nichž některé byly nahrazeny na mírně odlišných místech z důvodu špatného signálu GPS přijímače při vytyčování bodů.



Obr. 8 Štěpánovská nátrž

### 4.1.1 Umístění a zaměření vlíčovacích bodů

Miřijovský (2013) zmiňuje, že do přípravných prací leteckého snímkování patří několik kroků:

- kontrola lokality a povolení k letu,
- stanovení parametrů pro snímkování,
- waypointy a letové osy a
- meteorologická situace a světelné podmínky.

Tyto kroky jsou obzvlášť důležité, pokud se výsledky snímkování použijí pro fotogrammetrické účely (Miřijovský, 2013). Proto bylo potřeba před pořízením leteckých snímků vhodně umístit a následně zaměřit vlíčovací body, projít celou lokalitu a zjistit případné překážky snímkování.

Umístění vlíčovacích bodů a letecké snímkování byly provedeny 4. 4. a 6. 4. 2018 v Kenickém a Hynkovském meandru. Nejdříve bylo provedeno rozmístění a zaměření vlíčovacích bodů pomocí GPS přijímače a totální stanice. „Vlíčovací bod neboli tzv. GCP (Ground Control Point) je prvek, který se objevuje na snímku a jehož poloha ve zvoleném souřadnicovém systému je známa“ (Wolf a Dewitt, 2000, Warner et al., 1996 in Miřijovský, 2013). Vlíčovací body by měly být umístěny co nejrovnoměrněji v prostoru celé snímkové oblasti a tak, aby body neležely na stejné přímce, zároveň se musí zohlednit výškové a jiné přírodní překážky, které by zhoršily viditelnost bodu na snímcích. Jejich počet, rozmístění a přesnost zaměření ovlivňují správnost určení parametrů vnější a vnitřní orientace a celkové zpracování snímků. Optimální počet vlíčovacích bodů při použití pro UAV fotogrammetrii je 10 až 15 bodů. (Miřijovský, 2013)

Bohužel přírodní podmínky v této oblasti nedovolily, aby byly vřícovací body rozmístěny podle doporučeného optimálního rozložení. Především vysoké vzrostlé stromy bránily zaměření vřícovacích bodů a následně by byla omezena jejich viditelnost na snímcích. Proto byly body rozmístěny na viditelná místa a zároveň tak, aby byly co nejvíce rovnoměrně po celém zájmovém území. Oblast každého meandru byla snímkována zvlášť, proto byla pro každý meandr vytvořena sada 8–10 vřícovacích bodů. Po konzultaci s vedoucím práce, který prováděl letecké snímkování, byl vřícovací bod vytvořen z měkkého bílého papíru s rozměry 10×10 cm a byl zalaminován pro delší trvanlivost v terénu (obr. 9). Na místo byl bod ukotven pomocí dlouhého hřebíku umístěného uprostřed bodu. Na hřebík byl následně postaven GPS přijímač a byla zaměřena geodetická poloha bodu. V oblasti Kenického meandru zaměření bodů pomocí GPS komplikoval hustý a vzrostlý lesní porost. Proto byla použita totální stanice, která byla umístěna na již známý bod v šíji meandru. Tento bod byl zaměřen na jaře 2013 pomocí statické metody (Petyniak, 2014) v souřadnicovém systému S–JTSK. Vřícovací body byly zaměřeny v lokálním souřadnicovém systému, a pomocí výpočtu pro převod souřadnic převedeny do souřadnic S–JTSK.



Obr. 9 Vřícovací bod

#### 4.1.2 Snímkování

Snímkování proběhlo 6. 4. 2018 pomocí bezpilotního zařízení DJI Phantom 4 Pro a provedl jej vedoucí práce. Snímkování proběhlo kolem 12:00, kdy byly vyhovující povětrnostní i světelné podmínky a pouze vysoká oblačnost. Každý meandr byl snímkován zvlášť, byly tedy provedeny dva lety. Oba lety trvaly přibližně 15 minut. V tabulce 1 se nachází parametry nastavení snímkového letu, parametry byly u obou snímkových letů nastaveny stejně. Správné nastavení parametrů výšky letu, měřítka snímku, prostorového rozlišení snímku a délky základny mezi středy snímků je velmi důležité pro získání přesných snímků (Miřijovský, 2013). Důležité parametry byly nastaveny vedoucím práce podle charakteristik snímkaných oblastí. Pro zachycení objektů na snímku je velmi důležité správně nastavit prostorové rozlišení snímku (Ground Sample Distance – GSD), které určuje skutečnou vzdálenost v terénu, která je na snímku vyjádřena jedním pixelem (Miřijovský, 2013). Podle Comer et al. (1998, in Miřijovský 2013) musí být objekt na snímku 4–9× větší, než je hodnota GSD, aby bylo možné jej identifikovat. V tomto případě byla hodnota prostorového rozlišení nastavena na 1,9 cm/px, aby bylo možné co nejpřesněji identifikovat hrany břehů a říční dřevo v korytě meandru.

Tab. 1 Parametry snímkového letu

	<b>Hynkovský meandr</b>	<b>Kenický meandr</b>
Rychlost letu	4,8 m/s	4,8 m/s
Výška letu nad povrchem	71 m	71 m
Prostorové rozlišení	1,9 cm/px	1,9 cm/px
Podélný překryv snímků	80 %	80 %
Příčný překryv snímků	65 %	65 %
Snímkovaná oblast	6,32 ha	7,22 ha
Počet snímků	125	141

### 4.1.3 Přístroje

V oblasti Kenického meandru se po předchozích výzkumech vyskytovaly měřicí přístroje, které stále snímaly, takže je bylo potřeba vyzvednout a zkontrolovat jejich stav. Levelogger (obr. 10) se nacházel přímo v Kenickém meandru poblíž příčného profilu č. 2, kam byl umístěn Petyniakem na jaře 2013. Přístroj byl uložen v kovové tyči, ve které se měla udržovat stejná hladina jako okolní voda. Přístroj pravděpodobně již delší dobu neměřil, jelikož byl v tyči pouze nános hustého bláta.



Obr. 10 Levelogger

Následně byly vyzvednuty barologger (obr. 11) a srážkoměr (obr. 12), které byly umístěny na zahradě rodinného domu v Hynkově. Barologger byl umístěn pod střechou boudy, na první pohled byl bez závad. Srážkoměr byl plný malých nečistot a jeho síťka byla porušena.



Obr. 11 Barologger



Obr. 12 Srážkoměr

Bohužel žádný z přístrojů již delší dobu neměřil a data z nich nebylo možné získat. Na základě domluvy s vedoucím práce nebyly přístroje využity.

#### **4.1.4 Měření příčných profilů v Kenickém meandru**

Příčné profily byly měřeny dvěma způsoby – totální stanicí a sonarem. Měření pomocí totální stanice bylo využito k měření profilů, ve kterých se nenacházelo žádné nebo takové množství vody, do kterého bylo možné vstoupit. Sonar byl použit na měření hlubších profilů, kde by nebylo bezpečné vodou projít.

##### **Měření příčných profilů pomocí totální stanice**

První měření proběhlo 29. 1. 2020, kdy byly zaměřeny profily č. 0, 1, 2 a 3. Při měření byla použita totální stanice zorientovaná do souřadnicového systému S-JTSK pomocí dvou bodů označujících profil č. 2. Následně byl v totální stanici zvolen způsob vytyčování po linii určené dvěma krajními body profilu. Během práce s tímto módem je uživatel navigován, aby byly vytyčené body umístěné na linii profilu. U profilů s nižší hladinou vody byla použita maximální odchylka od linie 5 cm, v profilech s tekoucí vodou byla maximální odchylka 10 cm. Měření probíhalo přibližně po jednom metru, v případě výrazné změny terénu častěji.

V profilech č. 2 a 3 se v době měření téměř nenacházela voda. Pro profily č. 0 a 1, které jsou v hlavní části koryta, bylo vytvořeno nové stanoviště totální stanice vycházející z předchozího stanoviště. V těchto profilech bylo v nejhlubších místech okolo 1,3 metru vody.

Kvůli vysokému stavu hladiny nebylo pro další profily možné využít stanoviště u profilu č. 2 ve vnitřní části meandru. Proto bylo vytvořeno nové stanoviště na přilehlé louce, jehož souřadnice byly zjištěny protínáním dvou bodů zaměřených pomocí GPS přijímače. Od tohoto bodu byly odvozeny body stanovištěk pro profily č. 5 a 6, ze kterých byla následně odvozena stanovištěk pro zbývající profily. Všechna nově určená stanovištěk se nacházela ve vnější části meandru, což umožnilo zaměření profilů i při vyšších hladinách vody.

Profil č. 6 byl 14. 3. 2020 zaměřen pouze pomocí totální stanice. Dále byly profily č. 10 a 12 zaměřeny pomocí totální stanice 28. 3. 2020.

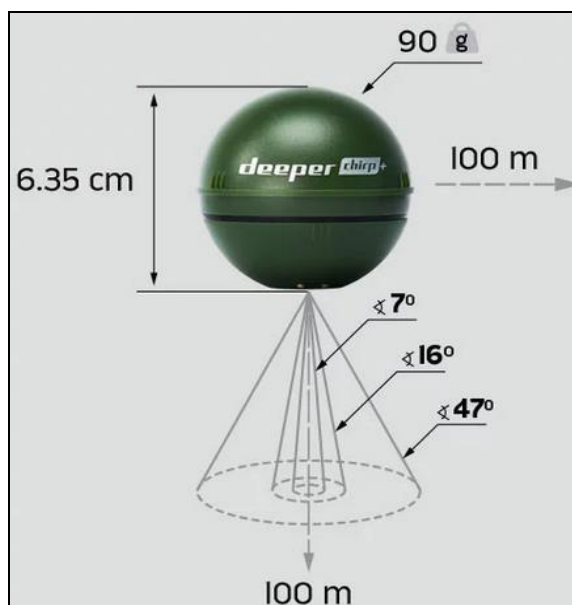
### Měření příčných profilů pomocí sonaru

Druhý způsob měření proběhl pomocí sonaru Deeper Smart Sonar CHIRP+ (obr. 13), který má vestavěnou GPS. Sonar je technologie, která využívá pulsy zvukových vln, které prochází vodou směrem ke dnu. Když puls narazí na objekt nebo dno, odrazí se zpět k povrchu. Sonar odraz zaznamená a zjistí, v jaké hloubce se objekt nachází. Takto je každou sekundu vysláno několik pulsů. (Deeper, 2020b)

Sonar CHIRP+ využívá technologii CHIRP (Compressed High Intensity Radiated Pulse), což je kompresovaný radarový puls s vysokou intenzitou, který vysílá nepřetržitý tok nízkých až vysokých frekvencí a následně jednotlivě frekvence vyhodnotí. Díky technologii CHIRP je přesnost určení hloubky vysoká v hloubkách od 15 cm až do 100 m. Frekvence skenování je až 15 pulsů za sekundu. Pro zjištění hloubky lze využít tři typů paprsků:

- široký úhel ( $47^\circ$ ),
- střední úhel ( $16^\circ$ ),
- úzký úhel ( $7^\circ$ ). (Deeper, 2020a)

Sonar má čtyři režimy skenování. Jsou jimi standardní (Standard), lov na dírkách (Ice Fishing), lov ze člunu (Boat) a lov ze břehu s GPS (Onshore GPS).



Obr. 13 Technické parametry sonaru Deeper Smart Sonar CHIRP+ (Deeper, 2020a)

Při měření je sonar položen do vody a propojen s aplikací *Fish Deeper* na mobilním telefonu. Po spuštění probíhá nahrávání kontinuálně, i pokud se sonar nepohybuje. Během snímání lze na obrazovce aplikace pozorovat průběh dna. Data je možné stáhnout z platformy na správu získaných dat *Deeper Lakebook* ve formátu .csv pouze při měření v módech Boat a Onshore GPS.

Na webových stránkách sonaru Deeper je doporučeno pro batymetrické skenování použít širokoúhlý nebo střední paprsek. Úzký paprsek je velmi citlivý na vlny a vítr a v těchto podmínkách může snímat nepřesně. (Deeper, 2020c)



Samotné měření sonarem probíhalo v kombinaci s totální stanicí, kterou byly změřeny body mimo vodní koryto a v korytě tam, kam bylo možné vstoupit. Následně bylo totožné místo zaměřeno pomocí totální stanice i sonaru, aby bylo možné určit, kde začíná měření pomocí sonaru. V případech, kdy to terén dovozoval, bylo zaměřeno i místo posledního měření sonarem. U těchto bodů byla vždy použita hodnota hloubky naměřená totální stanicí. Sonar byl připevněn na tenkém laně, které bylo napnuto přes profil (obr. 14). Sonar měřil po dobu 30 sekund a poté byl posunut o 1 metr dále. Tímto způsobem byly měřeny profily:

- profily č. 4 a 5 dne 15. 3. 2020,
- profil č. 7 dne 21. 3. 2020,
- profily č. 8 a 9 dne 22. 3. 2020,
- profily č. 11 a 13 dne 28. 3. 2020.



Obr. 14 Měření příčného profilu pomocí sonaru

### Ověření přesnosti sonaru

Přesnost měření sonaru byla ověřena z důvodu kvantifikace chyby měření. Testování proběhlo v jedné ze zátok přírodního koupaliště Poděbrady nacházejícího se severně od Olomouce kombinací měření jednoho místa pomocí GPS přijímače a následně dvěma módy sonaru – Boat a Onshore GPS. Každé měření sonarem trvalo přibližně 20 sekund. Jelikož sonar měří hloubku a GPS přijímač nadmořskou výšku, musela být určena nadmořská výška hladiny, což bylo provedeno na čtyřech místech podél zátoky pomocí GPS přijímače. Následně byl vypočítán průměr těchto hodnot, který byl považován za nadmořskou výšku hladiny. Celkem bylo ověření přesnosti sonaru provedeno na osmi místech v zátoce.

Tab. 2 Hodnoty měření přesnosti sonaru v porovnání s hodnotami získanými z GPS měření

nadmořská výška hladiny	214,321 m n. m.
-------------------------	-----------------

Bod	Hloubka změřená GPS [cm]	Hloubka změřená sonarem [cm]		Rozdíl GPS - sonar [cm]	
		mód Boat	mód Onshore	GPS - Boat	GPS - Onshore
1	61,875	59,291	58,942	2,584	2,933
2	70,675	73,966	73,552	-3,291	-2,877
3	95,375	96,723	95,679	-1,348	-0,304
4	116,775	117,561	118,363	-0,786	-1,588
5	110,275	111,775	112,662	-1,500	-2,387
6	116,675	117,451	118,431	-0,776	-1,756
7	105,875	107,808	107,922	-1,933	-2,047
8	90,775	96,441	97,020	-5,666	-6,245
<b>průměrný rozdíl</b>				<b>-1,59</b>	<b>-1,78</b>
<b>průměrná RMSE</b>				<b>2,707</b>	<b>2,989</b>

V tabulce 2 jsou uvedeny výsledné hodnoty změřené hloubky pomocí GPS přijímače a dvou módů sonaru. Přesnější hodnoty vzhledem k GPS hodnotám vykazuje mód Boat, u kterého je rozdíl -1,59 cm. Měření módem Onshore vykazuje rozdíl -1,78 cm. Při srovnání RMSE (Root Mean Square Error) vychází lépe také mód Boat, u kterého je chyba 2,7 cm, mód Onshore má chybu 3 cm. Přesnost použitého GPS přijímače Trimble R4 je ve vertikálním směru při RTK metodě 15 mm + 1ppm RMS (Trimble, 2015). Vzhledem k lepším hodnotám téměř všech měřených bodů a lepší celkové hodnotě průměrného rozdílu i RMSE byl k měření příčných profilů v Kenickém meandru použit mód Boat s RMSE 2,7 cm.

## 4.2 Zpracování dat

Všechna primární data získaná měřeními v terénu, i sekundární data z ostatních výzkumů, musela být zpracována do požadované formy pro zjištění výsledků. Zpracování bylo provedeno v několika programech podle charakteristiky dat.

### 4.2.1 Tvorba ortofotomozaiky v programu Agisoft PhotoScan

Před samotným zpracováním snímků byly vedoucím práce provedeny úpravy v jasů a kontrastu barev na snímcích v programu Adobe Lightroom. Poté byly snímky uloženy do formátu JPEG pro další použití. Zpracování snímků z leteckého snímkování bylo provedeno v programu Agisoft PhotoScan 1.4.3. Byl použit návod na zpracování snímků do podoby ortofotomozaiky dostupný na webových stránkách programu (Agisoft, 2019). Snímky byly zpracované metodou SfM (Structure from Motion), která kombinuje výhody stereofotogrammetrických metod a metod průřezové fotogrammetrie (Mířijovský, 2013). Souřadnice vřícovacích bodů byly převedeny do potřebné struktury zápisu a do souřadnicového systému WGS84, což bylo provedeno pomocí online konvertoru souřadnicových systémů epsg.io. Následně byl proveden postup podle návodu:

- a) *Add Photos* – vřícení snímků ve formátu JPEG,
- b) *Align Photos* – zarovnání snímků, *Accuracy: High, Generic Preselection*,
- c) *Place Markers* – umístění vřícovacích bodů,
- d) *Input Marker Coordinates* – vřícení souboru se souřadnicemi vřícovacích bodů,
- e) *Optimize Camera Alignment* – nastavení parametrů optimalizace kamery,
- f) *Build Dense Point Cloud* – tvorba mračna bodů, *Quality: Medium, Depth filtering: Aggressive*,
- g) *Classify Ground Points* – klasifikace mračna bodů na body země a ostatní body (tvorba DMR se provede přesněji z bodů kategorie země),
- h) Odstranění bodů pod terénem nebo nad terénem označených jako země, které nepatří do této kategorie (body by způsobily nesprávné vytvoření DMR vedoucí k deformaci ortofotomozaiky),
- i) *Build DEM* – tvorba DMR, *Source Data: Dense Cloud, Interpolation: Enabled*,
- j) *Build Orthomosaic* – tvorba ortofotomozaiky, *Surface: DEM, Blending Mode: Mosaic*,
- k) *Export Orthomosaic* – export ortofotomozaiky, *Coordinate System: S-JTSK, Pixel Size: 0,02 m, formát: TIFF*.

Při tvorbě ortofotomozaiky je důležitou částí správné umístění vřícovacích bodů a zásadní je hodnota RMSE. Při umístování bodů je důležité hodnotu RMSE sledovat a případně umístění nejasných bodů upravit nebo některé nezahrnout. Tato situace nastala u umístování vřícovacích bodů při tvorbě ortofotomozaiky Kenického meandru. Body nacházející se v lese nebyly při automatickém zarovnání snímků metodou SfM dobře identifikovatelné a program je nebyl schopen detekovat. Hlavní příčinou byly různě orientované stromy na snímcích s převahou stromů. Pokud se body nacházely pouze na třech snímcích, program nebyl schopný je správně určit, a proto vznikaly odchylky v umístění bodů. Nakonec byly tři body vyříceny z výpočtu a konečná RMSE byla 5 cm. U Hynkovského meandru problém nenastal a byly zahrnuty všechny vřícovací body. Výsledná chyba byla 5,9 cm.

## 4.2.2 Zpracování historických map a leteckých snímků

Pro tvorbu břehových linií všech sledovaných lokalit byly použity historické mapy a letecké snímky. Petyniak (2014) uvádí, že další metodou sledování historického průběhu řek je analýza z půdních vzorků. Tato metoda je velmi drahá, technologicky náročná, ale přesnější než analýza leteckých snímků, která je mnohem jednodušší a pro účely práce dostačující, jak uvádí Petyniak (2014) a další autoři (např. GREŠKOVÁ, 2002; CONSTANTINE, DUNNE 2008; CAMPOREALE et al., 2009; CITTERIE, PIÉGAY, 2009; MICHELI, LARSEN, 2010; CONSTANTINE et al. 2010b; DIERAS, 2013 in Petyniak, 2014).

Tab. 3 Použité historické mapy a letecké snímky

Název	Rok	Měřítko	Zdroj
II. vojenské mapování	1836	1 : 28 800	<a href="https://geoportal.gov.cz/web/guest/wms/">https://geoportal.gov.cz/web/guest/wms/</a> - Národní geoportál INSPIRE
III. vojenské mapování	1874	1 : 25 000	<a href="http://www.chartae-antiquae.cz/cs/maps/3military25">http://www.chartae-antiquae.cz/cs/maps/3military25</a> - Virtuální mapová sbírka
Letecký snímek 1938	1938	1 : 22 500	Správa CHKO Litovelské Pomoraví
Letecký snímek 1954	1954	1 : 25 000	KGI (zakoupeno z VGHMÚř)
Letecký snímek 1971	1971	1 : 40 000	KGI (zakoupeno z VGHMÚř)
Letecký snímek 1985	1985	1 : 27 000	KGI (zakoupeno z VGHMÚř)
Letecký snímek 1994	1994	1 : 26 710	KGI (zakoupeno z VGHMÚř)
Letecký snímek 2003	2003	1 : 23 000	KGI (zakoupeno z VGHMÚř)
Letecký snímek 2006	2006	1 : 23 000	KGI (zakoupeno z VGHMÚř)
Letecký snímek 2014	2014	7 cm/px	KGI (pořízeno vedoucím práce)
Letecký snímek 2015	2015	11 cm/px	KGI (pořízeno vedoucím práce)
Letecký snímek 2016	2016	10 cm/px	KGI (pořízeno vedoucím práce)
Letecký snímek 2017	2017	8 cm/px	KGI (pořízeno vedoucím práce)
Letecký snímek 2018 (Kenický a Hynkovský meandr)	2018	1,9 cm/px	KGI (pořízeno vedoucím práce)
Letecký snímek 2018 (Štěpánovská nátrž)	2018	4 cm/px	KGI (pořízeno vedoucím práce)
Letecký snímek 2020	2020	5 cm/px	KGI (pořízeno vedoucím práce)

Většina map a snímků, často dostupných online, již byla umístěna v souřadnicovém systému. Pouze snímek z roku 1954 musel být před tvorbou analýz georeferencován do souřadnicového systému S-JTSK. Parametry georeferencování byly nastaveny stejně jako měl ve své diplomové práci Petyniak (2014). V programu ArcMap byl použit nástroj *Georeference* a jako referenční vrstva byla použita WMS služba Ortofoto od ČÚZK. Body, podle kterých se snímek transformoval, byly vybírány tak, aby se nacházely v místech, která se do současnosti nezměnila. Zároveň bylo umístění bodů co nejrovnoměrnější na celém snímku. Byly použity například rohy budov nebo křižovatky silnic. Byla použita afinní transformace, pro kterou je potřeba mít minimálně

4 dvojice bodů. Výsledná RMSE měla hodnotu 0,413 m. Nakonec byl snímek uložen rektifikací převzorkováním nejbližším sousedem a bezztrátovou kompresí. V tabulce 3 se nachází výčet všech použitých dat pro tvorbu a analýzu břehových linií, údaje o měřících a zdrojích některých snímků byly převzaty z prací Petyniaka (2014) a Purketa (2015).

### 4.2.3 Tvorba břehových linií

Ze všech snímků uvedených v tabulce 3 byly vytvořeny břehové linie tří zájmových oblastí. Břehové linie z některých sledovaných let byly vytvořeny v pracích Petyniaka (2014) a Purketa (2015) a následně byly využity pro analýzy. Ostatní břehové linie byly digitalizovány v rámci diplomové práce, konkrétně:

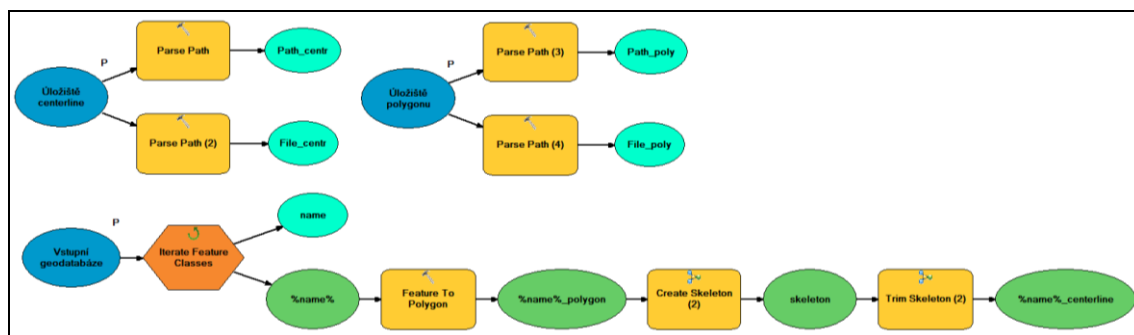
- Kenický meandr – 2016, 2017, 2018, 2020,
- Hynkovský meandr – 1836, 1874, 1938, 1954, 2016, 2017, 2018, 2020,
- Štěpánovská nátrž – 1836, 1874, 1938, 1954, 2016, 2017, 2018, 2020.

Celkem bylo pro analýzy použito 14 časových období v průběhu let 1836 až 2020. Samotná digitalizace břehové linie probíhala v programu ArcMap za použití editačního nástroje, kdy byla tvořena nová linie podle podkladové mapy nebo leteckého snímku. Co nejpřesněji byla zachycena hrana mezi korytem řeky a břehem. V některých případech, kdy ji překrývaly koruny stromů, docházelo k odhadům linie koryta. Především u nánosových břehů, kde není ostrá hranice mezi břehem a korytem, musela být linie odhadnuta podle nánosů písků nebo přítomnosti vegetace. S tímto problémem se potýkali Petyniak (2014) a Purket (2015), kteří zmiňují, že v některých místech je nemožné přesně odhadnout průběh linie a řešením je udělat spojnicí mezi dvěma známými body a linií neznámými místy vést v podobném charakteru. Dalším problémem bylo odlišné roční období při pořizování snímků, některé jsou z léta s olistěnými stromy, jiné ze zimního období, což ovlivňuje nejen stav vegetace, ale také stav vodní hladiny. Různé měřítko map a rozlišení snímků také ovlivnily přesnost výsledné břehové linie. Nejstarší mapy II. a III. vojenského mapování jsou nejméně přesné, proto lze očekávat největší chybu při digitalizaci břehových linií. Obdobně nejstarší letecké snímky jsou méně přesné, u novější snímků, především od roku 2014 se přesnost zvyšuje. Břehové linie z novějších snímků s větším rozlišením byly digitalizovány v měřítku 1 : 500. Ze starších snímků proběhla digitalizace v měřítku 1 : 1 500.

### 4.2.4 Modely

Pro zvýšení efektivity práce a možnost uplatnění stejného postupu tvorby v navazujícím výzkumu byly vytvořeny tři modely pomocí nástroje ModelBuilder v programu ArcMap. Prvním modelem je vytvořena středová linie, tzv. centerline, z digitalizovaných břehových linií. Druhý model slouží k výpočtu sinuosity středové linie a třetí model vytvoří plochy akumulace a eroze mezi dvěma polygony ze dvou časových období.

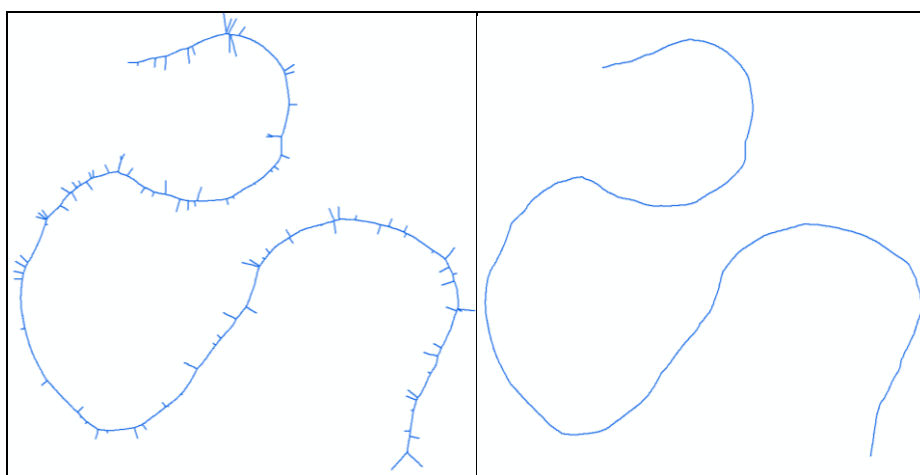
Model s názvem *1\_Centerline* (obr. 15) slouží k vytvoření středové linie břehových linií. Před spuštěním modelu musí být dvě břehové linie vytvořené v předchozím kroku manuálně „uzavřeny“ na obou koncích linií, aby bylo možné z nich vytvořit polygon. Uživatel vybere geodatabázi se všemi vrstvami, pro které chce centerline vytvořit, a model díky nástroji *Iterate Feature Classes* provede celý proces pro všechny vrstvy geodatabáze.



Obr. 15 Model s názvem *1\_Centerline*

Dalším krokem je tvorba polygonu nástrojem *Feature to Polygon*. Následující dva kroky jsou provedeny pomocí toolboxu *Polygon to Centerline Tool for ArcGIS* (Dilts, 2015). Toolbox obsahuje dvě funkce. První je funkce *Create Skeleton*, kdy se vytvoří kostra polygonu pomocí metody Thiessen polygon. Druhá funkce *Trim Skeleton* upraví kostru tak, aby výsledkem byla středová linie bez menších linií, které vystupují z hlavní středové linie (obr. 16). Po tomto kroku bylo přesto nutné v některých případech manuálně vymazat menší linie a zachovat pouze hlavní linii, která charakterizuje koryto. Očištěná středová linie musí být funkcí *Merge* spojena, aby byla sinuositá v dalším modelu vypočítána pro celou délku koryta.

Samostatná část modelu s nástrojem *Parse Path* je vložena pro zjednodušení ukládání dat, kdy uživatel zadá pouze úložiště výsledných vrstev. Nástroj zadanou cestu úložiště rozdělí na části, aby bylo možné výstupy hromadně uložit pod specifikovaným názvem. Tento postup byl využit i v dalších modelech.



Obr. 16 Výsledek funkce *Create Skeleton* (vlevo) a *Trim Skeleton* (vpravo)

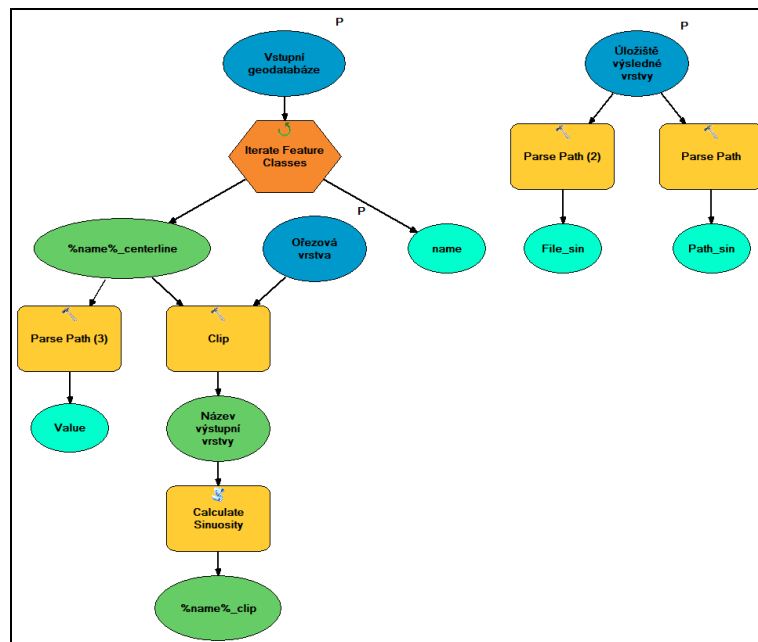
Nyní bylo možné stanovit délku koryta sledovaného zájmového území z hodnot středové linie (centerline). Je potřeba stanovit dvě referenční místa, začátek a konec úseku, aby bylo měřené území stejné pro všechny sledované roky pro možnost porovnání a zjištění změny. Dělení území Kenického meandru bylo provedeno podle Petyniaka (2014), který určil příčné profily č. 1 a č. 11 jako hraniční pro úsek hlavní části meandru. Na území Hynkovského meandru bylo následováno rozdělení Purketa (2015), který vytvořil vodící linie nacházející se na konci hlavní části meandru. V oblasti Štěpánovské nátrže bylo zájmové území určeno dostupnými daty podle nejkratší linie v roce 2015.

Druhý model provádí výpočet sinuosity, která vyjadřuje odchylku toku od přímého směru. Jedná se o poměr délky koryta k délce údolí nebo sklonu údolí ke sklonu koryta (Schumm, 1985). Sinuosita je poměr mezi délkou koryta mezi dvěma body a přímou spojnici těchto dvou bodů (obr. 17). Hodnoty sinuosity se nejčastěji pohybují od 1 do 3, čím vyšší je hodnota, tím více řeka meandruje (Schumm, 1985).

$$\text{Sinuosity Ratio} = \frac{\text{distance along stream between two points}}{\text{straight line distance between the two points}}$$

Obr. 17 Vzorec výpočtu sinuosity (Collin College, 2017)

Pro praktický výpočet sinuosity je důležité určit linie, které ohraničují zájmové území. V tomto případě bylo použito pro každou oblast stejné zájmové území jako pro výpočet délky centerline. Model *2\_Sinuosita* (obr. 18) je vytvořen pro vstupní data ve formě geodatabáze, prvním nástrojem je *Iterate Feature Classes*, který zajistí spuštění modelu pro všechny vrstvy v geodatabázi. Vstupními daty jsou v tomto případě centerline vytvořené v předchozím modelu. Důležitým krokem je zajištění stejného úseku pro všechna časová období. Proto je použit nástroj *Clip*, který podle ořezové vrstvy ořeže všechny linie tak, aby byly ukončeny ve stejném místě. Druhým nástrojem je *Calculate Sinuosity*, který vypočítá sinuositu pro zájmové území. Byl použit Python skript, který je zveřejněný na webových stránkách ArcGIS Pro jako příklad Python toolboxu (Esri, 2019). Skript vytvoří v atributové tabulce vrstvy nové pole s názvem *sinuosity* a její hodnotou.



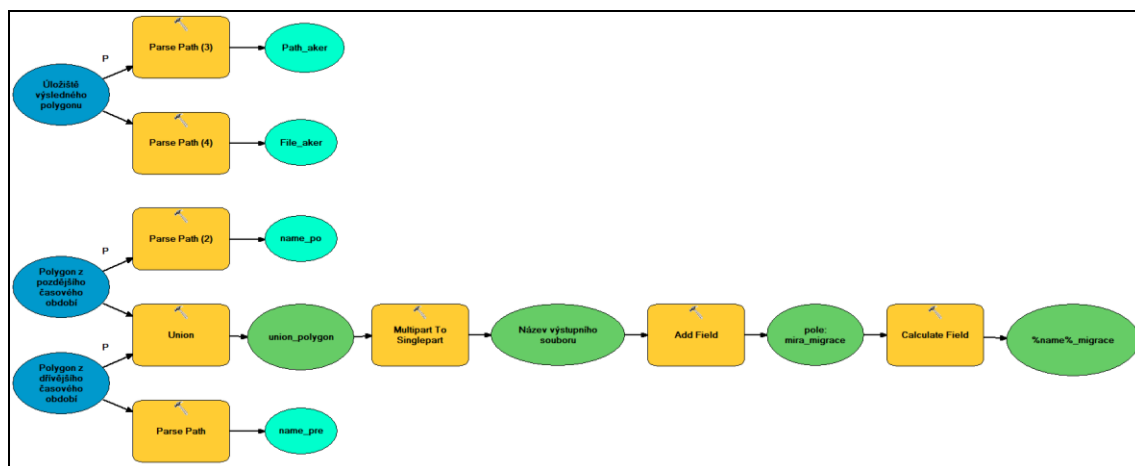
Obr. 18 Model s názvem *2\_Sinuosita*

Jediným problémem Python skriptu na výpočet sinuosity je chyba na konci skriptu, která způsobuje nesprávné výsledky. Chyba je ve zvýrazněné části skriptu:

```
import math
def getSinuosity(shape) :
length = shape.length
d = math.sqrt((shape.firstPoint.X - shape.lastPoint.X) ** 2 +
(shape.firstPoint.Y - shape.lastPoint.Y) ** 2)
return d/length
```

Podíl by měl být naopak, a vypadat takto: **return length/d**. Správnost výpočtu byla ověřena experimentálně, kdy byl výpočet proveden manuálně pro několik různých časových období. Proto byl v Python skriptu výpočet upraven a skript byl přidán do modelu. Výsledkem modelu *2\_Sinuosita* je hodnota sinuosity pro všechna časová období ve sledovaném úseku.

Třetí model *3\_Akumulace\_Eroze* slouží k určení ploch, kde mezi dvěma obdobími proběhla akumulace a eroze půdy (obr. 19). Z hodnot je možné určit míru migrace nebo převažující vývojový proces. Model pracuje se dvěma polygony, s polygonem z dřívějšího a polygonem z pozdějšího časového období.



Obr. 19 Model s názvem *3\_Akumulace\_Eroze*

Tento model musí být použit opakovaně, vždy pro dvě různá časová období, protože je potřeba určit, které období je dřívější a které pozdější. Je použit nástroj *Union*, který obě vrstvy spojí, následně nástroj *Multipart to Singlepart* rozdělí vrstvu na jednotlivé polygony, čímž je možné zjistit velikosti polygonů eroze a akumulace. Poslední částí modelu je výpočet míry migrace, která je podílem plochy (eroze nebo akumulace) a poloviny jejího obvodu (Micheli, Larsen, 2011) a vyjadřuje střední míru migrace v dané ploše (Petyniak, 2014). Pro výpočet je nutné vytvořit nové pole (*Add Field*) a nástrojem *Calculate Field* vypočítat míru migrace pro jednotlivé polygony. Míra migrace je vypočítána jako  $[Shape\_area] / ([Shape\_length] / 2)$ .



#### 4.2.5 Zpracování dat vodního stavu na jezu Hynkov

Data o vodním stavu na jezu Hynkov byla poskytnuta Odborem ochrany Magistrátu města Olomouce. Jez Hynkov slouží pro rozdělení vody do dvou ramen – hlavního ramene Moravy a Střední Moravy, jinak nazývané Mlýnský potok (Žerníčková, 2012). V roce 2001 byla na jezu zřízena automatizovaná sonda jako součást protipovodňových opatření, především kvůli povodním v roce 1997 (Petyniak, 2014). Sonda měří výšku hladiny, průtok a teplotu vody. Manipulační řád jezu (obr. 20) nařizuje, jak má být průtok vody rozdělován do hlavního ramene a do Střední Moravy (Petyniak, 2012). Podle manipulačního řádu dochází ke „schválenému dělení vod, které umožňuje průběžně zvyšovat průtok do obou ramen se zvyšujícím se přítokem z jezu“ (Žerníčková, 2012). Sledování hodnot průtoků a výšky hladiny je důležité nejen pro dostatečné množství vody, ale také z hlediska její jakosti, jelikož nízký stav vody může mít negativní vliv na podmínky pro život vodních organismů (Žerníčková, 2012). Z manipulačního řádu vyplývá, že při nadmořské výšce hladiny 222,64 m n. m. začíná voda samovolně přepadat přes hranu jezu. Tato hodnota je jednou z charakteristik, na kterou bylo zpracování dat zaměřeno a bylo zjištěno, ve kterých dnech byla hranice překročena.

Kóta hladiny nad jezem m n. m.	Přítok k jezu $\text{m}^3\text{s}^{-1}$	Průtok do Střední Moravy $\text{m}^3\text{s}^{-1}$	Průtok do Moravy $\text{m}^3\text{s}^{-1}$	Otevření stavidla
221,30 (práh)	0,2	0,2	0	30 cm (volná hladina)
221,40	0,45	0,25	0,2	
221,50	0,9	0,4	0,5	
221,60	1,6	0,7	0,9	
221,70	2,7	1,0	1,7	30 cm
221,80	3,3	1,3	2,0	
221,90	3,9	1,6	2,3	
222,00	4,5	2,0	2,5	
222,10	5,4	2,7	2,7	
222,20	6,9	4,0	2,9	
222,30	8,1	5,0	3,1	
222,40	9,6	6,3	3,3	
222,50	11,5	8,0	3,5	
222,60	13,4	9,8	3,6	
222,64	14,6	10,9	3,7	30 cm, voda začíná přepadat přes pevnou hranu jezu
222,70	16,9	12,5	4,4	30 cm
222,80	21,4	15,0	6,4	30 cm + voda stoupá, stavidlo se vyhradí na 50 cm
222,75	21,4	13,8	7,6	50 cm
222,80	23,7	15,0	8,7	
222,90	29,2	17,5	11,7	50 cm + voda stoupá, vyhradí se zcela
222,84	29,2	15,7	13,5	zcela vyhrazeno
222,90	34,0	17,5	16,5	
223,00	42,9	20,0	22,9	
223,50			50,0	začátek rozlivů na Střední Moravě
223,76 (břeh)				

Obr. 20 Rozdělení průtoků do Moravy a do Střední Moravy na jezu Hynkov dle manipulačního řádu z roku 2005 (Petyniak, 2012)

Data z automatizované sondy byla poskytnuta pro období od konce dubna 2001 do konce roku 2018. Hodnoty byly poskytnuty v dokumentu Microsoft Word, odkud byly kopírovány do programu Microsoft Excel, kde byly následně zpracovány. Data obsahovala hodnoty minima, maxima a průměru výšky hladiny v metrech, nadmořské výšky hladiny a průtoku v m<sup>3</sup>/s. Hodnoty průtoku bohužel nebylo možné zpracovat, protože se během celého sledovaného období střídalo pouze několik hodnot, nejčastěji hodnoty 9,35 a 9,46 m<sup>3</sup>/s. Proto bylo zpracování zaměřeno na hodnoty výšky hladiny. Kromě výšky hladiny byly zjištěny povodňové stavy na jezu od roku 2014. V tabulce 4 se nachází hodnoty vodního stavu při SPA (stupeň povodňové aktivity) podle evidenčního listu hlásného profilu stanice Hynkov (ČHMÚ, 2020). Do roku 2014 proběhla analýza vodních stavů v práci Petyniaka (2014), proto byly nyní zpracovány roky 2014 až 2018. Výsledky zpracování jsou uvedeny v kapitole 5.2.

Tab. 4 Hodnoty vodního stavu při SPA na jezu Hynkov

SPA	SPA I	SPA II	SPA II
Vodní stav [cm]	210	230	260

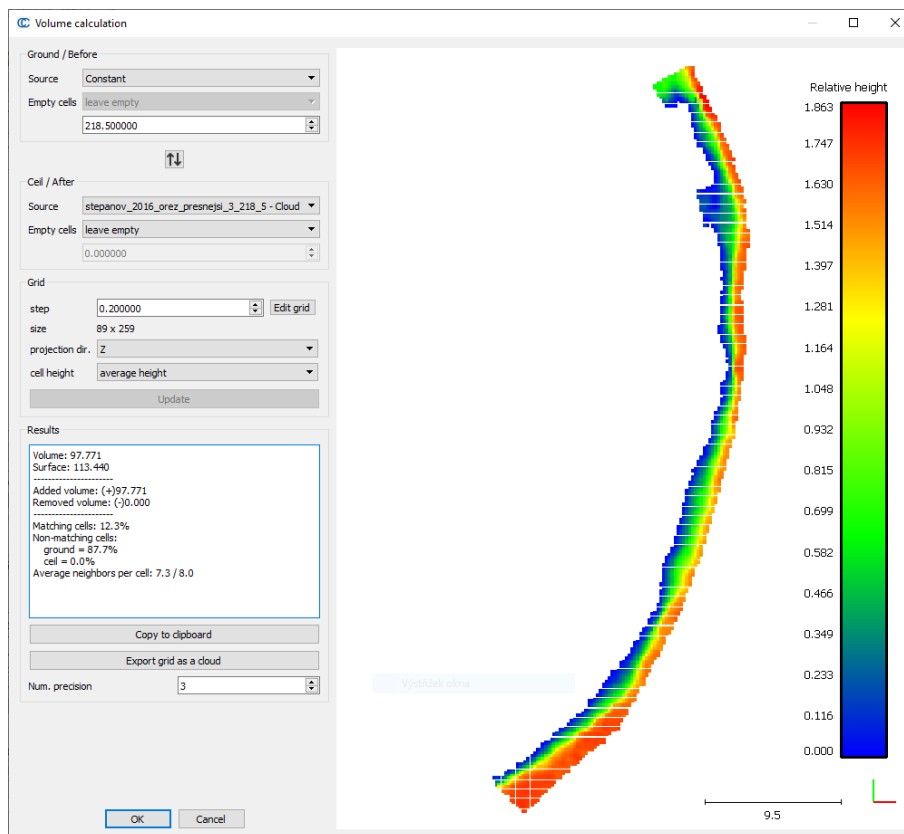
#### 4.2.6 Výpočet úbytku objemu materiálu Štěpánovské nátrže

V programu CloudCompare verze 2.10.2 byla zpracována mračna bodů z oblasti Štěpánovské nátrže. Data z let 2016 a 2017 byla poskytnuta vedoucím práce. Účelem srovnání bylo zjistit vzdálenost posunu nátrže v konkrétních místech za jeden rok a spočítat, jaký byl objem erodované půdy. Postup zpracování byl dodržen podle Zedníčkové (2017).

Prvním krokem zpracování dat bylo ořezání mračen bodů na stejnou oblast, aby mohla být data porovnána. Krok byl proveden nástrojem *Segment*. Následně byla využita funkce *Cross Section*, kde byla nastavena požadovaná minimální nadmořská výška, která zajistila, že se v analyzované části nenacházely žádné body vodní hladiny. Hodnota byla nastavena na nadmořskou výšku 218,5 m n. m. Poté byla provedena registrace neboli přesné ztotožnění modelů pomocí funkce *Fine Registration (ICP)*. Funkce vyžaduje jeden z modelů označit jako referenční a druhý je transformován, aby co nejvíce odpovídal referenčnímu modelu. Jako referenční byl nastaven starší model z roku 2016. Proces iterace byl ukončen poté, co RMSE klesla pod hodnotu  $1e^{-20}$ . Parametr *Random Sampling Limit* byl nastaven na hodnotu větší, než byl počet bodů v objemnějším mračně bodů, aby neovlivnil výpočet. Po ukončení procesu je zobrazena finální hodnota RMSE.

Funkcí *Compute cloud/cloud distance* byla vypočítána vzdálenost mezi mračny bodů v jednotkách souřadnicového systému dat, v tomto případě v metrech. Opět byl nastaven referenční model (rok 2016) a porovnávaný model. Parametr *Octree level* byl nastaven na hodnotu *AUTO* a v záložce *Local modelling* byl parametr *Local model* nastaven na možnost *Quadric* (Zedníčková, 2017). Tato možnost byla vybrána především z důvodu řídkého referenčního mračna bodů, jelikož pro výpočet vzdáleností je lepší mít přesnější a hustší model (CloudCompare, 2015). Výstupem procesu jsou hodnoty střední vzdálenosti, směrodatné odchylky a vizualizace vzdáleností mračen bodů na srovnávaném modelu.

Objem materiálu je vypočítán funkcí *Compute 2.5D volume* (obr. 21) dvěma možnými postupy. Při prvním se vypočítá objem podle konstanty minimální výšky, v tomto případě 218,5 m n. m. Tento postup je proveden pro obě období a výsledkem je rozdíl vypočítaných hodnot *Added volume*. Druhou možností je srovnat obě mračna bodů mezi sebou a výsledkem je erodovaný objem půdy v parametru *Volume*. Nastavení se u obou postupů liší pouze v parametru *Ground/Before*, kde se u parametru *Source* nastaví *Constant* nebo se zvolí požadované mračno bodů. U parametru *Empty cells* je nastavena možnost *leave empty*. V nastavení *Grid* sekce je specifikován krok – *step*. Byl zvolen krok 0,2 m, menší hodnota by nepřinesla přesné výsledky v důsledku nízké hustoty mračna bodů. *Projection dir.* je nastaveno na osu *Z* a *cell height* na *average height*.



Obr. 21 Nastavení nástroje *Compute 2.5D volume*

## 4.2.7 Zpracování příčných profilů v Kenickém meandru

Ačkoliv měření příčných profilů proběhlo dvěma způsoby, zpracování dat bylo velmi podobné. U každého příčného profilu bylo před zpracováním dat provedeno porovnání souřadnic stabilizačních kolíků uvedených v předchozích pracích s aktuálně zaměřenými souřadnicemi. V některých případech byl příčný profil posunut z důvodu nedohledání bodu nebo špatného signálu GPS přijímače vzhledem k hustému lesnímu porostu. Proto nebylo možné některé grafy srovnat se staršími výstupy.

Při měření pomocí totální stanice byly ihned známé nadmořské výšky konkrétních bodů. Jelikož měření neprobíhalo přesně po jednom metru, byla zjištěna vzdálenost mezi jednotlivými body v profilu, aby byly body ve výsledném grafu správně umístěny. Následně byla zaměřená data převedena do bodového grafu a tento graf byl vložen do výsledného grafu zpracovaného Purketem (2015), který zpracoval grafy pro všechna období od roku 2011. Vizualizace grafů byla převzata od Petyniaka (2014), který zobrazil příčné profily v horizontálním měřítku 1 : 200 a vertikálním měřítku 1 : 100.

Zpracování příčných profilů, při kterých byl použit sonar, zahrnovalo více kroků. Při zpracování dat ze sonaru se musel nejprve převést čas z Unixového času, který je udáván v sekundách a je počítán od 1. 1. 1970 (TimeStamp Converter, 2019). Čas byl převeden pomocí JavaScript kódu v jednoduché webové stránce (obr. 22). Čas bylo nutné znát pro rozdělení záznamů jednotlivých měření, jelikož sonar ukládá data do jednoho souboru. Sonar provádí až 15 měření za sekundu, při měření po dobu 30 sekund může vzniknout až 450 záznamů. Podle rozdílu času po sobě následujících záznamů bylo možné rozdělit jednotlivá měření. Poté byl vypočítán průměr hodnot, který udával hloubku naměřenou v konkrétním místě. Výsledná nadmořská výška bodu byla vypočítána odečtem hloubky zjištěné sonarem od hodnoty nadmořské výšky hladiny změřené na obou stranách koryta. Všechny grafy a jejich slovní hodnocení jsou uvedeny v kapitole 5.4.

```
1 <!DOCTYPE html>
2 <html>
3 <body>
4
5 <h2>Převod z Unix času</h2>
6
7 <p id="prevod"></p>
8
9 <script>
10 var cas = [
11 /*záznamy ze sonaru:*/
12 1585396590705,
13 1585396590774,
14 1585396590986,
15 1585396591054,
16 ];
17 var vystup = "";
18 var i;
19 for (i = 0; i < cas.length; i++) {
20   vystup += new Date(cas[i]).getHours()+":"+ new Date(cas[i]).getMinutes()+":"+ new Date(cas[i]).getSeconds() + "<br>";
21 }
22 document.getElementById("prevod").innerHTML = vystup;
23 </script>
24
25 </body>
26 </html>
```

Obr. 22 Webová stránka pro převod času z Unixového času

## 5 INTERPRETACE VÝSLEDKŮ

### 5.1 Historický vývoj

Hodnocení vývoje fluvialních forem bylo provedeno studiem leteckých snímků a historických map, následně byly sledovány charakteristiky vývoje koryta. V části vizuálního hodnocení byl shrnut vývoj oblastí z předchozích prací, poté bylo navázáno hodnocením současného stavu od roku 2016.

V druhé části byly hodnoceny charakteristiky, které byly vypočítány pomocí modelů v programu Arcmap. Byl hodnocen vývoj délky koryta, sinuosity a hodnoty akumulace a eroze. Hodnocení charakteristik bylo provedeno od roku 1938, data z 19. století nebyla zahrnuta z důvodu zkrácení výsledků, jelikož historické mapy jsou méně přesné. Data z roku 2020 byla zpracována, ale nevstupují do finálního hodnocení. Jelikož byly snímky pořízeny po zvýšení hladiny řeky, koryto je na nich značně rozvodněné a vypočítané charakteristiky nejsou srovnatelné s předchozími. Hodnoty akumulace a eroze neodpovídají skutečné změně, velké rozdíly mezi hodnotami jsou způsobeny vyšší hladinou řeky. Projevuje se zde problém digitalizace břehových linií v jiném ročním období nebo v odlišných přírodních podmínkách. Z důvodu zkrácení dat nebyly hodnoty zahrnuty do interpretace ani do výsledných map.

#### 5.1.1 Kenický meandr

Kenickým meandrem se zabývalo velké množství výzkumů, pro popis zde byla vybrána pouze práce Petyniaka (2014), která detailně shrnuje historický vývoj oblasti. Uvádí, že první mapou zobrazující dnešní území Střední Moravy je Müllerova mapa Moravy z roku 1716. Jelikož mapa nemá geodetický základ a určený souřadnicový systém, není vhodná pro určování přesného průběhu koryta. Mapy I. vojenského mapování zachycují spojení a opětovné rozdělení tří ramen, z nichž nejvýraznější je východní rameno, které se nacházelo přibližně v místě Štěpánovské smuhy. Mapy II. vojenského mapování již mají geodetický základ a oblast Kenického meandru byla mapována v roce 1836. Střední Morava je zobrazena stejně široká jako hlavní koryto, dominantní je také náhon k hynkovskému mlýnu, pod nímž rameno meandruje. Oproti dnešnímu stavu má na mapě hlavní koryto naprosto odlišný průběh. V oblasti jižně od šije Kenického meandru se nacházela vodní plocha, ze které vycházely dva toky, z nichž menší a přímější odpovídá průběhu dnešního koryta. Na mapě III. vojenského mapování z roku 1874 mají ramena řeky podobný průběh, za hlavní koryto je považována Střední Morava. Na Hospodářské mapě revíru Střeň z roku 1878 je tok pod jezem Hynkov zakreslen napřimený, následkem bylo rychlé zahlubování a boční eroze. V mapě je tužkou zakreslena aktualizace těchto změn, kdy se rychle začaly vytvářet zákruty a rozsáhlé lavice. Je zde také zakreslen zákrut budoucího Kenického meandru. (Petyniak, 2014)

Petyniak (2014) se věnuje i popisu leteckých snímků od roku 1938, na kterém je dobře viditelná Kenická smuha, Štěpánovská smuha je v této době již neprotékaná. Kenický meandr je plně vyvinutý a dochází k jeho prodlužování, šije meandru má v nejužším místě 45 m. Na snímku z roku 1954 je viditelné zúžení šije a zvětšení poloměru zakřivení meandru. V roce 1971 lze pozorovat narovnané koryto Střední Moravy, poté došlo nejspíše k nalepšování průtoků na Střední Moravě z jezu Hynkov. Na snímku z roku 1985 lze vidět výrazné změny, které vznikly vykácením téměř celé vnitřní části meandru a části lesa na levém břehu koryta. Docházelo opět k zužování šije, což pokračovalo i na snímku z roku 1994. V roce 2003 byla šířka meandru

jen několik metrů a v roce 2006 byla v téměř stejném stavu jako v roce 2012, kdy došlo k protržení meandru. Po protržení začala nová fáze, kdy meandr začne zanikat a bude se vytvářet nové koryto. Protržením šije došlo k ovlivnění proudění, které začalo více působit na levém břehu pod šíjí v místech dříve nánosového břehu. (Petyniak, 2014)

### Vývoj po roce 2014

Po protržení šije meandru v roce 2012 v oblasti nenastaly obdobně velké změny. Na snímku z roku 2016 je viditelně rozšířené koryto v místech bývalé šije. Kenická akumulace je rozšířena směrem do hlavního koryta. Ve vnitřní části meandru nedošlo k velkým změnám, většina lavic je v podobném rozsahu. Nejviditelnější změna nastala těsně za ústím meandru na levém břehu, který je dále erodován proudem v hlavním korytě. Již Petyniak (2014) zmiňoval rychlou laterální erozi místa, které bylo dříve nánosovým břehem. Během 4 let se břeh posunul zhruba o 3 metry a celkově se koryto stočilo více vlevo (obr. 23). Také ústí z meandru se rozšířilo v důsledku změny proudění, v roce 2016 bylo širší přibližně o 4 metry.



Obr. 23 Břehová eroze na levém břehu na snímku z roku 2018 – žlutě je označena břehová linie z roku 2014 a červeně břehová linie z roku 2018

V roce 2017 došlo k pouze velmi malému rozšíření hlavního koryta v oblasti šije. Ve vstupu do bývalého meandru se zvětšila akumulace, která jej téměř zahrazuje. Ve vrcholové části meandru poblíž lesní školky došlo k rozšíření sedimentární lavice, což mohlo být také způsobeno nízkou hladinou vody, kdy byla lavice odhalena. Za vrcholem meandru před rozsáhlou lavicí byl v roce 2016 spadený strom přes koryto, do roku 2017 se sem nanoslo několik dalších větví a dřevní hmota. Největší změna opět nastala těsně pod meandrem, kde se na erodovaném levém břehu proud zařezává do břehu a vytváří břehovou nátrž v místě, kde se nachází vyvrácený strom a voda obtéká jeho kořeny. Na pravém břehu se rozšiřuje štěrkopísková lavice.

V roce 2018 nenastaly velké změny v akumulaci při vstupu do koryta, v místech bývalé šije přibýlo několik dlouhých stromů, které přehrazují téměř celé koryto. Dochází k pomalému zužování zbytků šije ve vnitřní části meandru. Výběžek šije nacházející se na pravém břehu od roku 2017 výrazně ustoupil. V korytě bývalého meandru nedošlo k výrazným změnám, přibýlo několik dalších spadených stromů, které dosahují na sedimentární lavici za vrcholem meandru. Nedošlo k velkému vývoji pod meandrem, erodovaný břeh pokračuje v mírném ústupu, největší změna nastala ve střední části vytvářené nátrže.

### Délka koryta, sinuosita

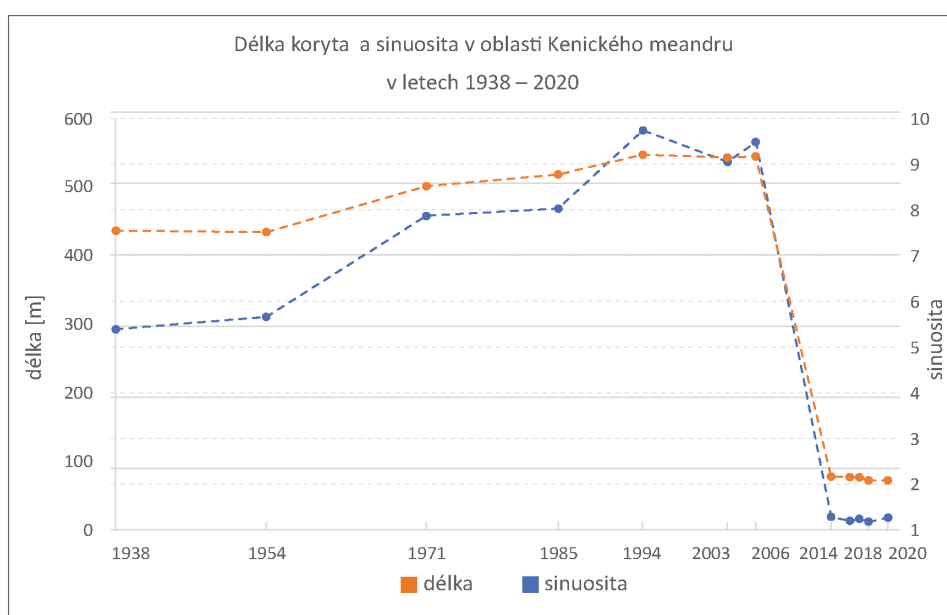
Délka koryta ve sledované oblasti Kenického meandru mezi profily č. 1 až 11 postupně stoupala až do roku 2006, kdy byla naposledy změřena délka neprotrhnutého meandru (tab. 5). Po roce 2012 délka koryta prudce klesla a od té doby se pohybuje v rozmezí hodnot 70 až 80 m. V roce 2018 se zkrátila délka koryta, což mohlo být způsobeno rozšířením koryta na pravém břehu v oblasti bývalé šíje, kde došlo k mírnému napřimění toku.

Tab. 5 Délka úseku a sinuosita v Kenickém meandru

Rok	1938	1954	1971	1985	1994	2003
Délka úseku [m]	436,8	434,5	501,4	518,4	547,2	543,0
Sinuosita	5,39	5,66	7,87	8,03	9,74	9,05
Rok	2006	2014	2016	2017	2018	2020
Délka úseku [m]	544,5	79,5	78,6	78,0	73,7	73,7
Sinuosita	9,48	1,28	1,20	1,23	1,18	1,27

Vývoj sinuosity kopíruje vývoj délky koryta, jelikož tyto charakteristiky spolu korelují (obr. 24). Oproti délce koryta je nárůst hodnoty sinuosity prudší, především mezi lety 1954 a 1971 a v období 1985 až 1994. V těchto obdobích roste hodnota sinuosity přibližně o 1 až 2 jednotky. Při hodnotách sinuosity nad 1,5 začíná řeka meandrovat. V tomto případě je úsek meandrující od začátku měření v roce 1938 a hodnota dále stoupá až do jeho protržení. Následně se hodnoty začaly pohybovat okolo 1,2, což znamená, že oblast nemeandruje.

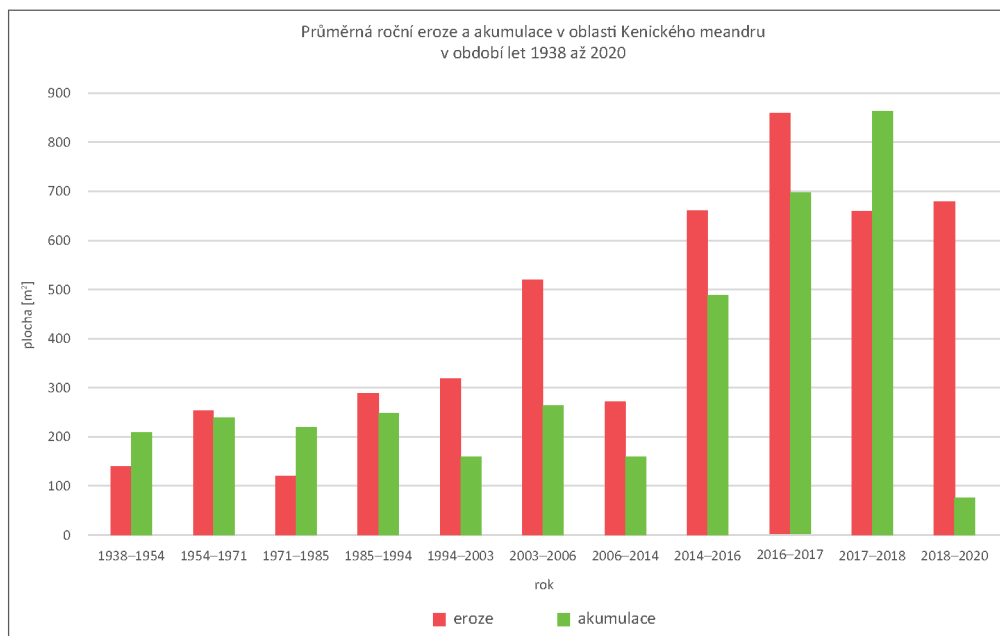
Petyniak (2014) také provedl analýzu délky koryta a sinuosity. Hodnoty není možné srovnat, jelikož pracoval s delším územím řeky a rozsah oblasti ovlivnil hodnoty charakteristik.



Obr. 24 Graf délky úseku a sinuosity v Kenickém meandru

## Akumulace a eroze

Hodnoty akumulace a eroze byly porovnány na základě průměrné roční akumulace a průměrné roční eroze (obr. 25 a tab. 6). Celkové hodnoty akumulace a eroze nejsou zanedbatelné, avšak není možné je mezi sebou porovnat, jelikož každé období je jinak dlouhé. V období let 1938–1954 převažovala akumulace materiálu o 71 m<sup>2</sup>. Došlo k rozšíření zákrutu meandru a celkově se vnitřní část meandru rozšířila. V dalším období let 1954–1971 jsou eroze s akumulací téměř v rovnováze, průměrná roční eroze byla o 16 m<sup>2</sup> vyšší, a to především v oblasti vrcholové části meandru, kdy se meandr celkově posunul východním směrem. Mezi lety 1971 a 1985 byla akumulace 1,8× větší než eroze, ve vrcholové části meandru vznikla lavice a celý meandr se opět posunul východním směrem. V období let 1985–1994 byla průměrná roční eroze mírně vyšší než akumulace, převažovala o 42 m<sup>2</sup>. Zejména v jižní části meandru došlo k prohloubení koryta a došlo k zúžení šije u ústí meandru. Mezi lety 1994 a 2003 došlo k téměř 2× vyšší erozi, šije koryta se výrazně zúžila ve vstupní části meandru. V oblasti celé délky meandru bylo koryto rozšířeno. Také v dalším období let 2003–2006 převažovala eroze, opět byla 2× vyšší. Došlo k zúžení šije na jižní straně a rozšíření koryta ve vrcholové části meandru. Mezi lety 2006 a 2014 došlo k protržení šije meandru, eroze byla o 110 m<sup>2</sup> vyšší. Došlo především k erozi v oblasti protržené šije, kde vzniklo nové koryto a k erozi levého břehu při vstupu do meandru. V období 2014–2016 převažovala eroze o 343 m<sup>2</sup>. Změna nastala především v ústí meandru, mohla však také nastat změnou autora digitalizace. V letech 2016–2017 převažovala eroze. Meandr podléhá stabilnímu vývoji, koryto se ve vrcholové části na vnitřní straně meandru mírně rozšířilo. V předposledním sledovaném období let 2017 až 2018 převažovala akumulace, která byla o 203 m<sup>2</sup> vyšší. Eroze proběhla především v oblasti bývalé šije, kde se rozšiřuje hlavní část koryta a na levém břehu ve vstupu do meandru. Zde může být eroze způsobena digitalizací, jelikož v oblasti nelze jednoduše rozeznat břeh koryta. Akumulace se nachází především ve vrcholové části meandru v oblasti lavic.



Obr. 25 Graf průměrné roční eroze a akumulace v oblasti Kenického meandru v období let 1938 až 2020



Zajímavým ukazatelem je průměrná míra migrace, která udává, o kolik metrů se koryto za rok průměrně posunulo (tab. 6). Ačkoliv v některých obdobích proběhly velké posuny až o 6 m, hodnoty jsou získané za delší časové období. V ročním průměru míry migrace již hodnoty nejsou tak vysoké. Přesto lze určit, jakým směrem se meandr posunul, zda se více půdy erodovalo nebo akumulovalo. Největší posun ve směru akumulace byl zaznamenán v období 2017–2018, kdy došlo k posunu o 25 cm. V předchozím období došlo k posunu o 23 cm ve směru eroze. V ostatních obdobích je roční posun meandru minimální, většinou v řádu jednotek centimetrů. K největšímu celkovému posunu došlo mezi lety 1954–1971, kdy došlo k posunu o 6,21 m ve směru akumulace. V oblasti Kenického meandru docházelo celkově k malým posunům celého meandru, nejvíce se posouvala vrcholová část meandru východním směrem. V porovnání s Hynkovským meandrem, který se za sledované období posunul o 80 m (obr. 26), byly posuny v oblasti Kenického meandru minimální.

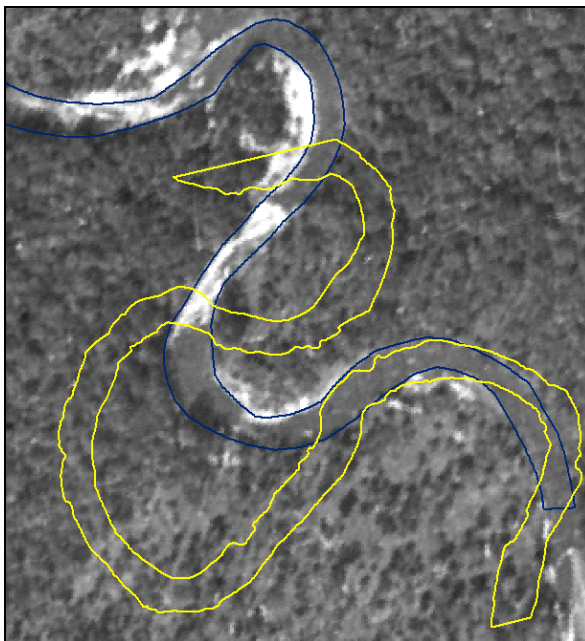
Tab. 6 Hodnoty eroze a akumulace v Kenickém meandru v období let 1938–2020

Období	EROZE				AKUMULACE				ROZDÍL	
	Plocha eroze [m <sup>2</sup> ]		Průměrná míra migrace [m]		Plocha akumulace [m <sup>2</sup> ]		Průměrná míra migrace [m]		EROZE- AKUMULACE roční průměr [m <sup>2</sup> ]	PRŮMĚRNÁ MÍRA MIGRACE roční průměr [m]
	celková plocha	roční průměr	celková míra migrace	roční průměr	celková plocha	roční průměr	celková míra migrace	roční průměr		
1938–1954	2250,75	140,67	4,86	0,30	3380,51	211,28	5,86	0,37	-70,61	-0,06
1954–1971	4338,50	255,21	5,35	0,31	4060,06	238,83	6,21	0,37	16,38	-0,05
1971–1985	1691,82	120,84	3,08	0,22	3085,67	220,41	3,39	0,24	-99,56	-0,02
1985–1994	2614,08	290,45	2,65	0,29	2239,41	248,82	3,07	0,34	41,63	-0,05
1994–2003	2865,22	318,36	2,21	0,25	1455,91	161,77	2,06	0,23	156,59	0,02
2003–2006	1557,40	519,13	1,57	0,52	792,08	264,03	1,28	0,43	255,11	0,10
2006–2014	2170,36	271,30	1,48	0,19	1293,43	161,68	1,36	0,17	109,62	0,02
2014–2016	1322,47	661,23	1,05	0,52	979,89	489,94	1,29	0,65	-51,86	-0,12
2016–2017	860,22	860,22	0,93	0,93	698,75	698,75	0,70	0,70	76,93	0,23
2017–2018	660,84	660,84	0,64	0,64	864,03	864,03	0,89	0,89	9,64	-0,25
2018–2020	1360,44	680,22	0,84	0,42	152,15	76,07	0,48	0,24	1208,29	0,18

### 5.1.2 Hynkovský meandr

Pro vizuální hodnocení byly použity mapy II. vojenského mapování a III. vojenského mapování. V době II. vojenského mapování z roku 1836 oblastí vedl tok, který začínal tvořit meandr na druhou stranu, než se nyní nachází Hynkovský meandr. V dalším období jsou na mapě zobrazena dvě koryta s ostrovem uprostřed. Jelikož tyto mapy nemají velkou přesnost, nebyly břehové linie z těchto období použity pro analýzy.

Snímek z roku 1938 zobrazuje tvořící se meandr i se sedimentární lavicí na jeho vstupu. Do roku 1954 došlo ke zúžení šíje meandru, a také k posunu celého meandru jihozápadním směrem zhruba o 80 m v jeho vrcholové části. Došlo k zúžení koryta a tvorbě sedimentární lavice v části pod meandrem na nánosovém břehu. Kromě zužující se šíje se meandr za celé sledované období tvarově příliš nezměnil, došlo pouze k jeho posunu jihozápadním směrem (obr. 26).



Obr. 26 Srovnání břehové linie z roku 1938 (modře) s rokem 2018 (žlutě), podkladem je letecký snímek z roku 1938 (poskytnutý Správou CHKO Litovelské Pomoraví)

#### Vývoj po roce 1971

Jako první se oblastí Hynkovského meandru zabýval Purket (2015), který uvádí, že na snímku z roku 1971 je možné vidět počáteční fázi meandru, kdy se v nátoku do meandru nacházela velká sedimentární lavice. Ve vrcholu meandru byla na výsepním břehu nátrž, na jesepním břehu vedlo koryto těsně kolem lesního porostu. Do roku 1985 se sedimentární štěrkopísková lavice zalesnila a celý meandr se ve vrcholové části posunul zhruba o 14 m jihozápadním směrem. Jesepní břeh se v tomto místě rozšířil asi o 20 m. Do dalšího období v roce 1994 došlo k zúžení šíje a celkovému zúžení koryta z důvodu rozšíření nánosového břehu ve vrcholu meandru. Celý meandr se začal natáčet jižním směrem, především díky vykácení lesa v oblasti nárazového břehu na vrcholu meandru. Na snímku z roku 2003 je dobře viditelný rozdíl mezi travním a lesním porostem ve vnitřní části meandru. Opět došlo k zúžení šíje a posunu celé vrcholové části meandru směrem na jih. Do roku 2006 nedošlo k velkým změnám, vývoj vrcholové části byl zpomalen, především kvůli kořenovému systému stromů, které bránily erozi. Ani do roku 2015 nedošlo k výrazným změnám, šíje se opět

zúžila a vytvořilo se skrz ni několik koryt, která jsou při vysokém stavu hladiny průtočná. Štěrkopísková lavice v prvním zákrutu meandru byla rozšířena směrem na východ. Největší změna proběhla na nárazovém břehu pod meandrem, kde erozi došlo k posunu o 1 metr a břehová nátrž začala zasahovat do přilehlé lesní komunikace. (Purket, 2015)

### **Vývoj po roce 2015**

Během následujícího období se řeka nevyznačovala vysokou hladinou a vzhledem k tomu nelze očekávat výrazný vývoj koryta. Do roku 2016 opět došlo k dalšímu zúžení šíje, ačkoliv většina břehu byla totožná s rokem 2015. Ve spodní části pod meandrem se znovu rozšířilo koryto v oblasti břehové nátrže, změna byla zhruba o 1 metr, nyní už nátrž téměř zasahovala do lesní cesty. V roce 2017 nedošlo kromě dalšího zúžení šíje k žádným změnám. Vývoj nátrže pod meandrem začal značně ohrožovat průjezdnost lesní cesty. Na snímku z jara 2018 je šíje opět zúžena, ostatní části se vyvíjí stejně jako v předchozím roce. Lesní cesta je přesunuta dále od koryta řeky přibližně o 50 metrů severním směrem i přesto, že nedocházelo k dalšímu posunu nátrže do cesty. Mezi lety 2016 až 2018 probíhá vývoj meandru velmi pomalu a ve stejném trendu. Posuny břehů jsou minimální a větší změny lze pozorovat při srovnání s rokem 2006 (obr. 27), od té doby se meandr posunul jihozápadním směrem, především v nánosovém břehu vrcholové části, která se postupem let zatravnila, voda přes lavici často neprotéká, a proto se zde neusazují štěrkopísky.



Obr. 27 Srovnání břehové linie z roku 2006 (červeně) s rokem 2018 (žlutě), podkladem je ortofotomozaika z roku 2018

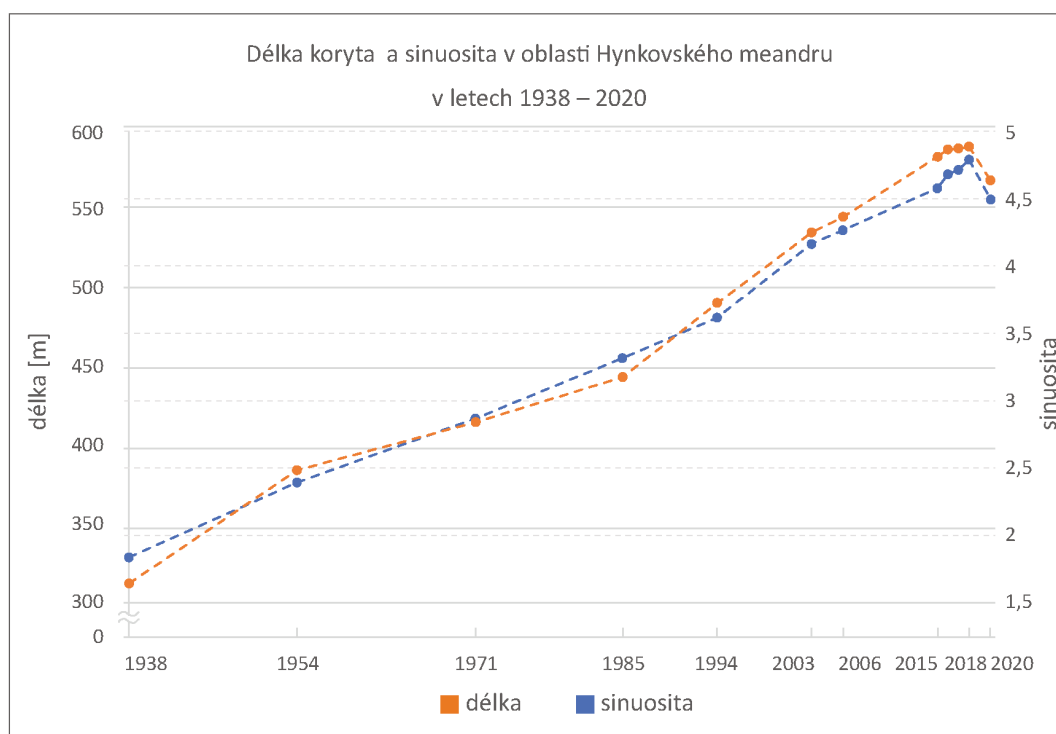
Na začátku února 2020 došlo k dlouhodobějšímu období vysokých srážek a zvýšení vodní hladiny. Při terénním průzkumu v březnu 2020 byla ověřena průtočnost dvou koryt v šíji meandru. Lze předpokládat, že při trvalejším zvýšení hladiny v oblasti meandru dojde k erozi šíje v protékaných korytech, což může vést k jejímu protržení.

### **Délka koryta, sinuosita**

V oblasti Hynkovského meandru se hodnoty délky úseku pohybují v rozmezí 300 m až téměř 600 m (tab. 7). Délka úseku kontinuálně stoupá, meandr se stále vyvíjí a rozšiřuje. Během celého období nedochází k prudkému nárůstu délky, od roku 1985 je nárůst mírně strmější, nedochází ale k výkyvům v hodnotách. V posledních letech je délka koryta téměř stejná a stoupá velmi pomalu. Stejný trend má i vývoj hodnoty sinuosity, která koreluje s vývojem délky koryta. Na začátku měření je hodnota 1,84 a postupně se v každém měřeném období zvyšuje (obr. 28). Od roku 2003 hodnota sinuosity mírně stoupá až po hodnotu 4,79 v roce 2018. Již od začátku sledovaného období je sledovaný úsek meandrující.

Tab. 7 Délka úseku a sinuosita v Hynkovském meandru

Rok	1938	1954	1971	1985	1994	2003
<b>Délka úseku [m]</b>	312,2	384,3	414,8	443,5	490,5	535,6
<b>Sinuosita</b>	1,84	2,39	2,87	3,32	3,62	4,16
Rok	2006	2015	2016	2017	2018	2020
<b>Délka úseku [m]</b>	545,4	583,8	588,05	588,09	590,7	568,7
<b>Sinuosita</b>	4,27	4,58	4,68	4,72	4,79	4,48

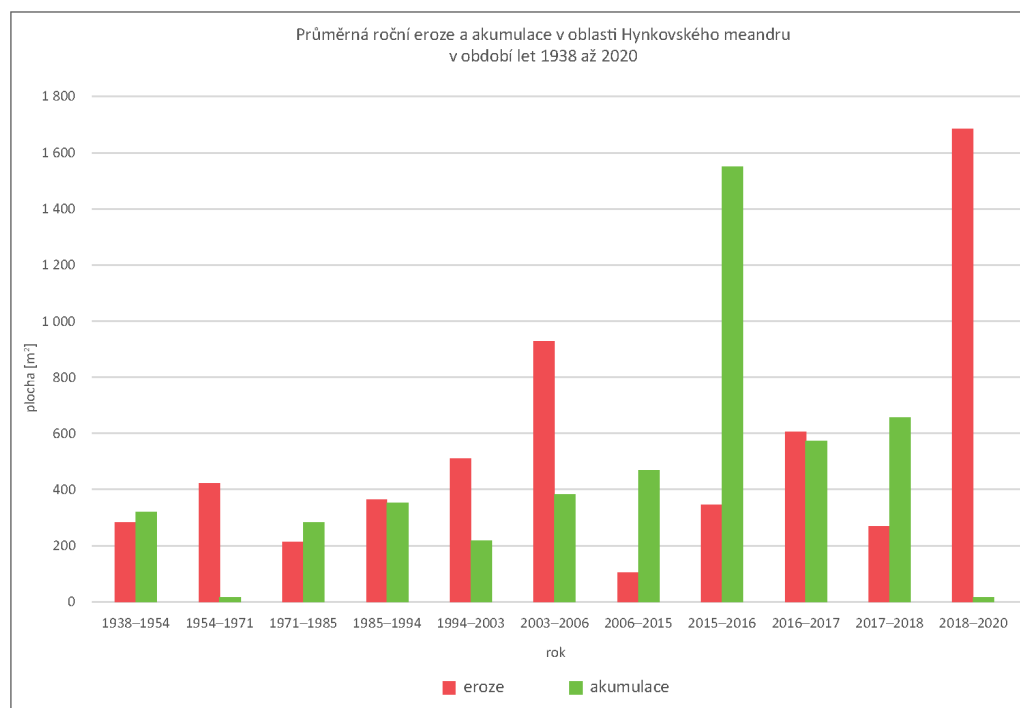


Obr. 28 Graf délky úseku a sinuosity v Hynkovském meandru

### Akumulace a eroze

Roční průměrná plocha eroze byla v období 1938–1954 mírně vyšší než plocha akumulace (obr. 29 a tab. 8). Umístění meandru se v období změnilo, vliv na hodnoty mají také georeferencované letecké snímky, což snižuje přesnost vypočtených hodnot. V dalším období do roku 1971 došlo k rozšíření koryta, eroze je 21× vyšší než akumulace. V období let 1971–1985 je průměrná plocha eroze o 75 m<sup>2</sup> nižší, než je akumulace, koryto řeky se mírně zužuje a vznikají sedimentární lavice. V dalším období jsou obě hodnoty téměř v rovnováze, bylo erodováno o 17 m<sup>2</sup> více půdy. Naopak větší změna nastala v následujícím období let 1994–2003, kdy bylo dvakrát více půdy erodováno, než akumulováno. Došlo k posunu koryta v jižní vrcholové části meandru. V letech 2003–2006 byla eroze téměř 2,5× větší, což pravděpodobně způsobilo několik povodní za sebou, které se v tomto období vyskytly, a zvýšený proud vody mohl erodovat nárazové břehy. Naopak v následujícím období do roku 2015 byla průměrná akumulace mnohonásobně vyšší, došlo k akumulování materiálu na štěrkopískových lavicích

a k celkovému rozšíření lavic. V roce 2016 byla zjištěna diametrálně vyšší akumulace, skutečný stav nemusí být tak odlišný. Rozdíl je způsobený jiným přístupem autorů k digitalizaci břehových linií, a také různou hladinou vody při digitalizaci, především ve dvou částech meandru. Období let 2016–2017 je v rovnováze, eroze převažuje zejména v oblasti zužující se šíje. V posledním období je akumulace zhruba 2,5× vyšší než eroze.



Obr. 29 Graf průměrné roční eroze a akumulace v oblasti Hynkovského meandru v období let 1938 až 2020

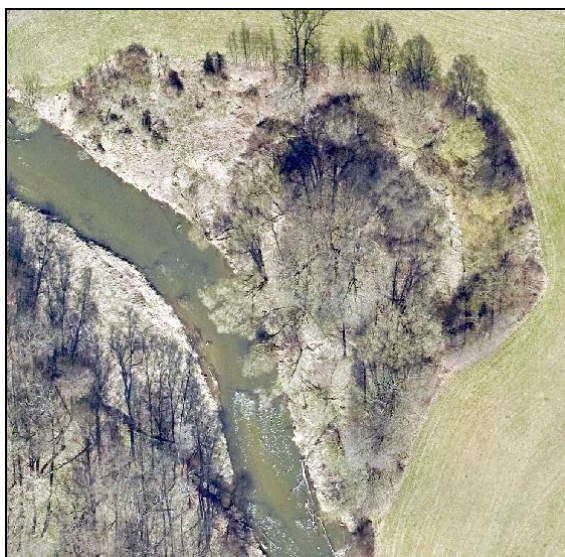
Průměrná roční míra migrace byla největší v období let 2003–2006, kdy byla migrace eroze větší o 0,31 m. Největší míra migrace s převažující akumulací byla mezi roky 2015–2016, tento údaj však není stoprocentně vypovídající, jelikož každá břehová linie byla digitalizována jiným autorem.

Tab. 8 Hodnoty eroze a akumulace v Hynkovském meandru v období let 1938–2020

Období	EROZE				AKUMULACE				ROZDÍL	
	Plocha eroze [m <sup>2</sup> ]		Průměrná míra migrace [m]		Plocha akumulace [m <sup>2</sup> ]		Průměrná míra migrace [m]		EROZE- AKUMULACE roční průměr [m <sup>2</sup> ]	PRŮMĚRNÁ MÍRA MIGRACE roční průměr [m]
	celková plocha	roční průměr	celková míra migrace	roční průměr	celková plocha	roční průměr	celková míra migrace	roční průměr		
1938–1954	4576,98	286,06	8,71	0,54	5214,81	325,93	11,86	0,74	-39,86	-0,20
1954–1971	7282,69	428,39	5,56	0,33	339,63	19,98	1,80	0,11	408,42	0,22
1971–1985	3013,13	215,22	5,90	0,42	4060,78	290,06	4,57	0,33	-74,83	0,09
1985–1994	3349,44	372,16	4,51	0,50	3197,89	355,32	5,53	0,61	16,84	-0,11
1994–2003	4615,23	512,80	4,41	0,49	2002,75	222,53	3,69	0,41	290,28	0,08
2003–2006	2802,23	934,08	2,44	0,81	1155,82	385,27	1,51	0,50	548,80	0,31
2006–2015	997,51	110,83	1,44	0,16	4210,04	467,78	3,04	0,34	-356,95	-0,18
2015–2016	351,59	351,59	0,51	0,51	1555,40	1555,40	1,13	1,13	-1203,82	-0,62
2016–2017	612,43	612,43	0,56	0,56	575,31	575,31	0,65	0,65	37,12	-0,09
2017–2018	274,69	274,69	0,30	0,30	659,31	659,31	0,52	0,52	-384,63	-0,21
2018–2020	3381,25	1690,62	1,31	0,66	29,83	14,92	0,24	0,12	1675,71	0,54

### 5.1.3 Štěpánovská nátrž

Na historických mapách oblasti lze pozorovat dvě spojující se koryta. Dnešní hlavní koryto bylo zakresleno jako menší. Koryto ze severní strany je již dnes neprotékané a je z něj slepé rameno. V původním místě soutoku ramene s dnešním hlavním korytem vznikl podle historických map meandr, který se protrhl a dnes je zazemněný nad nátrží (obr. 30).



Obr. 30 Zazemněný meandr na snímku z roku 2017

Na snímku z roku 1938 je oblast nátrže jasně viditelná, nachází se zde meandr, který ještě není zúžený a oblast s nynější nátrží je rovná a bez zákrutů. V roce 1954 je viditelná zužující se šíje meandru a oblast nátrže se začíná zahýbat.

#### Vývoj po roce 1971

Štěpánovskou nátrž jako první zkoumal Miřijovský (2013) a následně Purket (2015). Miřijovský (2013) uvádí, že má nátrž délku okolo 60 m a nachází se v nezalesněné oblasti bez kořenového systému stromů, což způsobuje rychlejší boční erozi. Miřijovský (2013) zkoumá oblast pomocí dat z UAV snímkování od roku 2011, a také pomocí leteckých snímků z roku 2003 a 2006. Vytvořil břehové linie pro jednotlivé roky a byl zjištěn maximální posun linie 4,4 m mezi roky 2006 a 2011, úbytek plochy v tomto období činil 173,1 m<sup>2</sup>. V oblasti nátrže je problémem vliv eroze na přilehlé pozemky, konkrétně se jedná o pozemek České republiky, na kterém hospodaří AOPK ČR. Jelikož se řeka stále posunuje východním směrem, zasahuje do míst, kde dříve byla půda a dochází ke zmenšování výměry pozemku. Miřijovský (2013) zmiňuje, že situaci by vyřešila pouze pozemková úprava, zároveň upozorňuje na problematičnost řešení v morfologicky aktivní oblasti. Dále provedl analýzu vyhodnocení úbytku objemu materiálu mezi lety 2011 a 2012 z 3D modelů povrchu. Výsledkem je úbytek objemu 153,8 m<sup>3</sup> v tomto období. (Miřijovský, 2013)

Purket (2015) provedl analýzu leteckých snímků oblasti mezi lety 1971 až 2015. Vytvořil břehové linie a z nich středové linie a vodící linie, které byly použity pro změření posunu koryta. Uvádí, že vývoj nátrže začal mezi lety 1971 až 1985, kdy se na snímku z roku 1971 nachází nad nátrží malý meandr s velmi úzkou šíjí, která se někdy v této době protrhla. Po protržení meandru se změnilo proudění, které začalo kolmo narážet do břehu a podemílat jej. Bývalý meandr začal postupně zarůstat a mezi roky 1994

a 2003 proběhla v oblasti největší změna, kdy byl levý břeh posunut o 23 m. Délka nátrže vzrostla z 23 m na 70 m v roce 2003 a v jeseňném břehu nátrže začala vznikat šterková lavice. V dalším období docházelo k erozi v jižní části nátrže. Od roku 2006 se začalo koryto narovnávat a na levém břehu v jižní části byla vytvořena další lavice. Šterková lavice na pravém břehu byla rozšířena jižním směrem. Nátrž se prodloužila a v roce 2015 byla její délka okolo 80 m. (Purket, 2015)

### **Vývoj po roce 2015**

Na leteckých snímcích z roku 2016 je viditelné rozšíření šterkové lavice na pravém břehu nad nátrží naproti zazemněnému meandru. Lavice pod nátrží je delší a širší a pravý břeh se v této oblasti posouvá směrem k lesu na pravém břehu. Mezi roky 2016 a 2017 není ve vývoji nátrže žádná viditelná změna. V roce 2018 byla nátrž snímkována v zimním období, na snímcích je dobře viditelný rozdíl mezi korytem a lavicemi. Pod nátrží je zřetelný malý ostrov, vzniklý z původní lavice, rozdělující hlavní koryto na zhruba 50 metrech toku na dvě užší. Ostrov je viditelný již na starších snímcích od roku 1994, postupně se zvětšuje a v roce 2018 je nejzřetelnější i díky nízkému stavu hladiny řeky. Břehová linie v hlavní části nátrže se příliš neliší od roku 2015, posouvá se pouze horní část hrany a spodní hrana, která je pod vodou, zůstává na podobném místě. Střední oblast je erodovaná a tím posouvá horní hranu pomalu více do oblasti louky (obr. 31).

Dále se také vyskytuje problém s vlivem eroze na pozemky v okolí řeky. Na obr. 31 lze pozorovat posun mezi snímkem z roku 2011, kdy problém zobrazil Miřijovský (2013), a snímkem z roku 2018. Nátrž se erozí posouvá do pozemku a pomalu snižuje jeho rozlohu, největší změnu lze pozorovat v levé dolní části obrázku.



Obr. 31 Problém v katastru způsobený boční erozí (vlevo snímek 2011 (Miřijovský, 2013), vpravo snímek 2018; podklad – snímky KGI, WMS Katastrální mapy ČÚZK)

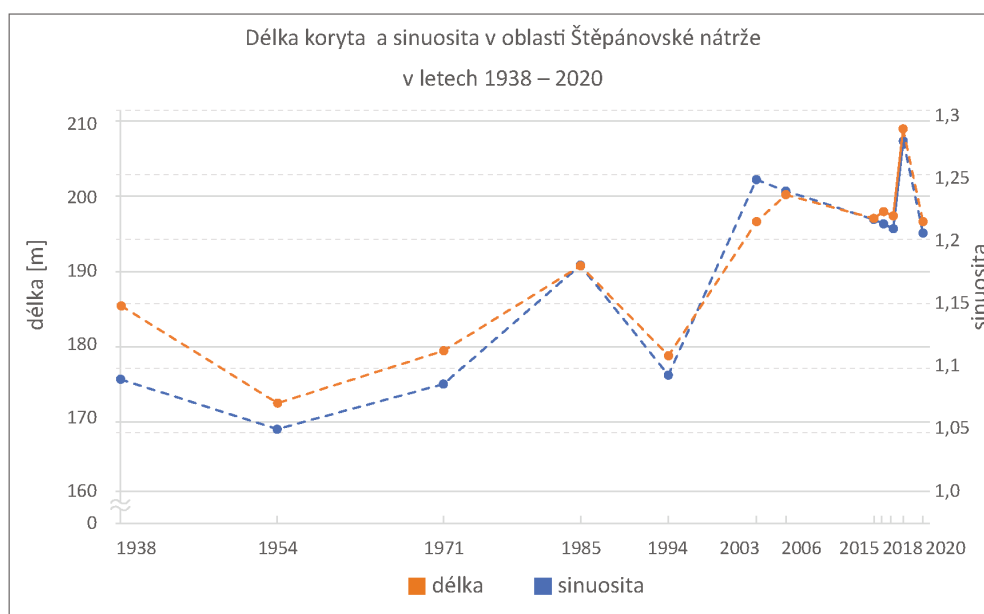
### **Délka koryta, sinuosita**

Z výsledků provedených analýz (tab. 9) lze pozorovat, že v oblasti Štěpánovské nátrže je odlišná situace než v oblastech meandrů. Jak již bylo zmíněno, tato oblast v minulosti prošla stádiem meandru (obr. 30) a postupně se opět dostává do stádia meandru v odlišném místě pod nátrží. Délka úseku je kratší než u ostatních oblastí, nejvíce však kolísá. Mezi lety 1971 a 1985 došlo ke zvýšení délky toku ve sledované oblasti po protržení meandru a při tvorbě břehové nátrže. V roce 1994 došlo znovu k propadu délky, kdy se oblast dnešní nátrže narovнала. V následujícím období se hodnota délky pohybovala okolo 200 m a pouze rostla. V letech 2015, 2016 a 2017 byla hodnota menší. Hodnoty lze považovat za téměř totožné, jelikož odlišnosti mohly být způsobeny chybami při digitalizaci dat.

Tab. 9 Délka úseku a sinuosita ve Štěpánovské nátrži

Rok	1938	1954	1971	1985	1994	2003
Délka úseku [m]	185,4	172,2	179,3	190,9	178,7	196,9
Sinuosita	1,09	1,05	1,09	1,18	1,09	1,25
Rok	2006	2015	2016	2017	2018	2020
Délka úseku [m]	200,5	197,3	198,1	197,6	209,4	196,9
Sinuosita	1,24	1,22	1,21	1,21	1,28	1,21

Hodnota sinuosity (obr. 32) je na začátku měření v roce 1938 těsně nad číslem 1, neprobíhá tedy žádné meandrování. Hodnota se ve sledovaném období pouze mírně zvyšuje. K hodnotě 1,5 považované za počátek meandrování se sinuosita sledovaného úseku začíná velmi pomalu přibližovat v posledních letech.



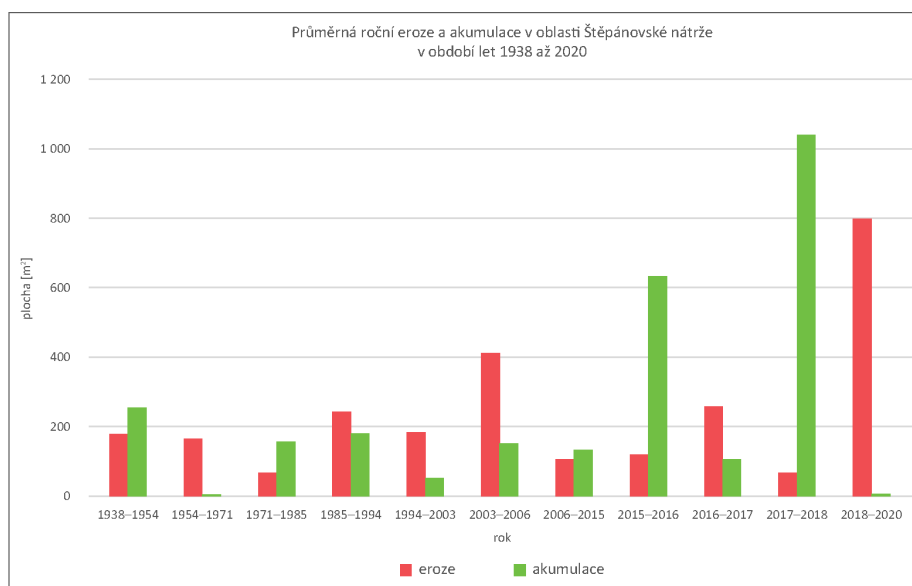
Obr. 32 Graf délky úseku a sinuosity ve Štěpánovské nátrži

### Akumulace a eroze

V prvním sledovaném období v letech 1938–1954 byla akumulace téměř 1,4× vyšší než eroze (obr. 33), kdy jsou v oblasti na snímku viditelné štěrkopískové lavice. V dalším období byla téměř 30× větší eroze než akumulace, na snímku je viditelná zužující se šije meandru, čímž se koryto řeky rozšiřovalo. Mezi lety 1971–1985 naopak převládá akumulace, na snímcích je viditelné protržení meandru, což mohlo způsobit ukládání materiálu dále po proudu řeky. Purket (2015) uvádí, že snímek z roku 1985 měl špatnou kvalitu a břehová nátrž nebyla dobře viditelná, proto nebylo možné určit přesně hranici koryta, což mohlo ovlivnit hodnoty eroze i akumulace pro toto období. Stejný problém nastal i při srovnání let 1985 a 1994, kdy převládá eroze, která je v ročním průměru o 63 m<sup>2</sup> vyšší. V období do roku 2003 je na snímku viditelné zakroucení řeky směrem do přiléhající louky, voda erodovala půdu, což potvrzuje třikrát



větší eroze než akumulace. V následujícím období dochází k prohlubování zákrutu nátrže, eroze stále několikanásobně převládá nad akumulací. V letech 2006–2015 nebyl rozdíl mezi akumulací a erozí velký, průměrná roční akumulace převažovala o 26 m<sup>2</sup>. Velký skok v akumulaci nastal mezi lety 2015–2016, což je pravděpodobně způsobeno rozdílnou digitalizací břehové linie, jelikož každý rok byl zpracován jiným autorem. Purket (2015) provedl digitalizaci břehové linie podél šterkové lavice v jiné vzdálenosti, než bylo provedeno v této práci. V období let 2016–2017 eroze převažovala nad akumulací 2,5×, došlo k malému posunu nátrže směrem do louky. V posledním sledovaném období dochází k velké akumulaci, změny mezi lety nejsou na snímcích viditelné, na větší akumulaci se mohla podílet nízká hladina vody. Na snímku pořízeném v zimním období je složitější rozeznat hranici břehu, což ztěžuje sněhová pokrývka, například na lavicích.



Obr. 33 Graf průměrné roční eroze a akumulace v oblasti Štěpánovské nátrže v období let 1938 až 2020

Mezi lety 1985 a 1994 došlo k největší míře migrace (tab. 10), kdy byl posun eroze dvakrát vyšší než akumulace, kvůli špatné kvalitě snímku z roku 1985 však nemusí být hodnoty tak vysoké. Velký posun nastal také v letech 2015–2016 a 2017–2018, tyto hodnoty jsou způsobené odlišnou digitalizací a hladinou vody při snímkování, ve skutečnosti byly posuny v těchto letech minimální. Nízké hodnoty průměrné roční míry migrace v ostatních obdobích naznačují pomalý vývoj koryta.

Tab. 10 Hodnoty eroze a akumulace ve Štěpánovské nátrži v období let 1938–2020

Období	EROZE				AKUMULACE				ROZDÍL	
	Plocha eroze [m <sup>2</sup> ]		Průměrná míra migrace [m]		Plocha akumulace [m <sup>2</sup> ]		Průměrná míra migrace [m]		EROZE- AKUMULACE roční průměr [m <sup>2</sup> ]	PRŮMĚRNÁ MÍRA MIGRACE roční průměr [m]
	celková plocha	roční průměr	celková míra migrace	roční průměr	celková plocha	roční průměr	celková míra migrace	roční průměr		
1938–1954	2870,56	179,41	14,25	0,89	4101,38	256,34	19,05	1,19	-76,93	-0,30
1954–1971	2783,06	163,71	7,46	0,44	101,07	5,95	2,88	0,17	157,76	0,27
1971–1985	913,30	65,24	3,70	0,26	2211,41	157,96	5,55	0,40	-92,72	-0,13
1985–1994	2186,66	242,96	10,63	1,18	1613,92	179,32	4,68	0,52	63,64	0,66
1994–2003	1655,24	183,92	3,75	0,42	474,57	52,73	2,13	0,24	131,19	0,18
2003–2006	1234,68	411,56	2,92	0,97	457,62	152,54	3,08	1,03	259,02	-0,05
2006–2015	951,33	105,70	2,03	0,23	1184,47	131,61	3,46	0,38	-25,90	-0,16
2015–2016	119,29	119,29	0,59	0,59	632,70	632,70	1,51	1,51	-513,41	-0,92
2016–2017	257,68	257,68	0,67	0,67	106,67	106,67	0,46	0,46	151,00	0,21
2017–2018	64,40	64,40	0,38	0,38	1039,35	1039,35	1,36	1,36	-974,95	-0,98
2018–2020	1596,08	798,04	2,43	1,22	12,95	6,47	0,33	0,16	791,57	1,05

## 5.2 Vodní stav na jezu Hynkov

Petyniak (2014) ve své práci zpracoval povodňové stavy ze sondy na jezu Hynkov od roku 2001 a z profilu Olomouc–Nové Sady v předcházejícím období. Největší zaznamenanou hodnotou průtoku bylo 760 m<sup>3</sup>/s při povodních v roce 1997. Celkem bylo do roku 2001 za 80 let měření zaznamenáno 18 povodní, ačkoliv některé menší chybí. Nejčastěji se vyskytovaly povodně větší než Q<sub>1</sub> (5×) a Q<sub>10</sub>-Q<sub>50</sub> (4×). Petyniak (2014) zpracoval povodňové stavy od dubna 2001, kdy začala měřit automatizovaná sonda na jezu Hynkov, do července 2014. Celkem zaznamenal 23 povodňových stavů, průměrně trvaly povodně 5,64 dne, pokud se započítávaly i roky, kdy žádný povodňový stav nenastal. Největší povodně nastaly v letech 2003, 2005 a 2006, kdy bylo dosaženo SPA III. Kenická šíje se po těchto povodních přestala zužovat a k jejímu protržení došlo při poslední zaznamenané povodni na začátku března 2012.

Z hydrologického režimu vodního toku lze předpovědět roční trend stavů hladiny. Existují různé klasifikace odtokových režimů, jež jsou děleny podle různých faktorů, například podle zdroje toku, kdy existují 4 základní zdroje napájení řeky – ledovec, periodická nebo trvalá sněhová pokrývka, dešťová pokrývka a podzemní voda. Dalším faktorem je geografická oblast řeky. Jednou z klasifikací odtokového režimu je Pardého klasifikace, která definuje 3 základní režimy – prostý režim, komplexní režim prvního stupně a komplexní režim druhého stupně. Řeku Moravu lze zařadit do komplexního režimu prvního stupně a podstupně dešťovo-sněhového. Toky patřící do této skupiny dosahují maxima dvakrát ročně. První a vyšší maximum se vyskytuje na jaře v období tání sněhu. Druhé maximum se vyskytuje na podzim díky dešťovým srážkám. Minima průtoků se vyskytují především v létě a v zimě. Tyto toky jsou význačné meziroční nepravidelností. (Kulek, 2017)

Od roku 2014 do roku 2018 nebyl na jezu Hynkov zaznamenán žádný den s výškou hladiny přesahující povodňový stav. Graf na obr. 34 ukazuje, že výška hladiny za pětileté období se pouze přibližovala k hodnotě 210 cm, což je povodňový stav SPA I. Nejvyšší hodnota z celého období byla naměřena 23. 2. 2016, kdy byla vodní hladina na 189 cm. V tabulce 11 se nachází přehled nejvyšších a nejnižších hodnot vodních stavů zaznamenaných za sledované období.

Tab. 11 Stavů vodní hladiny na jezu Hynkov mezi roky 2014 a 2018

<b>Rok</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>Maximální výška (cm)</b>	142 (4. 8.)	182 (1.–2. 4.)	189 (23. 2.)	175 (24. 2.)	160 (11. 1.)
<b>Minimální výška (cm)</b>	45 (21. 7.)	38 (10.–11. 8., 27.–28. 9.)	40 (1.–2. 10.)	44 (31. 8.–1. 9.)	28 (23. 8.)
<b>Počet dnů hladiny nad 134 cm</b>	5	29	22	15	20

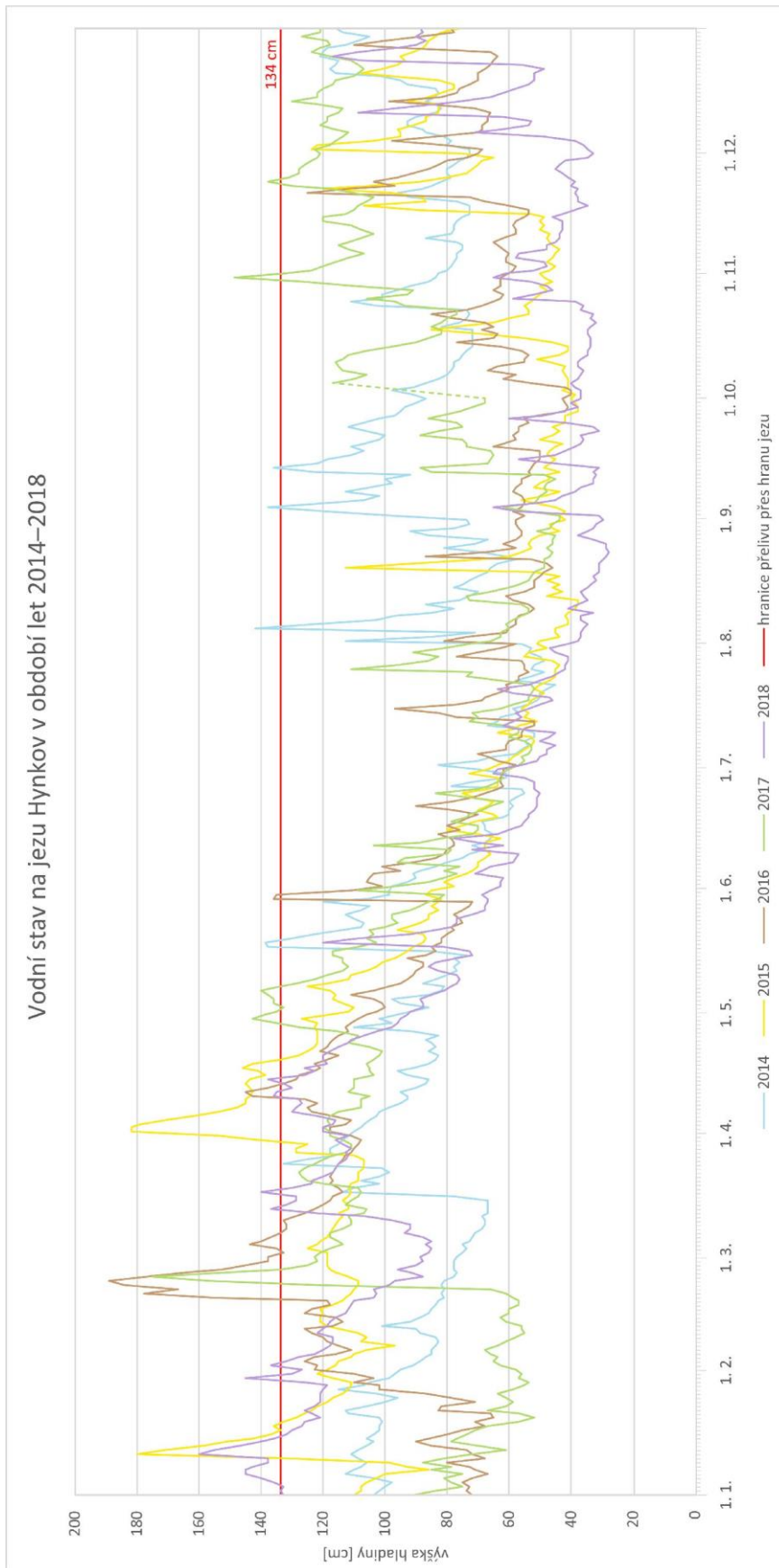
V grafu je naznačena hodnota 134 cm, která určuje výšku hladiny, při které začne voda samovolně přepadat přes pevnou hranu jezu. Tato hodnota je odvozena z manipulačního řádu jezu, hodnota nuly vodočtu se nachází v nadmořské výšce 221,3 m n. m. Rok 2014 byl podle hodnot nejsušší z období, vyskytlo se nejméně dnů, kdy hladina přesáhla 134 cm. Nejvíce dnů, kdy voda přetekla přes hranu jezu, bylo v roce 2015, další roky se hodnoty pohybovaly okolo 20 dnů. Nejnižší minimální hodnota byla dosažena na konci srpna roku 2018, kdy bylo naměřeno 28 cm, v ostatních letech se nejnižší hodnoty pohybovaly okolo 40 cm.

Celoroční trend není totožný pro všechny sledované roky. V letech 2014 a 2015 jsou křivky podobné, v roce 2015 však vyšší hodnoty nastaly o několik dní dříve nebo později. Zima a jaro roku 2015 byly obecně bohatší na vodu, naopak v roce 2014 nastaly v březnu velmi nízké hodnoty. Období od konce května do konce července má stejný trend v obou letech. Rok 2015 má velmi nízké stavy v září, naopak v roce 2014 jsou v tomto období jedny z nejvyšších hodnot. V zimním období je trend znovu podobný s častými výkyvy.

Podobné jsou roky 2016 a 2017, kdy byly nejvyšší hodnoty naměřeny na konci února. Celkově se období na konci února a začátku března v obou letech vyznačovalo vysokými hodnotami. Roky jsou si také podobné klesajícími hodnotami od začátku května s několikadenními výkyvy, kdy prudce stouply. V roce 2017 nastaly tři dny na začátku října, kdy sonda neměřila. V podzimním období obou let nastaly časté výkyvy, v roce 2017 byly hodnoty obecně vyšší.

Rok 2018 se vyznačuje nižšími hodnotami hladiny, nejvyšší hodnoty byly naměřeny na začátku ledna a od té doby pouze klesaly s menším nárůstem v březnu a dubnu. V jarním a letním období od půlky května do konce července má téměř totožný průběh s roky 2014 a 2015. V tomto období hodnoty postupně klesají až téměř na roční minima s občasnými výkyvy způsobenými srážkami. V prosinci je trend srovnatelný s rokem 2016, kdy jsou velké výkyvy ve velmi podobném trendu posunuté o několik dní.

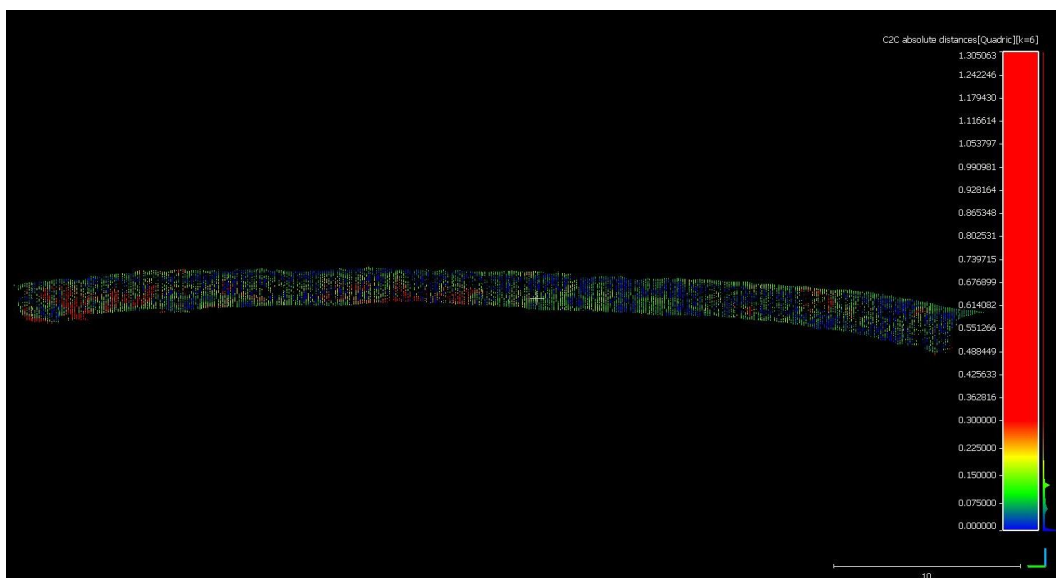
Z grafu na obr. 34 srovnávacího pětileté období lze potvrdit, že maxima řeky se vyskytují na jaře, především v březnu a na začátku dubna. Vyšší hodnoty se také objevují v podzimních měsících, naopak minima se vyskytují v létě. I přesto není trend totožný pro každý rok, jelikož tento typ režimu toku je charakteristický meziroční nepravidelností vodních stavů.



Obr. 34 Graf vodních stavů hladiny na jezu Hynkov mezi lety 2014 a 2018

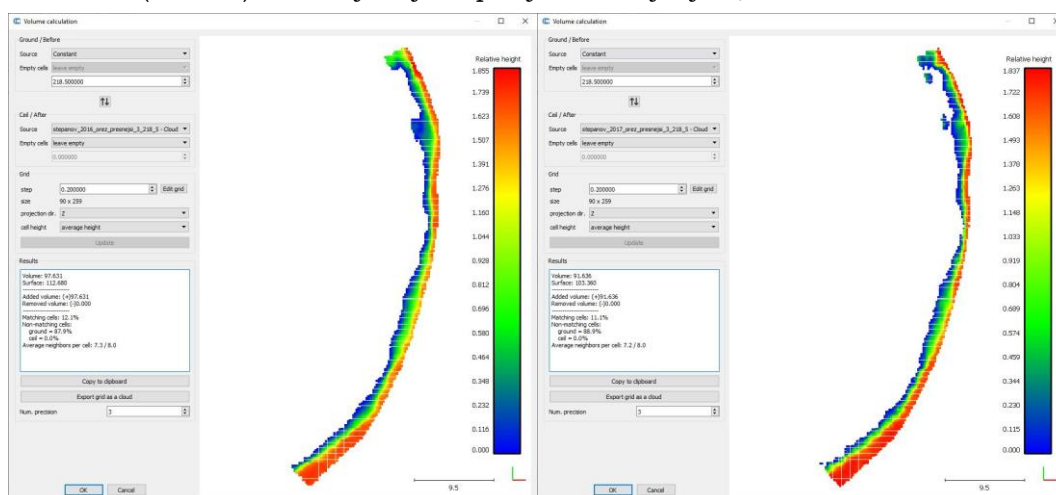
## 5.3 Výpočet úbytku objemu materiálu Štěpánovské nátrže

Výsledkem funkce *Compute cloud/cloud distance* jsou vzdálenosti jednotlivých míst mezi dvěma mračny bodů (obr. 35). Barevná stupnice byla nastavena, aby byla červenou barvou zobrazena místa se vzdáleností větší než 0,3 m. Na obrázku je nátrž zobrazena čelně pohledem z vody, směr toku je zleva doprava. Z vizualizace lze pozorovat, že největší vzdálenosti jsou ve střední části nátrže, kde proud nátrž nejvíce eroduje. Další místo s největší vzdáleností mezi mračny bodů se nachází v levé části, kde se v roce 2016 nacházel ostrůvek půdy, ale v 2017 zde půda nebyla. Výsledky odpovídají očekávanému vývoji, kdy ve střední části nátrže je rozdíl největší.



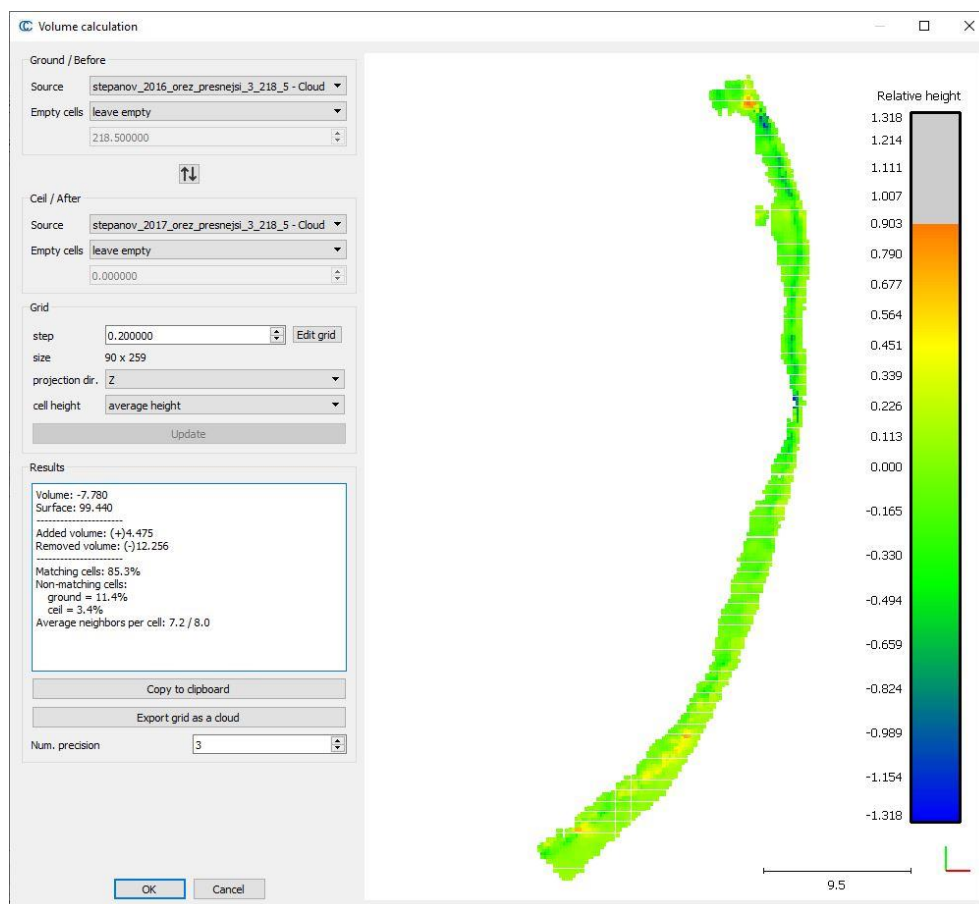
Obr. 35 Vzdálenost bodů mračna bodů 2017 od mračna bodů 2016

Výpočet úbytku objemu materiálu byl proveden dvěma způsoby popsány v kapitole 4.2.6. Při výpočtu objemu s použitím konstanty nadmořské výšky 218,5 m n. m. byl zjištěn rozdíl objemů s hodnotami 97,8 m<sup>3</sup> pro rok 2016 a 91,6 m<sup>3</sup> pro rok 2017 (obr. 36). Celkový úbytek půdy mezi lety byl 6,2 m<sup>3</sup>.



Obr. 36 Výsledek výpočtu objemu s použitím konstanty (vlevo 2016, vpravo 2017)

Při výpočtu úbytku objemu přímo mezi mračny bodů byla hodnota výsledného erodovaného objemu  $7,8 \text{ m}^3$  (obr. 37). Nástroj vypočítá příbytek ( $4,5 \text{ m}^3$ ) a úbytek půdy ( $12,3 \text{ m}^3$ ). Kromě hodnot příbytku a úbytku půdy jsou vizualizována konkrétní místa změny. K příbytku půdy došlo v krajních oblastech nátrže, zejména v horním a spodním kraji nátrže. K největšímu úbytku půdy došlo ve střední části nátrže v místech největší vzdálenosti mračen bodů zjištěné předchozí analýzou. Výsledek je názornější než výsledek první metody, jelikož jsou místa změny objemu a hodnoty příbytku a úbytku půdy vizualizována.



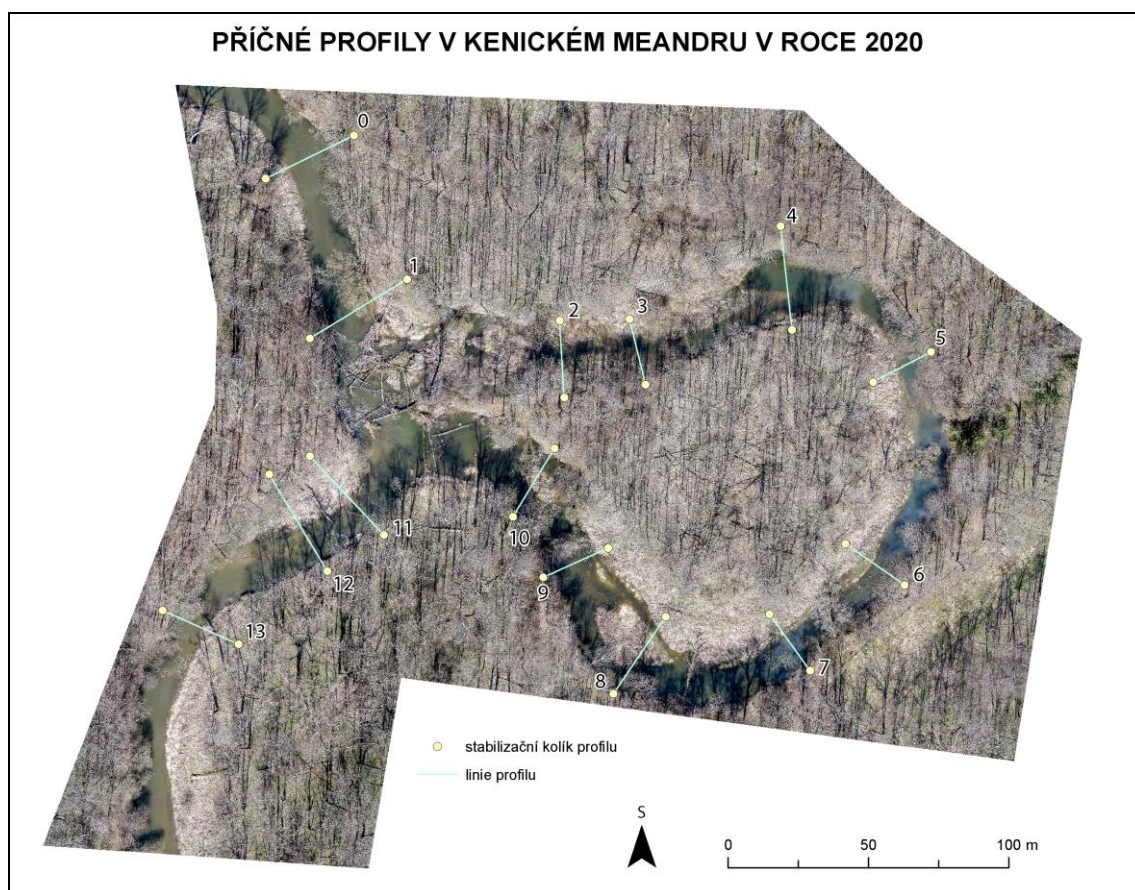
Obr. 37 Vizualizace příbytku a úbytku půdy v konkrétních místech nátrže

Nelze jednoznačně určit, který způsob výpočtu přináší přesnější výsledky. Do celého procesu vstupuje několik faktorů, které hodnoty objemu mohou změnit. Jedním z nich je hustota mračen bodů, v tomto případě bylo bohužel mračno bodů z roku 2016 o polovinu řidší než mračno z roku 2017, což vychází z tvorby mračna bodů při zpracování snímkování. Velikost kroku při výpočtu objemu také ovlivňuje výsledek, jelikož musí být zohledněna hustota mračna bodů. Dalším faktorem je srovnávací rovina a určení její výšky. V případě menší hodnoty nadmořské výšky by byl celkový objem nátrží i objem úbytku odlišný. Hlavním kritériem bylo vyloučení hladiny řeky z výpočtu objemu.

Výsledkem obou metod je hodnota úbytku objemu materiálu přibližně  $7 \text{ m}^3$  v období let 2016 a 2017. Hodnota potvrzuje probíhající erozi nátrže, především ve střední části, kde je vývoj nejzřetelnější a kde proudnice naráží na břeh.

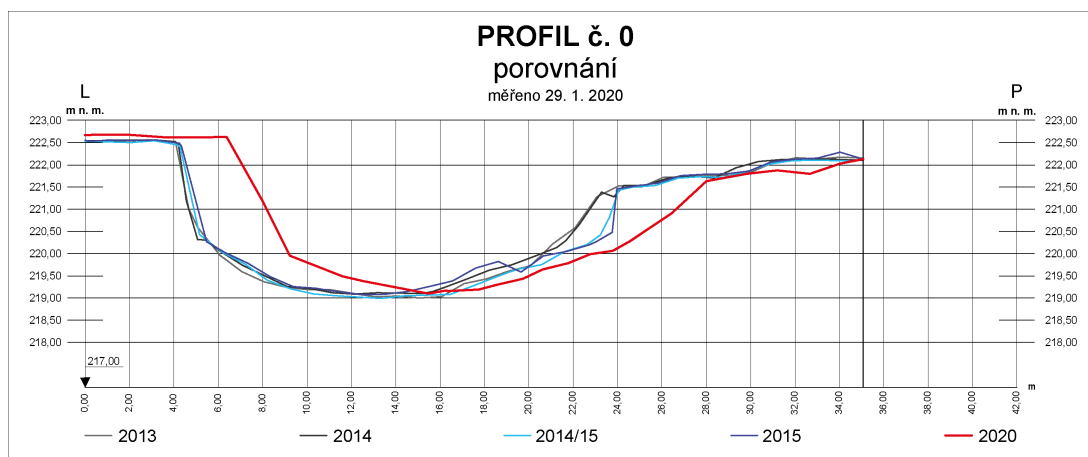
## 5.4 Vývoj příčných profilů v Kenickém meandru

Vývoj příčných profilů v Kenickém meandru byl sledován již v několika výzkumech. Na obr. 38 je zobrazeno všech 14 příčných profilů, které byly zaměřeny v rámci diplomové práce. Výsledné grafy vychází z vizualizace Purketa (2015), který zobrazil výsledky čtyř měření Petyniaka z let 2011–2014 a výsledky dvou měření ze své práce z období 2014–2015. Aktuální data zaměřená v lednu a březnu 2020 jsou vyznačena červeně. U některých profilů došlo ke ztrátě stabilizačních kolíků, které byly pro měření v roce 2020 umístěny na odlišné místo. Kontrola stabilizačních kolíků proběhla na podzim 2019, přesto se od té doby některé ztratily po výrazném zvýšení hladiny. Problém ztráty stabilizačních kolíků zmiňuje i Petyniak (2014), který uvádí, že vzniklé odchylky od předchozích měření jsou „dobře identifikovatelné, i když hůře kvantifikovatelné“. Společně s hodnocením současného vývoje je u každého profilu uvedeno shrnutí vývoje od autorů Petyniaka (2014) a Purketa (2015). V každém grafu kromě profilu č. 0 a 1 je zobrazena výška hladiny v den měření. Jelikož mezi měřeními v lednu a v březnu nastaly vysoké úhrny srážek, výška hladiny se výrazně změnila.



Obr. 38 Umístění příčných profilů v Kenickém meandru v roce 2020

## Profil č. 0



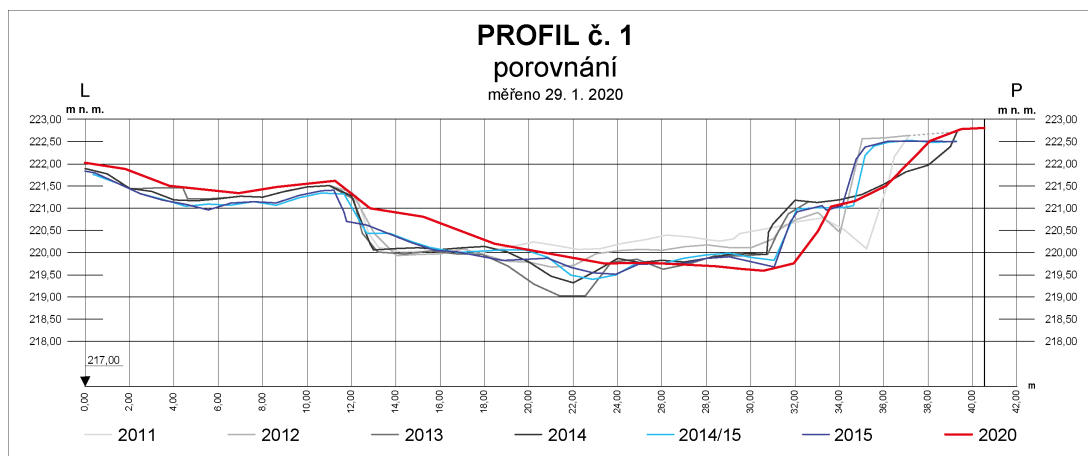
Obr. 39 Vývoj příčného profilu č. 0

Profil č. 0 byl zkoumán od roku 2013, Petyniak (2014) uvádí, že asi 110 m před profilem vznikla rozsáhlá lavice, která je dlouhá přibližně 60 m a nachází se na ní větší množství říčního dřeva. Od této lavice je koryto rozděleno na dvě mělké větve, které se spojují před profilem č. 0 a koryto se zde prohlubuje. Při měření v roce 2020 nebyl nalezen stabilizační kolík na pravé straně, nový byl umístěn přibližně 50 cm od původního, ale nedošlo k velké změně průběhu profilu. Ačkoliv na levé straně nedošlo k posunu stabilizačního kolíku, od předchozích měření se liší vzdálenost kolíku k hraně břehu o 2 m. Pořizené souřadnice stabilizačního kolíku na levé straně jsou stejné jako u předchozích měření, proto není jasný důvod odlišnosti. V terénu proběhlo ověření pásmem a vzdálenost souhlasí s daty zaměřenými v roce 2020. Hlavní terénní prvky linie profilu jsou ve všech grafech stejné, ale liší se jejich umístění od začátku profilu.

V posledních letech nebyly v korytě vysoké průtoky, proto změny ve vývoji profilu nebyly příliš zásadní. Levá strana profilu je strmá s břehem vysokým přes 2,5 m (obr. 39). Díky vysokým stromům je levý břeh stabilní. Na této straně se také poblíž profilu č. 0 vyskytuje výrazná terénní deprese, která je nejspíše pozůstatkem koryta z 19. století (Petyniak, 2014). Na levé straně koryta došlo k sedimentaci materiálu až o 50 cm, to může být způsobeno malými průtoky v posledních pěti letech, kdy nedocházelo k velkému zvyšování hladiny a k erozi. Na levé straně profilu se nachází strom spadený do koryta, který zde byl již při předchozích měřeních, a který zpomaluje proudění v této části. Proudnic v místech profilu prochází střední částí koryta, což je viditelné mezi 14. a 16. metrem profilu, kde se nachází nejhlubší místo. V pravé části dochází k pozvolnému stoupání koryta až k hraně na 28. metru profilu. V těchto místech je vývoj profilu téměř stejný jako při posledním měření kromě oblasti 26. metru profilu, kde dříve bývala hrana, která se erodovala a vzniklo mírné stoupání. Od 28. metru je profil pokrytý travním porostem, tato část je zaplavena pouze při vysokých průtocích.



## Profil č. 1



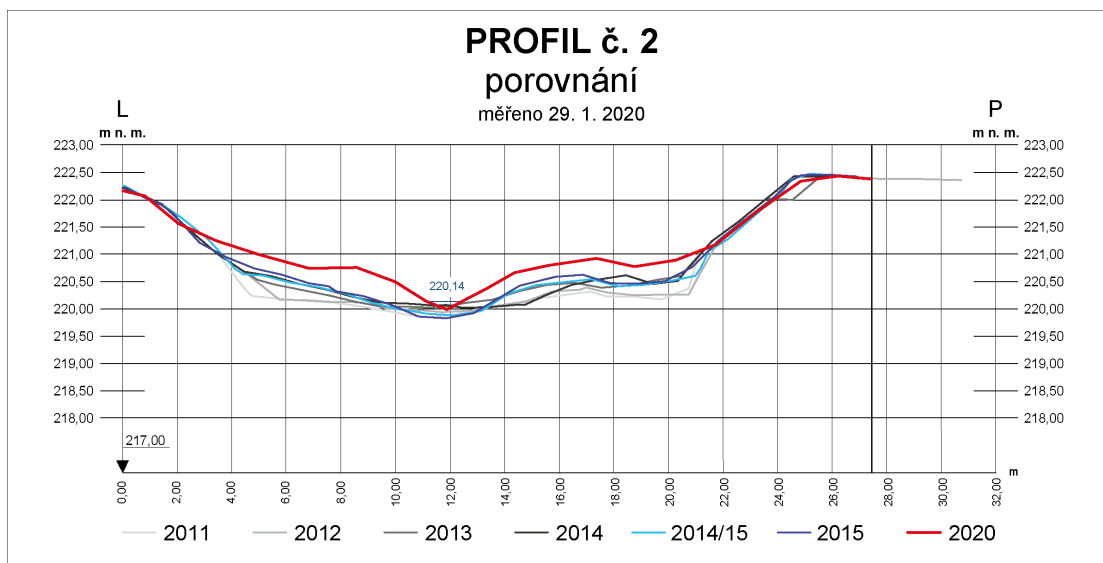
Obr. 40 Vývoj příčného profilu č. 1

Petyniak (2014) zmiňuje, že musely být nahrazeny stabilizační kolíky na levém i pravém břehu a Purket (2015) musel nahradit stabilizační kolík na pravém břehu. Při měření pro účely této práce nebyl nalezen stabilizační kolík ani na jedné straně, a tak musely být umístěny nové body, které se nachází 1,2 m od původních bodů. Proto nelze měření z roku 2020 plnohodnotně srovnat s předchozími.

Petyniak (2014) zmiňuje, že profil se nachází 40 m nad bývalou šjí meandru, kde po protržení šjí došlo ke změně umístění proudnice. Před protržením se proudnice nacházela těsně u levého břehu, kde bylo i nejhlubší místo profilu, po protržení došlo k přesunu proudnice do středu koryta, zesílení proudu a vzniku prohloubeniny v místě proudnice. Prohloubenina se začala při dalších měřeních snižovat, ale byla širší. Purket (2015) uvádí, že v lednu 2015 byl k levé straně koryta připraven kmen. Zmiňuje, že prohloubenina v místě proudnice se dále zazemňuje.

V roce 2020 je levý břeh stále pozvolný a pokrytý bahnem a písčítými sedimenty (obr. 40). Při zvýšení hladiny dojde k zaplavení od 12. metru. Pravý břeh je strmý s blízkými stromy a kmenem nacházejícím se pod pravým břehem. Během pěti let došlo k nanesení až 50 cm sedimentů okolo 14. metru profilu, kde vzniká sedimentární lavice. Ve střední části, kde se nacházelo prohloubení koryta v době protržení meandru, došlo k dalšímu zazemnění koryta. Zhruba po 32. metr profilu je dno stálé a pouze v některých místech slabě klesá. Velká změna nastala v pravé části těsně pod břehem, kde došlo k boční erozi o 1,5 m, což může být způsobeno naplaveným kmenem a silnějším prouděním. Pravá část profilu se nachází v jiném místě než u předchozích měření, proto zde může být vývoj koryta odlišný.

## Profil č. 2

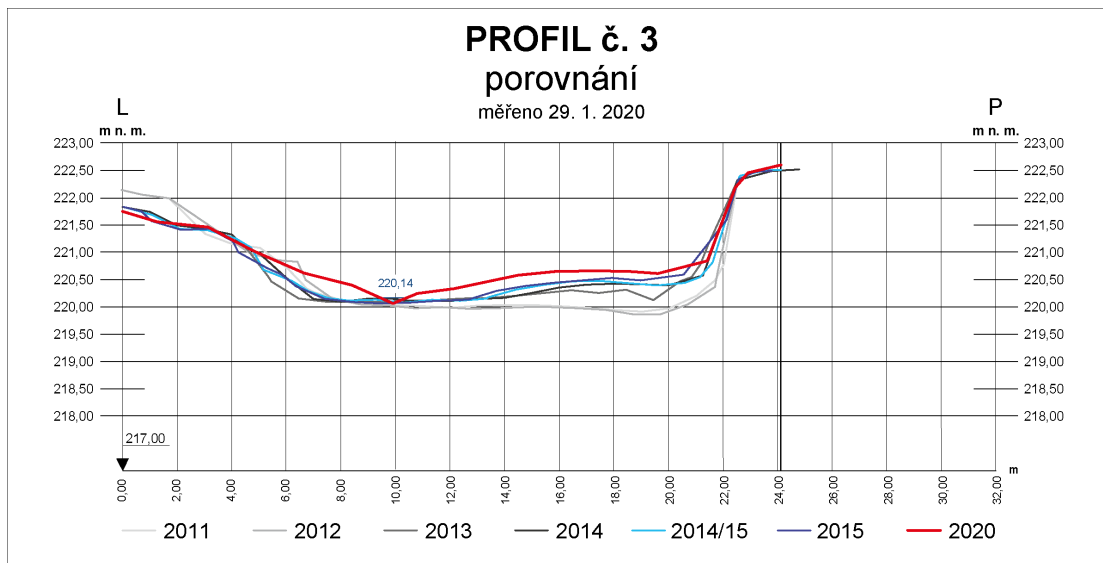


Obr. 41 Vývoj příčného profilu č. 2

Petyniak (2014) uvádí, že musely být nahrazeny stabilizační kolíky na obou březích, ale linie profilu nebyla ovlivněna. Dále uvádí, že tento profil je prvním v samotném meandru a nachází se zhruba 40 m za bývalou šíjí. Proudnice procházela před protržením šíje 11. metrem profilu, po protržení šíje zde téměř přestala protékat voda. Purket (2015) uvedl, že oblast mezi 11. a 13. metrem je jediná protékaná při průměrném stavu hladiny, při nízkém stavu není meandr v tomto místě průtočný.

Při měření v lednu 2020 se voda nacházela pouze okolo 12. metru profilu, kde lze vidět malou prohloubeninu (obr. 41). Touto částí voda protéká při nižších stavech hladiny. Oba břehy jsou porostlé vegetací, na levém břehu se nachází keře a svažující se lavice. Profil se do 3. metru nezměnil. V další části došlo od posledního měření k akumulaci až 40 cm materiálu, především bahna. Pravá část profilu mírně stoupá ke strmému konci, kde se na pravém břehu nachází vzrostlé stromy. Ve střední části opět došlo k akumulaci zhruba 20–30 cm bahna. Strmá část profilu na pravém břehu se od minulého měření nezměnila, v těchto místech voda v poslední době proudí velmi málo, nebyla zde tedy žádná síla, která by místo erodovala. Na začátku února 2020 nastalo delší období vyšších srážek, koryto se zaplavilo a voda v meandru dosahovala výšky více než 1,5 m.

### Profil č. 3

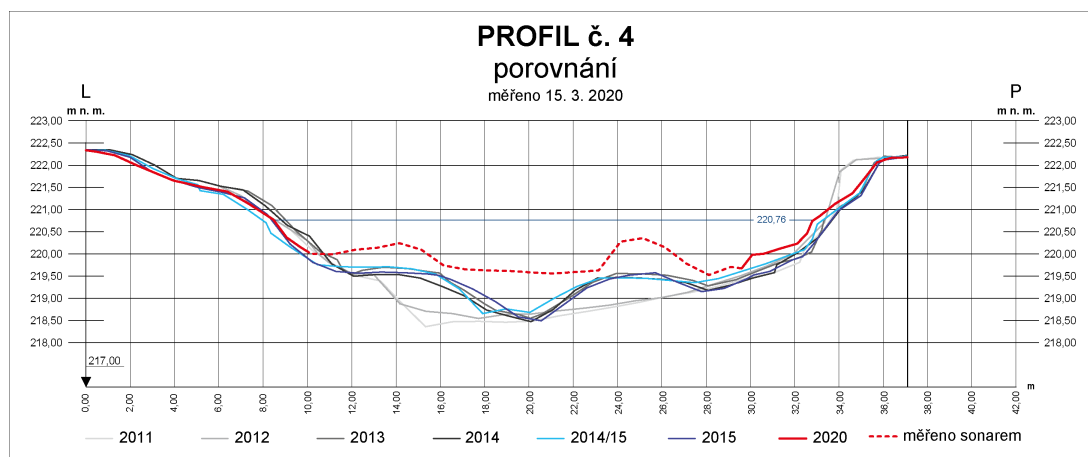


Obr. 42 Vývoj příčného profilu č. 3

Ani u profilu č. 3 nezůstaly stabilizační kolíky po celou dobu měření na stejném místě. Petyniak (2014) uvádí, že stabilizační kolíky musely být přemístěny o 3 metry proti proudu z důvodu husté vegetace. Proto nelze přímo porovnávat měření z roku 2011 a 2012 s měřeními z let 2013 a 2014. Purket (2015) poté provedl měření na novém umístění. Bohužel v roce 2020 došlo k dalšímu přesunutí kolíků a profil byl posunut zhruba o 50 cm.

Petyniak (2014) uvádí, že koryto v linii profilu mírně přechází v rozsáhlou tůň, jelikož bylo v roce 2020 měřeno za nízkého stavu hladiny, bylo v profilu pouze malé množství vody okolo 10. metru profilu (obr. 42). Purket (2015) uvádí, že na levém břehu má koryto podobný průběh jako profil č. 2, kdy se dno postupně svažuje a v této části se nachází travní vegetace. Takto místo vypadá i v současnosti, kdy došlo v oblasti od 5. do 8. metru k nánosům především bahna s mocností zhruba 30 cm. V 10. metru profilu je zřetelné místo, kudy protéká voda i při nízkých stavech. V pravé části profilu probíhá po celou dobu měření pomalá sedimentace jílovitých částic a bahna. V posledních pěti letech přibýlo ve většině míst 15–20 cm sedimentů. Pravý břeh je strmý s břehovou nátrží vzniklou proudnicí před protrhnutím šíje (Purket, 2015). Na pravém břehu nedošlo k žádné změně, hladina výjimečně dosahuje horní hrany břehu, který je zpevněný vzrostlými stromy. Stejně jako u profilu č. 2 došlo na začátku února 2020 k zaplavení celého koryta při vysokých srážkách.

## Profil č. 4

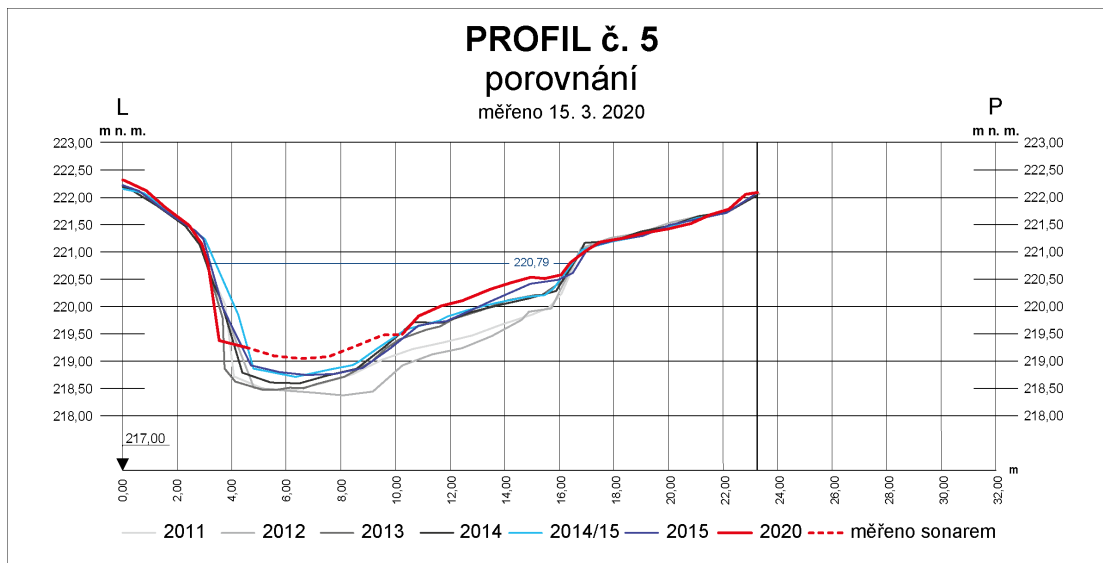


Obr. 43 Vývoj příčného profilu č. 4

Petyniak (2014) uvádí, že pravý stabilizační kolík byl ztracen kvůli spadlému stromu a byl nahrazen kolíkem na téměř stejném místě. Pro měření v roce 2020 musely být stabilizovány nové kolíky na obou březích, jelikož původní nebyly nalezeny. Nové kolíky jsou od původních vzdáleny 50 cm, což má malý vliv na průběh profilu.

Profil č. 4 se nachází v místech, kde je při nižších hladinách tůň, ve které se drží voda po celý rok (obr. 43). V roce 2020 byl profil měřen po období vysokých srážek a koryto bylo celé zaplavené. Jak zmínil Petyniak (2014), tento profil je jeden z nejširších, jeho délka je přes 37 m. Na levém břehu až po 8. metr je profil téměř bez změny. Tato část se nachází částečně v lese se vzrostlými stromy, kam voda nedosahuje ani při vysokých hodnotách. Vývoj profilu od 8. metru se liší od předchozích let, což může být způsobeno měřením pomocí sonaru, které probíhalo od 10. metru. Sonar označí za dno první vrstvu, která může být tvořena jemným bahnem, které výtyčka protne a tím je změřena nižší hodnota. Odlišný tvar profilu může být způsoben i skutečností, že v posledních pěti letech nebyly vysoké hodnoty hladiny, tato část nebyla protékána a byla zde stojatá voda. Větší sedimentace mohla nastat po vysokých srážkách na začátku února 2020, od té doby byla až do půlky března, kdy probíhalo měření, hladina stále vysoká a místo profilu bylo průtočné, čímž se do této části mohlo dostat více materiálu. Mezi 16. a 23. metrem profilu došlo k vyrovnání dna mezi dvěma vyššími úseky. V grafu lze vidět, že zde v poslední době téměř neprotéká voda, jelikož okolo 20. metru profilu není hlubší rýha, která zde byla při předchozích měřeních. Rozdíl v těchto místech je až 90 cm, srovnání měření mohlo být ovlivněno použitím sonaru. Trend vývoje pravého břehu od 30. metru je opět téměř stejný jako při předchozích měřeních, dochází k usazování sedimentů okolo 20 cm. Břeh je strmý se spadlým stromem těsně pod hranou břehu na 30. metru profilu.

## Profil č. 5



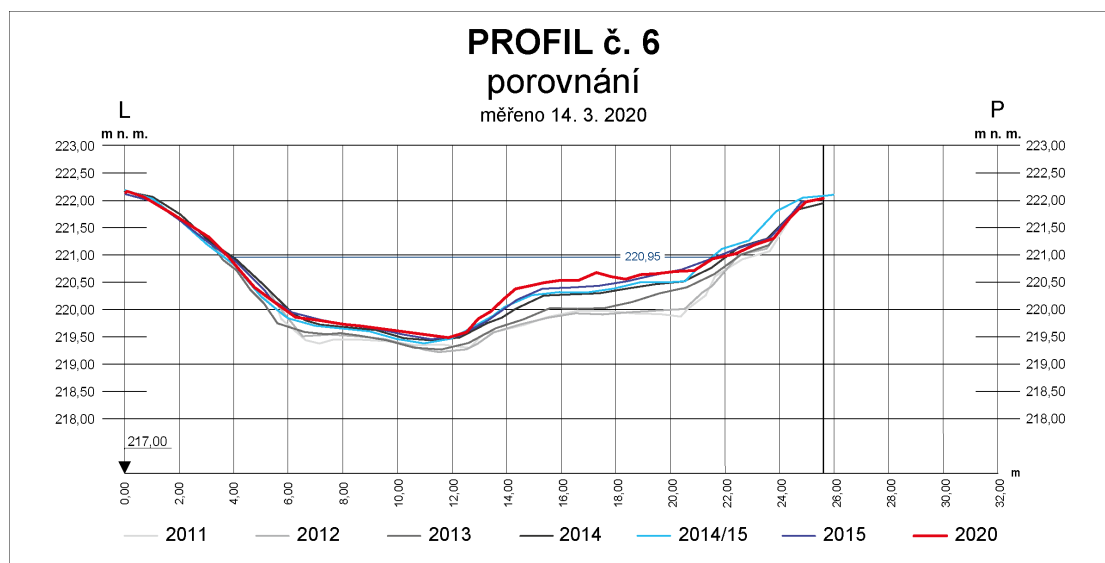
Obr. 44 Vývoj příčného profilu č. 5

V profilu č. 5 došlo ke ztrátě stabilizačních kolíků, Petyniak (2014) popisuje, že kolík na levé straně uhnul a nový byl umístěn na téměř stejném místě. Při měření v roce 2020 došlo opět k posunu kolíků, které nebyly na místě nalezeny a jsou vzdáleny přibližně jeden metr od původních. Posun neměl na linii profilu vliv.

Petyniak (2014) popisuje, že koryto v místě profilu č. 5 je oproti profilu č. 4 mnohem užší, ačkoliv hloubka koryta zůstává téměř stejná. Také zmiňuje, že v roce 2011 ještě před protržením meandru, byl úsek v okolí profilu č. 5 ukázkovým příkladem meandrujícího koryta, především díky tvaru břehů, dna a díky proudnici nacházející se poblíž levého břehu.

Levý břeh koryta je zpevněn vzrostlými stromy a prudce klesá mezi 3. a 4. metrem profilu (obr. 44). Poté dochází k sedimentaci, kterou zmiňoval již Purket (2015). Dále zmiňuje, že od roku 2013 zde dochází k usazování 10 cm sedimentů ročně. Od posledního měření v roce 2015 došlo k usazení dalších 30 cm v nejhlubších místech. Od minulého měření došlo k mírnému ústupu levého břehu. Od 10. do 16. metru dochází k usazování sedimentů, na většině míst mezi 20–30 cm. Pravý břeh má od 16. metru stejný průběh jako při předchozích měřeních. Jedná se o mírný, jesešní břeh, na kterém se ukládají sedimenty a nachází se zde travní vegetace. Celkově došlo v tomto profilu od protržení meandru k velké sedimentaci. V místě profilu je především stojatá voda, proudící voda se zde vyskytuje pouze při vysokém stavu hladiny a proudění probíhá u levého břehu.

## Profil č. 6

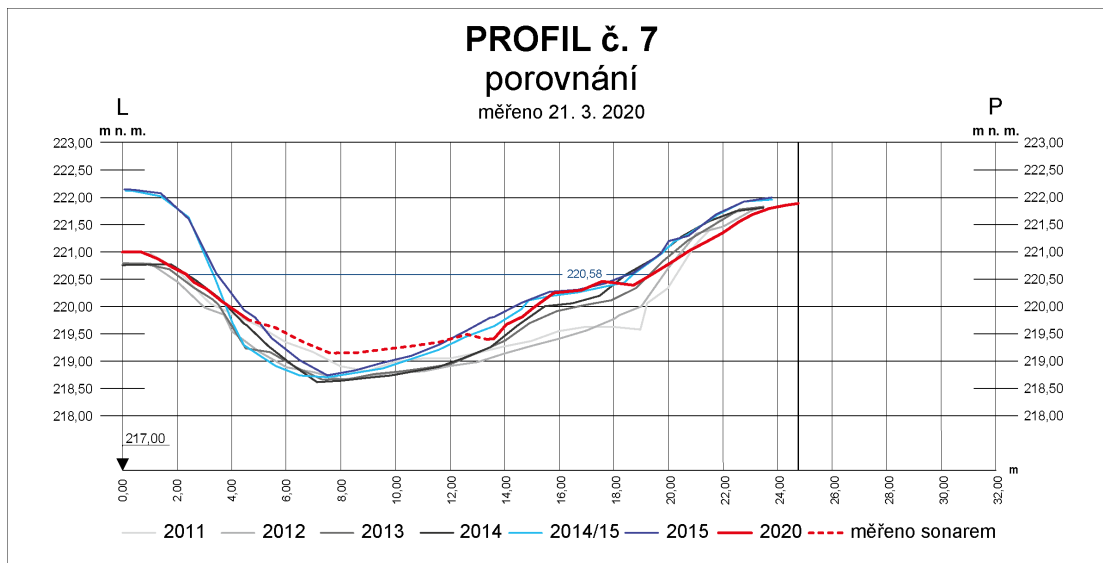


Obr. 45 Vývoj příčného profilu č. 6

V profilu č. 6 došlo také k výměně stabilizačních kolíků, Petyniak (2014) musel pravý kolík vyměnit kvůli hnilobě, nový kolík byl umístěn na stejné místo. Při měření v roce 2020 byly kolíky na obou stranách umístěny přibližně 50 cm od původních, vývoj profilu to však výrazně neovlivnilo. Dále uvádí, že v oblasti profilu č. 6 se nachází krátký peřejnatý úsek, jinak je tvar koryta velmi podobný profilu č. 5.

Vývoj profilu č. 6 je téměř totožný i po pěti letech od posledního měření (obr. 45). Levá strana profilu se nezměnila, stále má mírný sklon a zůstává stejná především díky zpevnění vzrostlými stromy. Purket (2015) uvádí, že přibližně v 8. metru profilu se nachází kmen, který je kolmý na profil a zpomaluje rychlost proudění. Tento kmen se v korytě stále nachází. Dále zmiňuje oblast okolo 11. metru, kde se dříve nacházela proudnice. Koryto se zde pomalu zasměňuje, což je vidět zejména při srovnání s rokem 2011. Nejvýraznější sedimentace je mezi 12. a 20. metrem profilu. I Petyniak (2014) uvádí, že po protržení šije se zde začalo koryto zasměňovat a nejznatelnější byla sedimentace na nejnižší terase pravého břehu. Od roku 2011 zde přibylo až 60 cm sedimentů. Těsně za 20. metrem profilu došlo od roku 2011 k sedimentaci až 80 cm, v tomto místě je nejviditelnější sedimentace pravé strany koryta. Po protržení šije v roce 2012 docházelo v těchto místech k postupné sedimentaci s podobným vývojem ve všech letech. Od posledního měření v roce 2015 v této části přibylo 10–15 cm sedimentů. Pravý břeh je porostlý travnatou vegetací a nedošlo zde k velkým změnám, průběh je totožný s měřením v roce 2015.

## Profil č. 7

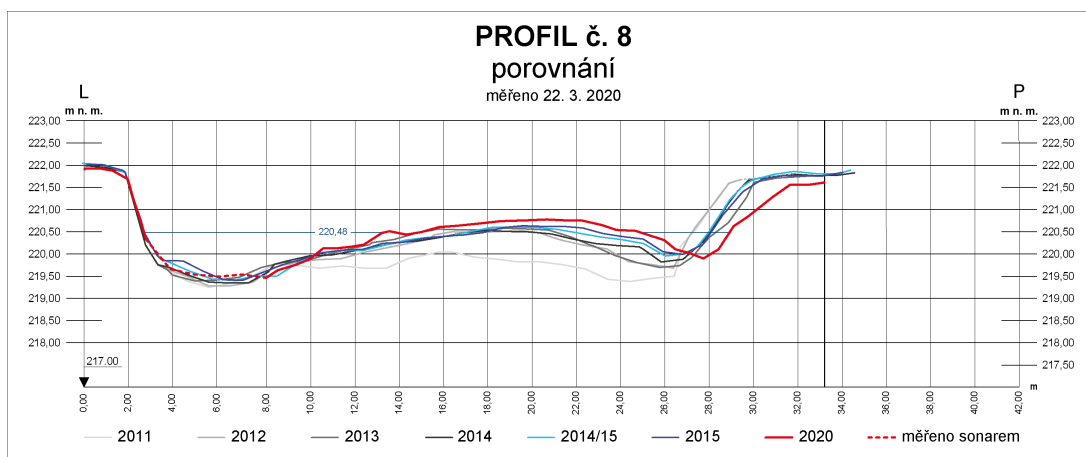


Obr. 46 Vývoj příčného profilu č. 7

V tomto profilu nelze porovnávat všechna měření (obr. 46). Měření Purketem (2014/15, 2015) proběhlo z jiného místa na levém břehu, stabilizační kolík byl umístěn nad nátok do Štěpánovské smuhy. V ostatních případech se kolík nacházel na dně nátoku do smuhy. Proto zejména levá část profilu musí být hodnocena zvlášť a měření z roku 2020 bude porovnáno s měřeními do roku 2014. Jelikož při vysokých hodnotách hladiny Štěpánovskou smuhou protéká voda, často docházelo ke ztrátě kolíků, i v roce 2020 byl kolík obnoven na mírně odlišném místě, tento posun však nehrál roli v průběhu profilu.

Na levém břehu v nátoku do smuhy je bahnité dno, okolní břeh je kolmý a zhruba o 1 metr vyšší. Levá strana profilu se od roku 2014 téměř nezměnila, odlišná nadmořská výška začátku profilu je způsobena naneseným bahnem a sedimenty v nátoku do smuhy. Část profilu měřená sonarem ukazuje sedimentaci až 40 cm, hodnota je pravděpodobně nižší, jelikož sonar zaznamená první odraz od vrstvy jemných sedimentů a bahna. Zhruba od 14. do 18. metru profilu lze pozorovat mírnější sedimentaci okolo 10 až 20 cm. Pravý břeh má celkově mírnější sklon a jeho změna není od roku 2014 velká. Je zde vidět především vývoj od roku 2012, kdy došlo k protržení šíje meandru a procesy řeky byly v té době odlišné. Poté začalo docházet k větší sedimentaci a od roku 2012 se v těchto místech usadilo až 70 cm sedimentů. Zhruba od 19. metru profilu dochází k rovnoměrnému stoupání koryta až ke stabilizačnímu kolíku. Do 21. metru profilu došlo k další sedimentaci, dále je vývoj podobný jako v předchozích letech. Pravý břeh je stejně jako u předchozích profilů porostlý travní vegetací.

## Profil č. 8



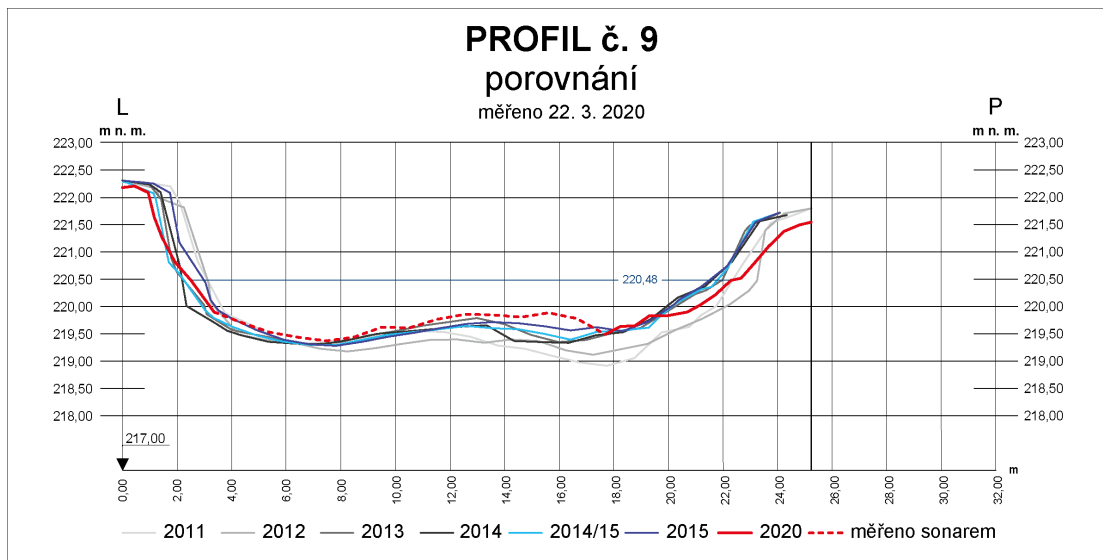
Obr. 47 Vývoj příčného profilu č. 8

Profil č. 8 se nachází v rozšířeném korytě, ve kterém vznikla šterkopísková lavice vedoucí až k dalšímu profilu (obr. 47). Před profilem je spadlý strom, který zachytává, především při zvýšené hladině, velké množství odpadků a menších kusů dřeva. V profilu také došlo k obnovení stabilizačních kolíků, Petyniak (2014) umístil nový pravý kolík na stejné místo. V roce 2020 byl kolík na pravé straně obnoven zhruba 2,5 m od původního umístění, proto je délka profilu kratší a změna měla vliv na průběh profilu v pravé části.

Levý břeh profilu se nezměnil, což je způsobeno zpevněním břehu vysokými stromy, průběh profilu je zde totožný při všech měřeních. Na lavici je z levého břehu spadlých několik dlouhých stromů. Petyniak (2014) uvádí, že se proud před protrhnutím šíje v okolí profilu č. 8 rozděloval na dvě větve, které oddělovala lavice, po protržení se na lavici usadilo velké množství sedimentů, které zasahovaly až do pravé části koryta, kde proudění téměř ustalo a proudnice se přesunula do levé části koryta. Tuto skutečnost lze pozorovat i nyní, proudění probíhá pouze v levé části a část měřená sonarem je nejhlubší v celém profilu. Pravou částí je možné projít bez použití loďky a nachází se zde vysoká vrstva bahna. Celá lavice, která se vyskytuje od 8. až po 24. metr profilu, je pokrytá vysokou travní vegetací. Centrální lavice byla od minulého měření v roce 2015 opět navýšena sedimenty, přibylo zde v jednotlivých místech 15 až 25 cm. Největší změny nastaly těsně po protržení šíje. V pravé části profilu se projevila změna umístění stabilizačního kolíku, k posunu celé lavice nejspíše nedošlo a pozůstatek pravé větve toku je stejný. Pravý břeh je strmý a pokrytý vegetací a sedimenty. Vývoj břehu zůstal stejný od předchozích měření, i když byl nyní měřen na odlišném místě. Celkový vývoj profilu odpovídá proudění v levé části koryta, kde je nejhlubší místo profilu. Na centrální lavici stále probíhá usazování sedimentů, stejně jako v pravé části, kde se proudění vyskytuje pouze při vysokých stavech hladiny.



## Profil č. 9

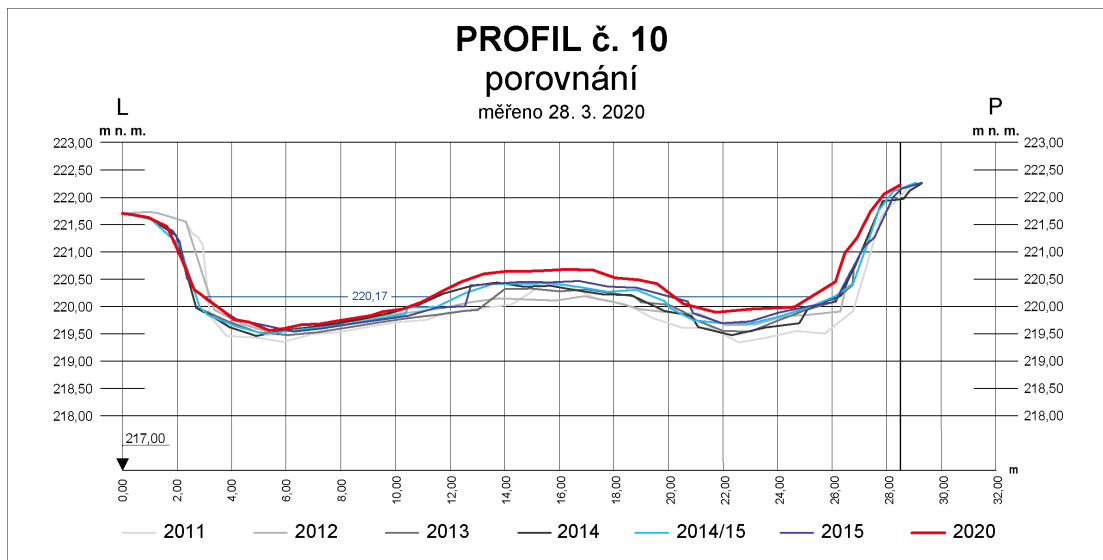


Obr. 48 Vývoj příčného profilu č. 9

Profil č. 9 se nachází zhruba 40 m od profilu č. 8. Petyniak (2014) musel provést obnovení stabilizačních kolíků na obou stranách profilu. V roce 2020 bylo měření provedeno na stejném místě pomocí nalezených kolíků. Zhruba 5 m za profilem po proudu řeky se nachází velký strom spadlý do koryta, o jehož větve se zachycují odpadky a drobné dřevo. Těsně pod levým břehem se nachází vyvrácený strom, jehož kmen zasahuje téměř k vrchní hraně břehu.

Profil č. 9 má vysoké břehy (obr. 48), levý břeh je strmý a jeho vývoj koresponduje s dřívějšími měřeními, během pěti let došlo k mírné erozi břehu a koryto se rozšířilo. Celý levý břeh je zpevněn vzrostlými stromy, proto u většiny profilů na levém břehu neproběhly velké změny. Téměř celý profil č. 9 byl měřený sonarem, konkrétně od 3. po 18. metr profilu. Vývoj této části profilu je velmi podobný dřívějšímu vývoji. V levé části, kde je profil nejhlubší, neproběhly téměř žádné změny. V ostatních částech profilu měřených sonarem došlo k mírné sedimentaci okolo 10–15 cm. Zvýšená sedimentace u 16. metru profilu může být způsobena větším množstvím dřevní hmoty, která se nachází i na dně. Ve střední části profilu mezi 10. a 16. metrem je viditelná šterkopisková lavice, která zde pokračuje od profilu č. 8. Stejně jako u předchozího profilu docházelo v pravé části po protržení šíje v roce 2012 k sedimentaci materiálu a eroze probíhala v levé části profilu (Petyniak, 2014). Pravý břeh má podobný průběh jako dříve, ačkoliv zde došlo k mírné erozi.

## Profil č. 10

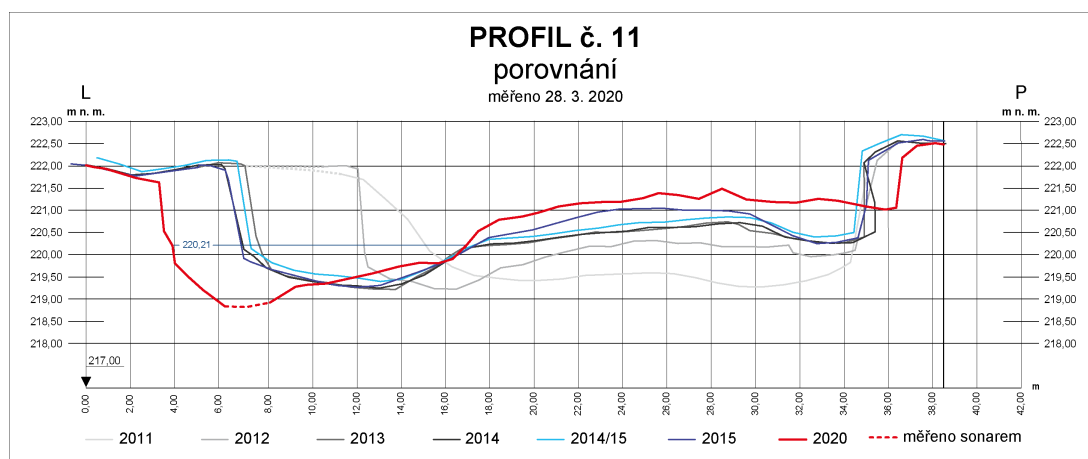


Obr. 49 Vývoj příčného profilu č. 10

Petyniak (2014) musel u profilu č. 10 obnovit stabilizační kolíky kvůli hnilobě, výměna byla provedena na stejném místě. Pro měření v roce 2020 byly kolíky nalezeny na totožných místech, kolík na pravém břehu byl nalezen pod spadným stromem.

Profil č. 10 je posledním profilem v bývalém meandru a nachází se přibližně 50 m před bývalou šíjí meandru (Petyniak, 2014). Oba břehy profilu jsou strmé (obr. 49) a nachází se na nich vysoké stromy, které svými kořeny stabilizují břehy, především levý břeh zůstal od posledního měření v roce 2015 stejný. Ve střední části profilu se zhruba od 11. do 21. metru nachází lavice pokrytá vegetací. Těsně před lavicí jsou na pravé straně naplaveny velké kusy dřevní hmoty a spadené stromy z meandru na lavici. Tato lavice rozděluje koryto na levou a pravou část, v levé části probíhá proudění i při nižších stavech hladiny, pravá část je často pokryta pouze blátem. Dno levé části koryta je pokryté především štěrkem. V současné době je levá část koryta téměř totožná s předchozími měřeními. K největší sedimentaci došlo na centrální lavici, kde přibylo až 20 cm sedimentů. Od začátku měření v roce 2011 došlo v těchto místech k sedimentaci až 60 cm. V pravé části koryta s bahnitým dnem přibylo okolo 15–20 cm sedimentů. Ve srázu pravého břehu je spaden velký strom a několik větví, což ztěžovalo měření profilu v tomto místě. Těsně za profilem se v pravé části koryta nachází další spadené stromy, které zachycují menší dřevní hmotu a odpadky. Největší změny se v profilu č. 10 udály na centrální lavici a v pravé části koryta, kde přibylo značné množství sedimentů. Levá část, která je průtočná, zůstala stejná díky pevnému štěrkovému dnu.

## Profil č. 11



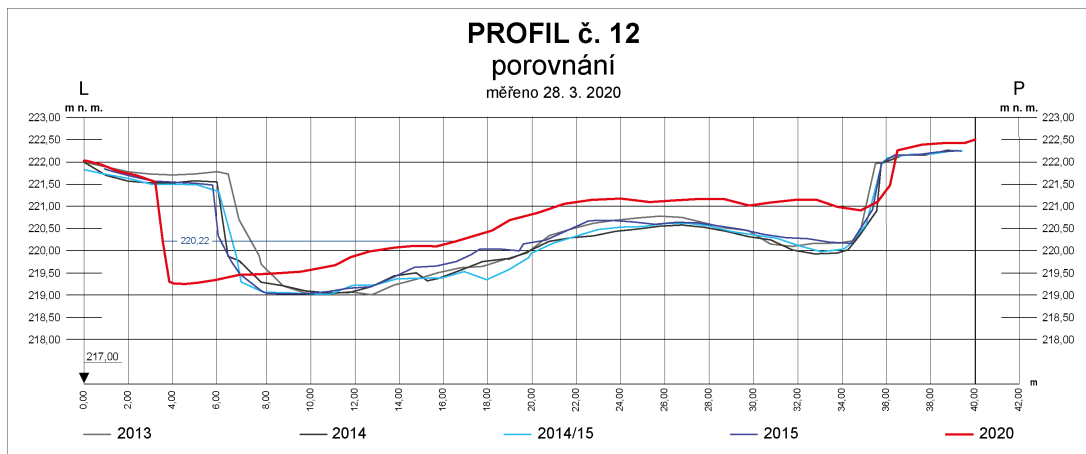
Obr. 50 Vývoj příčného profilu č. 11

U profilu č. 11 došlo k přesunu stabilizačních kolíků na obou březích několikrát. Petyniak (2014) přesunul dvakrát levý kolík a jednou pravý kolík na méně nápadné místo. Profil č. 11 se nachází asi 35 m pod bývalou šiji meandru v hlavním korytě řeky.

Petyniak (2014) zmiňuje, že tento profil prošel od roku 2011 velkým vývojem. „Před odškrcením meandru zde byl středně strmý levý břeh vysoký 2 m porostlý vegetací, který přecházel v relativně rovné koryto s největší hloubkou a proudnicí těsně se přimykající k pravému břehu. Pravý břeh byl téměř svislý a vysoký téměř 3 m porostlý stromy zvolna se hroučícími do koryta. Povodeň v roce 2012 za sebou zanechala velké změny – především se proudnice přesunula na úplně opačnou stranu, těsně k levému břehu. Původní pozvolný levý břeh byl za necelé dva měsíce odnesen a koryto se rozšířilo o téměř 4 m. Z podstatné části původního dna vznikla rozsáhlá pravostranná štěrková lavice, která obsahuje valouny o průměru až 10 cm. Zde se úroveň terénu zvýšila v průměru o 50 cm. Materiál pochází pravděpodobně z původní šiji meandru. Jelikož je levý břeh nezpevněný dřevinami, pokračovala eroze dále. Mezi květnem 2012 a červnem 2013 ustoupil břeh o dalších 4,5 metru, protékaná část koryta se rozšířila a lavice na pravé straně se zvýšila o dalších průměrně 30 cm. Po tomto období následoval rok bez větších průtoků, proto se vývoj tohoto profilu zbrzdil. Levý břeh pouze zmírnil svůj sklon (i tak ve vrcholové části ustoupil o další metr) a na nově vzniklé štěrkové lavici se uchytila vegetace.“ (Petyniak, 2014)

V současné době v profilu č. 11 (obr. 50) stále probíhá eroze levého břehu, u kterého se nachází proudnice. V roce 2020 bylo měření provedeno po období zvýšené hladiny, proto mohlo dojít k výraznější erozi. Za posledních pět let došlo k erozi o další zhruba 3 m. V místě profilu se nachází nejhlubší místo nátrže a také strom spadlý částečně do koryta. Celkem již bylo od protržení šiji u levého břehu odneseno 10,5 m břehu. Zároveň se zde nachází nejhlubší část profilu a je zde největší proud díky procházející proudnici. Na pravé straně profilu, kde zhruba od 16. metru vznikla štěrkopísková lavice, došlo k sedimentaci zhruba 15 až 30 cm materiálu. V části mezi 30. a 34. m profilu, kde dříve při vyšších hladinách mohla protékat voda, došlo k ještě většímu navýšení sedimentů, od roku 2015 v některých místech až o 1 m. Protože je lavice při vyšších hladinách často zaplavovaná, nenachází se na ní téměř žádná vegetace, pouze malé travní porosty. Pravý břeh od roku 2015 ustoupil o 1,5 m, důvodem může být podemletí břehu při vyšších hladinách.

## Profil č. 12



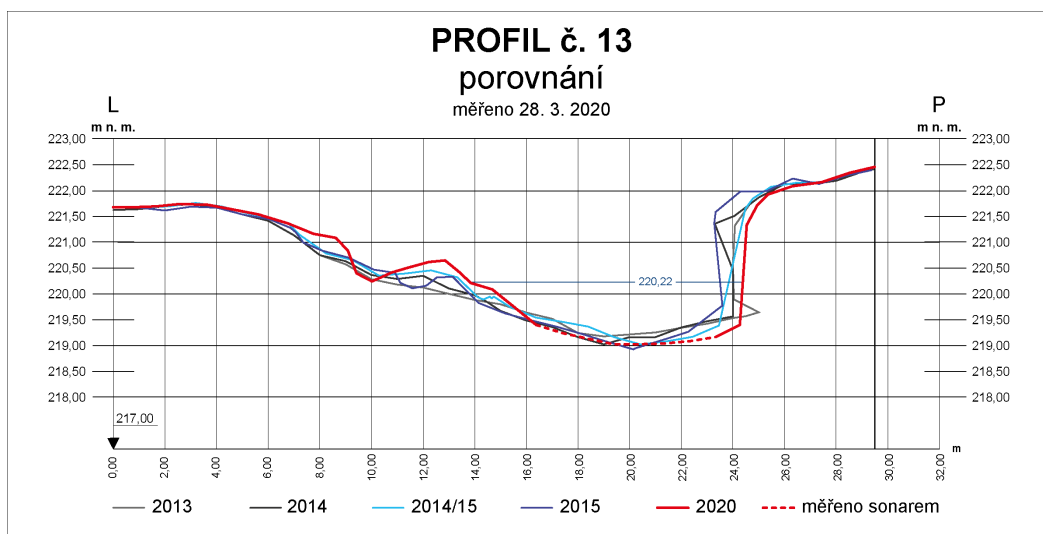
Obr. 51 Vývoj příčného profilu č. 12

U profilu č. 12 také došlo k výměně stabilizačních kolíků. Petyniak (2014) musel obnovit levý kolík a změna neměla vliv na linii profilu. V roce 2020 musel být obnoven kolík na pravém břehu, nový byl umístěn zhruba jeden metr od původního, na linii přemístění kolíku nemělo velký vliv.

Profil byl poprvé zaměřen v roce 2013, kdy byl stabilizován v reakci na velké změny po protržení meandru (Petyniak, 2014). Od profilu č. 11 je vzdálen 20 m. Umístění profilu bylo vybráno také podle výskytu stromu na levém břehu, který zasahoval do koryta a svými větvemi ovlivňoval proudění nad profilem. Purket (2015) uvádí, že strom byl v lednu 2015 stržen do koryta a nacházel se v linii profilu. Na stejném místě se strom nacházel i v roce 2018, kdy bylo provedeno snímkování pro účely diplomové práce. Do měření v březnu 2020 byl strom odnesen k levému břehu a jeho větve dosahují k linii profilu.

Na levém břehu profilu (obr. 51) došlo během pěti let k dalším výrazným změnám. Břeh ustoupil o 2,5 m, od prvního měření v roce 2013 o 4 m. Eroze je způsobena výskytem proudnice u levého břehu. Naopak šterkopísková lavice na pravé straně profilu byla navýšena sedimenty, v jednotlivých místech přibýlo 40 až 60 cm sedimentů. V místech mezi 32. až 36. metrem, kde byla dříve prohloubenina, která se nacházela i u profilu č. 11, došlo k sedimentaci až 85 cm. Dříve těmito místy protékala voda, po nanesení sedimentů na lavici a kvůli dlouhodobě nižším hodnotám hladiny, se tato část postupně zanesla. Lavice je stejně jako u profilu č. 11 pokryta především travním porostem a písčítými sedimenty, také se na ní nachází několik větších kmenů, které sem byly naneseny při vysokých hladinách. V levé části koryta je dno pevné pokryté šterkem až oblázky, což může být jeden z důvodů proč v těchto místech nedochází k hloubkové erozi ale k boční. Pravý kolík byl v roce 2020 umístěn jeden metr od původního, což mohlo způsobit rozdíl ve výškách na pravém břehu. Pravý břeh je stejně jako u profilu č. 11 podemletý.

## Profil č. 13



Obr. 52 Vývoj příčného profilu č. 13

Vývoj profilu č. 13 již není podle Petyniaka (2014) přímo ovlivněn protržením šíje Kenického meandru. Profil se nachází zhruba 50 m po proudu za profilem č. 12. Proudnice se v této oblasti stáčí k pravému břehu a mezi rokem 2014 a 2015 se posunula mírně do středu koryta Purket (2015).

Na levém břehu do 7. metru profilu nenastaly žádné změny od prvního měření v roce 2013 (obr. 52). Od 7. do 16. metru se nachází lavice pokrytá blátem a travním porostem. Lavice začíná zhruba 12 m nad profilem proti proudu a končí zhruba 3 metry za profilem. Při vyšších hladinách je od 10. metru profilu lavice zaplavená. Při měření, které probíhalo po vysokých hladinách, bylo zřejmé, že se v těchto místech vyskytovala voda. Mezi 12. a 14. metrem se nachází hlavní část lavice, kam se od posledního měření v roce 2015 nanoslo až 30 cm sedimentů. Nejhlubší část profilu se vyskytuje od 19. do 22. metru, v této oblasti dochází k erozi díky působení proudnice. V některých místech došlo k erozi až 15 cm, skutečná eroze může být ještě větší vzhledem k použití sonaru. Pravý břeh je strmý, vysoký 2 metry a za posledních pět let zde proběhla eroze až 1 m. Zde nejvíce působí proudnice, která naráží do pravého břehu, který je podemletý. Vzhledem k nepřístupnosti hladiny na pravém břehu nebylo podemletí břehu zaznamenáno, lze jej pozorovat na obr. 53. Podemletí břehu zmiňuje již Petyniak (2014). Na pravém břehu se nachází velmi vzrostlé staré stromy, které brání erozi a zhroucení břehu, který je podemlán pod úrovní hladiny. Těsně před profilem se u pravého břehu nachází strom nahnutý do koryta. Poslední část profilu od 26. metru nepodlehla žádné změně díky zpevnění kořenovým systémem stromů.



Obr. 53 Podemletí pravého břehu profilu č. 13

## 5.5 Říční dřevo

Diplomová práce se tématem říčního dřeva zabývá okrajově, a proto byla provedena pouze vizuální analýza stavu říčního dřeva. Zmapovaná dřevní hmota je dostupná v online aplikaci. Do hodnocení říčního dřeva nebyla zahrnuta lokalita Hynkovského meandru, jelikož se v něm nenachází větší množství říčního dřeva ani dřevní akumulace. Pro vizuální hodnocení byly použity pouze nejnovější snímky lokalit, které mají největší rozlišení a lze detekovat i menší objekty. Byly použity snímky z let 2016 až 2018 s prostorovým rozlišením 10 cm až 2 cm.

Máčka a Krejčí (2006) uvádí, že za LWD se označují kusy dřeva větší než 1 m délky a průměrem větší než 10 cm. SWD jsou například malé stromky nebo větve, které mají průměr menší než 10 cm.

Mezi pozitivní vlivy plavené dřevní hmoty na koryto řeky lze zařadit zvyšování stability koryta nebo utváření tůňových úseků. Negativními důsledky jsou zmenšování kapacity průtočného profilu a působení škod při pohybu dřevní hmoty. (Máčka, Krejčí, 2006)

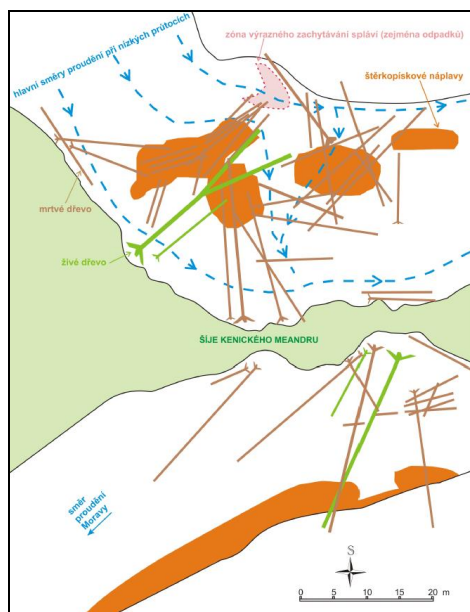
### 5.5.1 Kenický meandr

#### Předchozí analýzy Kenické akumulace

Téma říčního dřeva v Kenickém meandru zmiňuje již Máčka a Krejčí ve studii *Prognóza geomorfologického vývoje řeky Moravy v úseku od jezu Hynkov po Kenickou lávku* (2006), kde se podrobně věnují analýze a předpovědi vývoje Kenického meandru po jeho protržení. Ve studii zmiňují, že se v zájmovém území nachází plavená dřevní hmota a štěrkopískové náplavy, tyto jevy představují překážky pro správce toku, nikoliv pro přirozený vývoj koryta.

Ve studii Máčky a Krejčího (2006) probíhal i terénní průzkum, kdy byly měřeny jednotlivé kusy říčního dřeva a jejich vlastnosti. Celkem bylo zjištěno 134 samostatných LWD. Obecným poznatkem studie bylo, že velké kusy jsou v oblasti meandru nemobilní a malé kusy nepředstavují velkou překážku, kterou naopak představují velké kusy přesahující na druhý břeh koryta. Dále překáží pařezy srostlé s korytem a živé stromy nakloněné nad koryto.

Máčka a Krejčí (2006) také zmiňují Kenickou akumulaci (obr. 54), která je podle nich „v současné době největší dřevní akumulace v celé CHKO Litovelské Pomoraví a zřejmě i v celé ČR“. Akumulace začala nejspíš vznikat při zužování šije Kenického meandru, kdy začalo docházet k pádům stromů do koryta. Ještě v roce 2000 bylo v korytě pouze pět kmenů, které se staly základem akumulace a zachytávaly další materiál. V roce 2006 byly rozměry akumulace 40×40×3 m (Máčka, Krejčí, 2006). Podle studie se v roce 2006 nacházelo v akumulaci 37 hlavních kusů a další množství menších. Vytvoření akumulace způsobilo rozšíření koryta řeky především na stranu šije Kenického meandru (Máčka, Krejčí, 2011). Akumulace kromě dřevní hmoty obsahuje splávi, zejména odpadky a uschlé zbytky rostlin. Během vegetačního období zarůstá porostem a působí dojem kompaktního ostrova. Máčka a Krejčí (2006) předpokládají, že po protržení šije meandru se akumulace dostane částečně do slepého ramena a nebude mít tak velkou roli jako dříve.



Obr. 54 Schematický náčrt Kenické akumulace a ostatní PDH u šije Kenického meandru v srpnu 2006 (Máčka, Krejčí, 2006)

Průzkumu Kenické akumulace se věnoval také Petyniak (2012). V této době již byla šije meandru protržena. Petyniak (2012) uvádí, že před protržením se akumulace skládala ze čtyř částí, každá z nich měla jiné vlastnosti a složení. Po protržení šije meandru byla část menších kusů dřeva odplavena a zachycena dále po proudu řeky. Zároveň se do akumulace dostalo velké množství stromů z šije, které ovlivňovaly proudění v korytě. Výsledná akumulace se skládá ze dvou částí, menší severní části a větší jižní (obr. 55).



Obr. 55 Kenická akumulace na jaře 2012 po rozdělení na dvě části (Petyniak, 2012)

I v diplomové práci Petyniak (2014) Kenickou akumulaci zmiňuje. „Během dvou let po odškrcení se začíná, díky blokování nátoků do meandru rozsáhlou dřevní akumulací, vytvářet aluviální zátka, která separuje horní konec meandru od aktivního koryta.“ Kenická akumulace tedy blokuje průtok vody do meandru, kam se dostává méně vody.

Poslední, kdo zmiňuje Kenickou akumulaci, je Purket (2015). Vyslovuje domněnku, že se vývoj meandru může ubírat dvěma směry. Prvním je postupná sedimentace meandru a tvorba aluviálních zátek v nátoků a výtoku z meandru. Druhým je nahromadění dřevní akumulace v místě šije meandru, následně vytvoření hráze, která přehradí koryto a dojde k obnově proudění v korytě. Vzhledem k velkému množství nového říčního dřeva jsou dle autora oba vývoje stejně pravděpodobné.

### Vývoj Kenické akumulace mezi lety 2016–2018

Vzhledem k detailní analýze Kenické akumulace z předchozích let byly pro vizuální analýzu z leteckých snímků vybrány pouze nejnovější roky 2016–2018. V programu ArcMap byly digitalizovány viditelné stromy a kmeny, v oblastech s větší hustotou dřevní hmoty byly vytvořeny polygony, protože často nebylo možné rozeznat jednotlivé kusy dřevní hmoty. Digitalizaci komplikovalo množství SWD, odpadky a další vegetace. Vlivem výšky hladiny nebylo možné u vybraných stromů určit jejich celou délku, jelikož se stromy překrývají nebo jsou částečně ponořené.



Obr. 56 Hlavní část Kenické akumulace v únoru 2018 (nahore), dubnu 2018 (uprostřed) a březnu 2020 (dole)

Kenická akumulace se od roku 2016 rozšířila v hlavní části, kde je akumulována dřevní hmota v kombinaci s odpadky. Do akumulace přibyly nové samostatné kmeny stromů. V roce 2016 je hlavní část akumulace nejmenší ze sledovaných let, nachází se především v hlavním toku. V roce 2017 se hlavní část akumulace rozšiřuje na sever směrem ke štěrkopískové lavici a směrem ke vstupu meandru. Přibývá více samostatných kmenů zejména ve střední části akumulace. V jižní části pod meandrem je situace stejná jako dříve. V roce 2018 lze pozorovat další rozšíření hlavní části akumulace i příbytek velkých kmenů. V jižní části přes hlavní koryto toku leží dva kmeny. Podobně v části pod meandrem přibývá dřevní hmota, která může být naplavená z meandrové části. Hlavní část akumulace se rozšířila ve všech směrech. Podle terénního pozorování se akumulace zvýšila (obr. 56).



### 5.5.2 Štěpánovská nátrž

Oblast Štěpánovské nátrže (obr. 57) není studována stejně intenzivně jako Kenický meandr. Miřijovský (2013) zmiňuje, že výzkum v oblasti začal až v roce 2011. Dále se nátrží zabýval Purket (2015), žádná z těchto prací se však nezaměřila na říční dřevo v korytě.

V roce 2016 se severně nad nátrží nacházela malá akumulace složená z několika větších stromů a menší dřevní hmoty. Pod nátrží se částečně na šterkopískové lavici nacházel spadlý strom a dále na jih několik samostatných kmenů spadlých z břehu do koryta řeky.

V dalším roce se nad nátrží menší akumulace rozšířila, zasahovala i na druhý břeh koryta a koryto téměř přehradila. Nad touto akumulací přibylo několik menších kmenů. V jižní části pod nátrží byla téměř totožná situace jako v roce 2016. Kmen na šterkopískové lavici nebyl téměř viditelný, je možné, že se částečně rozložil.

Díky snímkování oblasti v zimě 2018 bylo možné rozeznat více kmenů, jelikož byly pokryty sněhem a vynikaly v tmavém korytě řeky. V roce 2018 se již v korytě nenacházela akumulace nad nátrží, pravděpodobně byla odstraněna správcem toku, jelikož by mohla způsobit zadržování většího množství dřevní hmoty, a mohlo by dojít k úplnému přehrazení koryta a vylití vody do okolí. Zároveň vznikla velmi malá akumulace na levém břehu toku severněji od nátrže, její vznik byl nejspíše způsoben jedním až dvěma spadlými stromy. Těsně pod nátrží přibyly do koryta dva kmeny, jeden širší a druhý úzký a delší. Pod nátrží se začalo zachytávat více dřevní hmoty, především šlo o další spadené stromy.



Obr. 57 Dřevní hmota v oblasti Štěpánovské nátrže v únoru 2018

## 6 VÝSLEDKY

Kapitola shrnuje všechny hlavní výsledky zjištěné v diplomové práci. Na závěr popisu výsledků každé lokality je předpovězen budoucí vývoj oblasti na základě posledních měření a předchozích výzkumů a prací. Za posledních pět let se všechny lokality vyvíjí stabilně bez velkých změn. Vliv na malé změny v tomto období mohly mít nízké stavy hladiny na jezu Hynkov, kde od roku 2014 do roku 2018 nenastal ani jednou povodňový stav SPA I (kapitola 4.2.5). Nejvyšší naměřenou hodnotou bylo 189 cm, SPA I je 210 cm. Každý rok nastalo pouze několik dnů s hodnotou přesahující 134 cm, kdy voda začne samovolně přepadat přes pevnou hranu jezu. Menší vývoj fluviálních forem je způsoben také pomalejším prouděním v korytě, jelikož neprobíhá výrazná eroze, která by fluviální formy ovlivňovala.

Hlavními výstupy práce jsou mapy břehových linií a mapy akumulace a eroze umístěné v přílohách (přílohy 2–7). V práci byly vytvořeny tři modely pomocí nástroje ModelBuilder, které usnadní výpočet sinuosity a hodnot akumulace a eroze při budoucím výzkumu. Dále byla vytvořena aplikace s názvem *Hodnocení vývoje fluviálních forem v CHKO Litovelské Pomoraví* pomocí platformy Web AppBuilder for ArcGIS, ve které jsou výsledky práce prezentovány.

### **Kenický meandr**

Vývoj Kenického meandru je sledován delší dobu a vzniklo několik výzkumů a diplomových prací, které se jím zabývaly. Šíje meandru se v roce 2012 protrhla a další vývoj nebyl jednoznačný. Podle Petyniaka (2014) se meandr začne zazemňovat a bude se vytvářet nové hlavní koryto. Po roce 2014 nenastaly velké změny v místech meandru, nejvíce se koryto rozšířilo v oblasti bývalé šíje, kudy nyní prochází hlavní koryto. Velké změny nastaly v místě příčného profilu č. 11 (obr. 50), kde od protržení šíje dochází k boční erozi levého břehu. Od posledního měření v roce 2015 zde ubyly 3 m břehu a celkově od začátku měření v roce 2011 již 10,5 m břehu. V tomto místě neustále působí proudnice, která po protržení šíje změnila svůj směr a naráží do levého břehu. Velkou roli hraje v Kenickém meandru Kenická akumulace, která se začala tvořit v roce 2000 (Máčka, Krejčí, 2006) a nachází se v nátoku meandru. Akumulace v průběhu sledovaného období zvětšila svůj objem a brání vstupu vody do meandru. Při vysokých hladinách do akumulace přibývají další kusy dřeva a spadené kmeny. V korytě meandru se vyskytuje několik stromů spadených přes celé koryto, o něž se často zachytává menší dřevní hmota nebo odpadky a dochází k akumulaci materiálu.

Sinuosita sledovaného úseku v Kenickém meandru byla 5,39 v roce 1938 (tab. 5). Postupně rostla až do roku 2006, kdy jsou dostupné poslední snímky před protržením šíje meandru, v tomto období byla hodnota sinuosity 9,48. V roce 2014 se její hodnota skokově snížila na 1,28 a od té doby okolo této hodnoty kolísá. Podle hodnoty sinuosity se v současné době hlavní koryto nenachází ve stádiu meandrování. Hodnoty průměrné roční akumulace a eroze odpovídají změnám ve sledovaném úseku. V období protržení šíje meandru došlo k větší erozi, jelikož se odplavil materiál z místa šíje a z levého břehu pod šíjí. Největší rozdíl mezi hodnotami lze pozorovat mezi lety 2003–2006, kdy se vyskytovalo více povodňových stavů a docházelo k větší erozi. Extrémní rozdíl se vyskytuje v posledním sledovaném období mezi lety 2018–2020. Tyto hodnoty jsou však výrazně zkreslené vysokou hladinou řeky při snímkování v roce 2020.

Vývoj příčných profilů je podrobně popsán v kapitole 5.4. K větší akumulaci materiálu došlo v profilech u nátoku do meandru (č. 2 a č. 3), kde při normální hladině v posledních pěti letech téměř neprotéká voda a středem koryta teče úzký potok.

To je způsobeno nízkou hladinou a Kenickou akumulací, která zabraňuje protékání vody do meandru. U všech profilů nacházejících se ve vrcholové části meandru (č. 5, č. 6, č. 7) dochází na nánosových březích k akumulaci materiálu a voda proudí především v levé části koryta. Při nižších stavech se zde nachází stojatá voda, která se sem dostává zpětným prouděním z ústí meandru, kde není vytvořena aluviální zátka. U profilů č. 9 a č. 10 se akumuluje materiál na středové lavici. Největší změny nastaly u profilu č. 11, který je ovlivněn prouděním v hlavním korytě. Poslední profil č. 13 neprošel výraznou změnou, viditelná je eroze v pravé části koryta, kudy prochází proudnice toku.

Budoucí vývoj Kenického meandru bude pravděpodobně probíhat stabilně jako dosud. Kenická akumulace bude zvětšovat svůj objem, jedině v případě povodňových průtoků by se její části mohly oddělit a odnést dále po proudu toku. Akumulace a vytvořená aluviální zátka v nátoku do meandru budou nadále zabraňovat vstupu většího množství vody do koryta meandru především při menších průtocích. Celkově bude v meandru docházet k nánosu materiálu na nánosových březích, nárazové břehy jsou zpevněny kořenovým systémem stromů, v těchto místech může probíhat hloubková eroze, ne však výrazná boční eroze. Do meandru se často dostává voda z jeho ústí zpětným nátokem. Při dlouhodobě nízkých stavech hladiny pravděpodobně vznikne slepé rameno od profilu č. 4, do kterého bude voda proudit pouze z ústí meandru. U příčného profilu č. 11 se předpokládá další boční eroze břehu, v těchto místech se již vytváří břehová nátrž. Naopak v oblasti ústí meandru mezi profily č. 9 a č. 10 se v levé části nachází stabilní dno, které nebude ani v budoucnu podléhat erozi a ústí bude pravděpodobně nadále prostupné. V hlavním korytě se nepředpokládají velké změny při podobných stavech hladiny jako byly v posledních pěti letech. V oblasti bývalé šíje bude nadále docházet k postupnému rozšiřování koryta.

### **Hynkovský meandr**

V oblasti Hynkovského meandru došlo mezi lety 1938 a 2018 k posunu celého meandru o zhruba 80 m jihozápadním směrem, tvar meandru se ale výrazně nezměnil a docházelo k postupnému zužování šíje. Břehová nátrž pod meandrem se posouvala a začala zasahovat do lesní cesty, která musela být přesunuta dále od břehu. Nánosový břeh vrcholové části meandru je v současnosti zatravněný, jelikož jsou v posledních letech nižší stavy hladiny a voda do výše položených částí nezasahuje.

Délka sledovaného úseku i sinuosita kontinuálně stoupají po celé sledované období. Již od roku 1938 je hodnota sinuosity nad 1,5, což značí, že je úsek řeky meandrující. Od roku 2003 je její hodnota větší než 4 a v roce 2018 dosahuje 4,79. V roce 2020 hodnota sinuosity i délky úseku mírně klesla, což je způsobeno zvýšenou hladinou řeky a rozšířeným korytem při snímkování oblasti. Největší rozdíly v hodnotách průměrné roční eroze a akumulace nastaly v období 1954–1971, kdy došlo k výraznějšímu rozšíření koryta. Velký rozdíl byl také v letech 2003–2006, kdy se vyskytlo několik povodní, které mohly výrazněji erodovat koryto řeky. Akumulace převažovala nad erozí v období let 2006–2015, kdy se usazoval materiál na šterkopiskových lavicích. V posledním sledovaném období je eroze mnohonásobně větší, opět jsou hodnoty způsobeny především vysokou hladinou při snímkování.

V budoucnu lze předpokládat stabilní vývoj meandru. Stále bude docházet k zužování šíje a celý meandr se pravděpodobně bude dále posouvat jihovýchodním směrem, ačkoliv by tomu mohly zabránit vzrostlé stromy na pravém břehu meandru. Skrz šíji meandru prochází dvě malá koryta, která jsou při vysokých stavech hladiny průtočná. Při dlouhodobě vyšších průtocích by se zde mohla vytvořit stále průtočná

koryta, kterými by následně mohla začít proudit větší část vody a mohlo by dojít k protržení meandru typu „neck cutoff“. V nynějším zákrutu meandru by protékalo méně vody, což by mohlo vést k přesunutí koryta do místa šije. Tato situace by vyžadovala dlouhodobě vyšší hladiny, než se vyskytovaly v posledních letech.

### **Štěpánovská nátrž**

Na historických mapách lze pozorovat dvě koryta, která se v 19. století nacházela v oblasti Štěpánovské nátrže. V dalších obdobích se v tomto území nacházel meandr, který se protrhl okolo roku 1971. Koryto je nyní zazemněné a v jeho místech se nachází stromový porost. Samotná nátrž se vytvořila pod protrženým meandrem, největší posun nastal mezi lety 1994 a 2003, kdy se začalo koryto řeky výrazně stáčet a začal se tvořit záhyb dnešní nátrže. Od té doby je erodována především vrcholová část nátrže, která se posouvá východním směrem do přilehlé louky. Dále se v oblasti pod nátrží zvětšuje ostrov v korytě řeky.

Podle hodnoty sinuosity se oblast Štěpánovské nátrže postupně dostává do stavu meandrujícího koryta. V roce 1938 byla hodnota 1,09, poté lze vidět skokové zvýšení v roce 2003, kdy byla hodnota 1,25. Právě v této době se začala nátrž více zahýbat. V posledních letech se hodnota pohybuje v rozmezí 1,20 až 1,28. Délka koryta ve sledovaném úseku se od roku 2003 pohybuje okolo 200 m. Největší rozdíly v průměrné roční akumulaci a erozi jsou mezi lety 2003–2006, kdy se nátrž více zahнула a eroze byla vyšší. Naopak mnohonásobně větší akumulace byla mezi lety 2015–2016, zde je rozdíl způsoben odlišnými autory digitalizace, kteří zaznamenali šterkové lavice jiným způsobem. Poslední dvě období měla výrazně odlišné hodnoty. V těchto případech jsou rozdíly způsobeny především jinou výškou hladiny při snímování, což zkresluje výsledek.

V oblasti Štěpánovské nátrže proběhl výpočet úbytku objemu pomocí mračen bodů získaných při snímování lokality v roce 2016 a 2017. Byly použity dva způsoby výpočtu, a ačkoliv jsou jejich výsledky mírně odlišné, oba udávají úbytek objemu přibližně 7 m<sup>3</sup>. Lze pozorovat, že nejvíce materiálu přibylo v krajních oblastech nátrže a největší úbytek nastal ve střední a horní části nátrže (obr. 37).

Analýza dřeva ve Štěpánovské nátrži byla provedena ze snímků od roku 2016, kdy se severně nad nátrží nacházela menší akumulace, která se do dalšího roku rozšířila a do roku 2018 byla odstraněna správcem oblasti. Pod nátrží začaly přibývat kmeny a v roce 2018 se podél pravé části břehu nacházelo větší množství především spadlých stromů z břehu koryta.

Lze předpokládat, že nátrž se bude dále rozšiřovat a prohlubovat směrem do přilehlé louky, kde břeh není zpevněný kořenovým systémem stromů. Koryto pod nátrží by se mohlo více posouvat směrem na západ a tím by začal vznikat zákrut meandru. Tento vývoj je však dlouhodobý a nelze jej očekávat v příštích několika letech. Podmínky pro vznik dalšího meandru jsou zde však dobré, jelikož řece nebrání zpevněný břeh. Jako u předchozích oblastí je jednou z podmínek dlouhodobě vyšší průtok řeky.

## 7 DISKUZE

Pro každý výzkum jsou důležitá vstupní data a jejich kvalita. V případě diplomové práce se jedná o data primární získaná v terénu, sekundární odvozená z leteckých snímků a map a také o data z předchozích výzkumů, jejichž kvalitu a přesnost bohužel není možné ovlivnit. Výsledky diplomové práce nelze srovnávat s předchozími pracemi, protože autoři většinu procesů a analýz vedoucích k výsledkům nepopsali detailně, což vytváří prostor k drobným odchylkám, které v postupu práce mohou vést k nesrovnalostem. Proto byly v práci vytvořeny modely v nástroji ModelBuilder, aby je autoři, kteří budou na práci navazovat a budou zkoumat stejné území, mohli využít a vzniklé výsledky budou srovnatelné.

### Terénní práce

Primární data získaná v terénu určují kvalitu výsledků a výstupů z nich vytvořených. Při měření příčných profilů v Kenickém meandru bylo převzato umístění profilů z práce Petyniaka (2014). Purket (2015) měl některé stabilizační kolíky umístěné odlišně. Oba autoři zmiňují, že museli několik stabilizačních kolíků během měření obnovit, většinou docházelo k jejich ztrátám nebo k hnilobě. Během terénního průzkumu lokality na podzim 2019 proběhla obnova kolíků, některé se nacházely na svém místě, ale byly ve špatném stavu a jiné bylo potřeba znovu dohledat. Při kontrole stabilizačních kolíků ale nastal problém s GPS přijímačem, který nebyl schopný inicializace v hustém lesním porostu a nebylo možné měřit s požadovanou přesností. Situace nastala v několika případech a linie profilu byla výrazněji ovlivněna u tří příčných profilů. Ačkoliv kontrola proběhla těsně před měřením v zimě 2020, opět došlo ke ztrátě několika stabilizačních kolíků. Proto byly při měření profilu kolíky znovu zaměřeny a použity do zpracování dat.

Pro zaměření příčných profilů č. 2 a č. 3, které byly zaměřeny jako první, byla totální stanice umístěna ve vnitřní části meandru a přístroj byl orientován na levý a pravý kolík profilu č. 2. Následné zpracování dat odhalilo odchylku umístění kolíků od dříve určených souřadnic, což mohlo být způsobeno nepřesným zaměřením předchozími autory nebo posunem kolíků při jejich obnově. V období mezi měřeními v lednu a v březnu došlo k výraznému zvýšení hladiny a nebylo možné dostat se k původnímu bodu stanoviště uvnitř meandru. Proto bylo po konzultaci s vedoucím práce rozhodnuto o vytvoření nového stanoviště na přilehlé louce, které bylo postupně přeneseno až k vnější části meandru mezi profily č. 5 a č. 6. Následně bylo stanoviště přeneseno k dalším příčným profilům. Každé nové umístění stanoviště mohlo vnést nepřesnosti do výsledných dat.

Při měření nebyla u profilů č. 0 a č. 1 zaměřena výška hladiny. Vzhledem ke zvýšení hladiny v důsledku vysokého úhrnu srážek po zaměření těchto profilů nemohla být hladina zjištěna zpětně. Z důvodu změny hladiny mají grafy profilů č. 2 a č. 3 výrazně odlišnou výšku v porovnání s ostatními.

Posledním bodem, který ovlivnil měření v terénu, byla kombinace dvou metod měření hloubky koryta – totální stanice a sonaru. V hlubších místech byl využit sonar Deeper. Sonar zaznamenává první odraz od dna, naopak výtyčka může projít vrstvou jemného bláta na dně. Hodnoty změřené sonarem by při měření totální stanicí byly pravděpodobně větší v místech, kde se nachází jemné bahno. Nelze určit, která z použitých metod je správná, a proto jsou v grafech označeny části příčných profilů zaměřené sonarem. Vliv na zaměření dna má také jeho materiál. V místech, kde se nachází štěrkopísek, je dno stabilnější než v místech s jemným pískem.

## Zpracování dat

Další chyby mohou vznikat při zpracování primárních i sekundárních dat. Digitalizace břehových linií byla ovlivněna více faktory. Při použití historických map je nutné vzít v potaz jejich měřítko i přesnost, se kterou byly vytvořeny. Digitalizovaná břehová linie je tak podmíněna samotnou mapou a nelze ji vnímat jako přesný zákres jejího tvaru. Kvalita snímků z leteckého nebo bezpilotního snímkování se neustále zlepšuje a s tím i možnost přesného zákresu břehové linie toku. Nejpresněji jsou digitalizované snímky od roku 2014, které mají velké prostorové rozlišení a jsou získány snímkováním pomocí bezpilotního systému.

Překvapivě zásadní pro viditelnost břehu je výška hladiny a roční období při pořízení snímků. Především starší černobílé snímky pořizované v létě jsou náročné na digitalizaci, jelikož břehy jsou porostlé vegetací, což v mnoha případech neumožnilo přesné zakreslení břehu a jeho polohu bylo nutné odhadnout. Autor digitalizace musí určit, které prvky ještě lze považovat za součást koryta, například podle mokré okolní půdy nebo stavu vegetace. Rozdílná roční období a stav vodní hladiny při snímkování mohou zásadně ovlivnit výslednou linii břehu a šířku koryta. Příkladem může být rok 2020, kdy byly snímky pořízeny při zvýšené vodní hladině a břehové linie se zásadně liší od předchozích let, ačkoliv ve skutečnosti nejsou změny výrazné. Diplomová práce navazuje na autory Petyniaka (2014) a Purketa (2015), kteří tyto problémy také zmiňovali. Pro přesnější výsledky by v budoucnu bylo vhodné provádět snímkování při podobných stavech hladiny a v období bez vegetace.

Při výpočtu úbytku objemu materiálu ve Štěpánovské nátrži byla problémem hustota mračen bodů, jelikož mračno bodů z roku 2016 je o polovinu řidší než mračno z roku 2017, z čehož vyplývá i jejich rozdílná přesnost. V práci byly použity dva způsoby výpočtu úbytku objemu. Nelze s jistotou určit, který z nich je přesnější a správnější. Při první metodě byla stanovena konstanta nadmořské výšky, od které byl objem počítán. Získané objemy od sebe byly odečteny a byl zjištěn rozdíl materiálu bez ohledu na možný příbytek. Při druhém způsobu byl úbytek objemu zjištěn porovnáním obou mračen bodů mezi sebou, navíc byla vizualizována místa, kde k úbytku nebo příbytku materiálu došlo. Dále do výsledku vstupuje nastavení jednotlivých nástrojů. Obě analýzy však ukazují, že přibližný úbytek materiálu za jeden rok činil ve Štěpánovské nátrži zhruba 7 m<sup>3</sup>. Výběr metody závisí na uživateli, dostupných datech a sledované lokalitě, obě metody však přináší podobné a relevantní výsledky.

Hodnocením říčního dřeva se zabývaly i předchozí výzkumy, v diplomové práci bylo téma zahrnuto pouze okrajově. Kvůli časové náročnosti nebylo možné provést analýzu říčního dřeva přímo v terénu, proto byly použity snímky od roku 2016, které mají větší prostorové rozlišení a je na nich možné rozeznat jednotlivé kusy říčního dřeva. Následně byla provedena manuální detekce říčního dřeva. Automatická detekce dřevní hmoty by byla nad časový i tematický rámec diplomové práce. Větší shluky byly manuálně označeny jako akumulace, jelikož nebylo možné ani při velkém prostorovém rozlišení detekovat všechny malé kusy říčního dřeva.

Rozsah diplomové práce je větší, než je obvyklé, především z důvodu důkladné interpretace výsledků získaných digitalizací břehových linií a popisu metodiky použité v práci, která u předchozích autorů v některých částech chyběla. Dále byla použita nová technologie sonaru, u které musela být otestována její přesnost a byl uveden popis funkčnosti sonaru.

## 8 ZÁVĚR

Hlavním cílem diplomové práce bylo provést druhou etapu monitoringu s následnou analýzou vývoje vybraných fluviálních forem v CHKO Litovelské Pomoraví. Dalšími cíli bylo zhodnocení aktuálního vývoje, hodnocení změn v průběhu času a předpovězení budoucího vývoje na základě sběru dat z vlastního měření a dat z předchozích měření. Práce se zaměřuje na tři lokality v CHKO Litovelské Pomoraví – Kenický meandr, Hynkovský meandr a Štěpánovskou nátrž.

Postup práce lze rozdělit na dvě části. První částí jsou terénní práce a sběr dat, druhou částí je zpracování, analýza dat a interpretace výsledků. Terénní práce probíhaly v několika etapách, na jaře 2018 byly zaměřeny vřícovací body pomocí GPS přijímače a následně byly vedoucím práce pořízeny snímky oblastí Kenického a Hynkovského meandru. Dále byly v červnu 2018 vyzvednuty přístroje měřící úhrn srážek, tlak vzduchu a výšku hladiny ve sledovaných lokalitách. V další etapě proběhla na podzim 2019 kontrola a výměna některých stabilizačních kolíků příčných profilů v Kenickém meandru. V lednu a březnu 2020 proběhlo zaměření příčných profilů pomocí totální stanice a sonaru.

Při zpracování dat byly vytvořeny ortofotomozaiky snímkaných oblastí v programu Agisoft PhotoScan. Následně z nich byly digitalizovány břehové linie všech zájmových oblastí. Břehové linie byly vytvořeny z historických map od roku 1836 a z leteckých snímků od roku 1938. Celkem byly digitalizovány linie pro 14 sledovaných období a nejnovější snímky pochází z roku 2020. Následně byly vypočítány charakteristiky určitých úseků řeky, na jejichž základě byl interpretován vývoj oblastí. Byla vypočítána sinuosita udávající, zda řeka meandruje, a hodnoty akumulace a eroze mezi dvěma obdobími. Pro zvýšení efektivity a pro možnost využití výpočtů charakteristik v budoucím výzkumu, byly vytvořeny tři modely v nástroji ModelBuilder. Výsledky modelů byly zpracovány do tabulek a grafů a vývoj oblastí byl zhodnocen.

V Kenickém meandru se v místech šije, která se protrhla v roce 2012, postupně začalo rozšiřovat hlavní koryto řeky. Akumulace materiálu proběhla především na štěrkopískových lavicích nánosového břehu. Sinuosita se v oblasti meandru po protrhnutí skokově zmenšila z 9,48 na 1,28. Hynkovský meandr se od roku 1938 posunul zhruba o 80 m jihozápadním směrem, ačkoliv jeho tvar se téměř nezměnil. Těsně pod meandrem se nachází břehová nátrž, která začala zasahovat do přilehlé lesní cesty, jež musela být přesunuta. Od roku 1938 je hodnota sinuosity sledovaného úseku nad 1,5 a v roce 2018 dosahovala 4,79. V oblasti Štěpánovské nátrže se již dříve nacházel meandr, který se protrhl okolo roku 1971. Pod bývalým meandrem se poté vytvořila břehová nátrž, která se nejvíce změnila v období let 1994–2003, kdy se začala výrazněji stáčet. V roce 1938 byla sinuosita sledovaného úseku 1,09 a do roku 2018 se její hodnota zvýšila na 1,28. Úsek se tedy nenachází ve fázi meandrování.

Další analýzou bylo zpracování hodnot vodního stavu na jezu Hynkov od roku 2014 do roku 2018. Pro každý rok byl vytvořen graf stavů vodní hladiny a poté byly roky mezi sebou srovnány na základě podobnosti vývoje vodních stavů. Dále byly zjištěny dny, kdy hladina přesáhla 134 cm, při této výšce začne přepadat voda přes jez samovolně. Ve sledovaném období se vyskytovalo nejméně 5 dnů v roce 2014 a nejvíce 29 dnů v roce 2015, kdy vodní hladina přesáhla tuto hranici. Ani jednou nedosáhla hladina povodňového stavu SPA I, při kterém je hladina 210 cm. Nejvyšší naměřenou hodnotou bylo 189 cm v únoru 2016.

Dále byl zpracován úbytek objemu materiálu ve Štěpánovské nátrži. Byla použita mračna bodů z let 2016 a 2017, která byla analyzována v programu CloudCompare. Byla zjištěna vzdálenost jednotlivých míst mezi mračny bodů. Největší rozdíl se vyskytoval ve střední a v horní části nátrže, kde se v roce 2016 nacházel ostrůvek půdy. Poté byl dvěma způsoby vypočítán objem úbytku materiálu. Při výpočtu s pomocí konstanty nadmořské výšky byl zjištěn pouze celkový objem úbytku, který byl 6,2 m<sup>3</sup>. Při druhém způsobu byly zjištěny konkrétní hodnoty a umístění úbytku a příbytku materiálu. Nejvíce půdy přibylo v krajních částech nátrže a největší úbytek byl ve střední a horní části nátrže. Celkový úbytek zjištěný touto metodou byl 7,8 m<sup>3</sup>.

Zpracováním dat zaměřených příčných profilů byly vytvořeny grafy průběhu koryta, které byly srovnány s jejich vývojem od roku 2011 do roku 2015. Předchozí vývoj byl zpracován v pracích Petyniaka (2014) a Purketa (2015). Největší vývoj nastal v profilu č. 11, kde podléhá levý břeh silné boční erozi. V profilech nacházejících se těsně za nátokem do meandru převažuje akumulace. Profily nacházející se ve vrcholové části meandru podléhají akumulaci na pravém nánosovém břehu.

Vizuálním hodnocením leteckých snímků bylo detekováno říční dřevo a akumulace nacházející se v Kenickém meandru a Štěpánovské nátrži. Kenická akumulace zvětšila svůj objem a stále více zabraňuje toku vody do meandru. V korytě meandru se nachází několik spadených stromů přes oba břehy, o které se zachytává říční dřevo a odpadky. Ve Štěpánovské nátrži se nacházela menší akumulace těsně nad nátrží, následně začalo přibývat více spadených stromů v oblasti pod nátrží.

Budoucí vývoj všech lokalit bude pravděpodobně stabilní. V Kenickém meandru se začne zazemňovat koryto meandru, voda do něj bude vtékat zpětným prouděním z ústí meandru. V nátoku meandru je vytvořená aluviální zátka, která bude společně s Kenickou akumulací bránit toku vody do meandru. Hynkovský meandr se pravděpodobně protrhne způsobem „neck cutoff“, jelikož se skrz šíji nachází několik koryt, která budou při zvýšené vodní hladině průtočná. Štěpánovská nátrž se bude stále rozšiřovat do přilehlé louky, kde jí ve vývoji nebrání žádné kořenové systémy stromů.

Výstupy diplomové práce jsou mapy vývoje břehových linií a mapy akumulace a eroze ve sledovaných lokalitách. Dále byla vytvořena online aplikace s názvem *Hodnocení vývoje fluviálních forem v CHKO Litovelské Pomoraví* pomocí platformy Web AppBuilder for ArcGIS prezentující získané výsledky. Výstupy a výsledky diplomové práce mohou být užitečné pro budoucí výzkum sledovaných oblastí nebo pro podobný výzkum jiného území.



## POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

Agisoft: Tutorials: Orthophoto & DEM Generation (with GCPs). *Agisoft Metashape* [online]. 2019 [cit. 2020-01-28]. Dostupné z:

<https://www.agisoft.com/support/tutorials/beginner-level/>

AOPK ČR. *Rozbory Chráněné krajinné oblasti Litovelské Pomoraví*: k 30. 6. 2017. 2017.

BERTALAN, László, Tibor NOVÁK, Zoltán NÉMETH, Jesús RODRIGO-COMINO, Ádám KERTÉSZ a Szilárd SZABÓ. Issues of Meander Development: Land Degradation or Ecological Value? The Example of the Sajó River, Hungary. *Water* [online]. 2018, **10**(11) [cit. 2019-10-08]. DOI: 10.3390/w10111613. ISSN 2073-4441. Dostupné z:

<http://www.mdpi.com/2073-4441/10/11/1613>

BERTALAN, Laszlo a Gergely SZABÓ. Lateral erosion monitoring along a southern section of Sajó (Slaná) River. In: *Detailed aerial mapping and flood impact monitoring in the V4 region* [online]. Brno: 2015, 2015 [cit. 2019-10-08]. DOI:

10.13140/RG.2.1.1034.2160. Dostupné z:

[https://www.researchgate.net/publication/291353894\\_Lateral\\_erosion\\_monitoring\\_along\\_a\\_southern\\_section\\_of\\_Sajo\\_Slana\\_River](https://www.researchgate.net/publication/291353894_Lateral_erosion_monitoring_along_a_southern_section_of_Sajo_Slana_River)

CloudCompare. Distances Computation. *CloudCompare* [online]. 2015 [cit. 2020-05-22]. Dostupné z:

[https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Distances\\_Computation](https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Distances_Computation)

Collin College. Sinuosity Ratio. *Collin College* [online]. 2017 [cit. 2020-05-22].

Dostupné z:

<http://faculty.collin.edu/dmcculloch/2406/Notes/Aquatic%20Ecosystems/Lotic/Start.htm>

COZ, J. Le, M. MICHALKOVÁ, A. HAUET, M. COMAJ, G. DRAMAIS, K. HOLUBOVÁ, H. PIÉGAY a A. PAQUIER. Morphodynamics of the exit of a cutoff meander: experimental findings from field and laboratory studies. *Earth Surface Processes and Landforms* [online]. 2010, **35**(3), 249-261 [cit. 2019-01-27]. DOI: 10.1002/esp.1896. ISSN 01979337. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/esp.1896>

ČHMÚ. Evidenční list hlásného profilu č.314a. *Hlásná a předpovědní povodňová služba* [online]. 2020 [cit. 2020-02-03]. Dostupné z:

[http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_prfbk\\_detail.php?seq=2505296](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=2505296)

Deeper. Deeper Smart Sonar CHIRP+. *Deeper* [online]. 2020a [cit. 2020-02-24].

Dostupné z: [https://deepersonar.com/cz/cs\\_cz/produkty/smart-sonar-chirp-plus](https://deepersonar.com/cz/cs_cz/produkty/smart-sonar-chirp-plus)

Deeper. Jak fungují sonary. *Deeper* [online]. 2020b [cit. 2020-02-24]. Dostupné z:

[https://deepersonar.com/cz/cs\\_cz/jak-to-funguje/jak-funguji-sonary](https://deepersonar.com/cz/cs_cz/jak-to-funguje/jak-funguji-sonary)

Deeper. Stručný návod k sonaru CHIRP+: Vrhání a snímání. *Deeper* [online]. 2020c [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: [https://deepersonar.com/cz/cs\\_cz/manual/casting-and-scanning-chirp](https://deepersonar.com/cz/cs_cz/manual/casting-and-scanning-chirp)

DILTS, T.E. *Polygon to Centerline Tool for ArcGIS*. University of Nevada Reno, 2015. Dostupné z: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=bc642731870740aabf48134f90aa6165>

DRAGIĆEVIĆ, Slavoljub, Mirjana PRIPUŽIĆ, Nenad ŽIVKOVIĆ, Ivan NOVKOVIĆ, Stanimir KOSTADINOV, Marko LANGOVIĆ, Boban MILOJKOVIĆ a Zoran ČVOROVIĆ. Spatial and Temporal Variability of Bank Erosion during the Period 1930–2016: Case Study—Kolubara River Basin (Serbia). *Water* [online]. 2017, **9**(10) [cit. 2019-10-08]. DOI: 10.3390/w9100748. ISSN 2073-4441. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2073-4441/9/10/748>

Ekologická správa vodních toků. *Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky: Regionální pracoviště Střední Čechy* [online]. 2019 [cit. 2019-10-01]. Dostupné z: <http://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/ekologicka-sprava-vodnich-toku/>

Esri. What is a Python toolbox?: A Python toolbox example. *Esri: ArcGIS Pro* [online]. 2019, 2019 [cit. 2019-12-06]. Dostupné z: [https://pro.arcgis.com/en/pro-app/arcpy/geoprocessing\\_and\\_python/a-quick-tour-of-python-toolboxes.htm](https://pro.arcgis.com/en/pro-app/arcpy/geoprocessing_and_python/a-quick-tour-of-python-toolboxes.htm)

FLENER, Claude, Matti VAAJA, Anttoni JAAKKOLA, et al. Seamless Mapping of River Channels at High Resolution Using Mobile LiDAR and UAV-Photography. *Remote Sensing* [online]. 2013, **5**(12), 6382-6407 [cit. 2019-01-27]. DOI: 10.3390/rs5126382. ISSN 2072-4292. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2072-4292/5/12/6382>

Geomorfologické celky: Břehová nátrž. *Lexikon tvarů reliéfu České republiky* [online]. Katedra geografie Přírodovědecké fakulty UP v Olomouci, 2010 [cit. 2019-10-01]. Dostupné z: [https://geography.upol.cz/soubory/studium/e-ucebnice/Smolova-2010/lexikon/fluvialni/brehova\\_natrz.html](https://geography.upol.cz/soubory/studium/e-ucebnice/Smolova-2010/lexikon/fluvialni/brehova_natrz.html)

HOLÍK, Petr. *Hydrologická konektivita a sedimentační procesy v odškrnceném Strážnickém a Kenickém meandru*. Brno, 2017. Dostupné z: <https://theses.cz/id/7fs141/>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Mgr. Monika Šulc Michalková, Ph.D. et Ph.D.

HUGGETT, Richard J. *Fundamentals of geomorphology*. Fourth edition. New York: Routledge, Taylor & Francis Group, 2017. ISBN 978-1-138-94064-2.

CHARLTON, Ro. *Fundamentals of fluvial geomorphology*. New York: Routledge, 2008. ISBN 978-0-415-33454-9.

KNIGHTON, David. *Fluvial forms and processes: a new perspective*. Rev. and update ed. New York: Arnold, c1998. ISBN 9780340663134.

KNOT, Martin. *Hydromorfologický monitoring aktuálního vývoje řeky Moravy v Litovelském Pomoraví*. Brno, 2015. Dostupné z: <https://theses.cz/id/yxmd8p/>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Mgr. Monika Šulc Michalková, Ph.D. et Ph.D.

KREJČÍ, Lukáš. *Fluviální tvary v NPR Ramena řeky Moravy*. Brno, 2006. Dostupné z: <https://theses.cz/id/lchld1/>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Doc. RNDr. Zdeněk Máchka, Ph.D.

KULEK, Michal. *Klasifikace odtokových režimů evropských řek*. Plzeň, 2017. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/27868/1/BP-Kulek.pdf>. Balakářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta pedagogická, Centrum biologie, geověd a envigiky. Vedoucí práce RNDr. Jan Kopp Ph.D.

LEJOT, Jérôme, Hervé PIÉGAY, Peter David. HUNTER, Bertrand MOULIN a Mathieu GAGNAGE. Utilisation de la télédétection pour la caractérisation des corridors fluviaux : exemples d'applications et enjeux actuels. *Géomorphologie: relief, processus, environnement* [online]. 2011, **17**(2), 157-172 [cit. 2019-01-27]. DOI: 10.4000/geomorphologie.9362. ISSN 1266-5304. Dostupné z: <http://journals.openedition.org/geomorphologie/9362>

LEOPOLD, LUNA B. a M. GORDON WOLMAN. RIVER MEANDERS. *Geological Society of America Bulletin* [online]. 1960, **71**(6), 0016-7606-71-6-769-27513 [cit. 2019-09-17]. DOI: 10.1130/0016-7606(1960)71[769:RM]2.0.CO;2. ISSN 0016-7606. Dostupné z: <https://pubs.geoscienceworld.org/gsabulletin/article/71/6/769-793/5195>

MÁČKA, Zdeněk a Lukáš KREJČÍ. *Řiční dřevo ve vodních tocích ČR*. Brno: Masarykova univerzita, 2011. ISBN 978-80-210-5624-4.

MÁČKA, Zdeněk a Lukáš KREJČÍ. Výskyt dřevní hmoty v korytech vodních toků České republiky. *Vodní hospodářství* [online]. 2010, **60**(2), 33-36 [cit. 2019-10-01]. ISSN 1211-0760. Dostupné z: <http://www.vodnihospodarstvi.cz/ArchivPDF/vh2010/vh02-2010.pdf>

MÁČKA, Zdeněk, Lukáš KREJČÍ a AGENTURA OCHRANY PŘÍRODY A KRAJINY ČESKÉ REPUBLIKY. *Prognóza geomorfologického vývoje řeky Moravy v úseku od jezu Hynkov po Kenickou lávku: NPR Ramena řeky Moravy, CHKO Litovelské Pomoraví*. Brno, 2006.

MICHELI, E. R. a E. W. LARSEN. River channel cutoff dynamics, Sacramento River, California, USA. *River Research and Applications* [online]. 2011, **27**(3), 328-344 [cit. 2019-12-06]. DOI: 10.1002/rra.1360. ISSN 15351459. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/rra.1360>

MIRŤJOVSKÝ, Jakub. *Bezpilotní systémy: sběr dat a využití ve fotogrametrii*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci pro katedru geoinformatiky, 2013. Terra notitia. ISBN 978-80-244-3923-5.

MIRIJOVSKÝ, Jakub, Monika Šulc MICHALKOVÁ, Otmar PETYNIÁK, Zdeněk MÁČKA a Milan TRIZNA. Spatiotemporal evolution of a unique preserved meandering system in Central Europe — The Morava River near Litovel. *CATENA* [online]. 2015, **127**, 300-311 [cit. 2019-01-11]. DOI: 10.1016/j.catena.2014.12.006. ISSN 03418162. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0341816214003580>

NETOPIĽ, Rostislav, Rudolf BRÁZDIL, Jaromír DEMEK a Pavel PROŠEK. *Fyzická geografie I*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1984.

ONDRUCH, Jakub a Zdeněk MÁČKA. Response of lateral channel dynamics of a lowland meandering river to engineering-derived adjustments - an example of the Morava River (Czech Republic). *Open Geosciences* [online]. 2015, **7**(1) [cit. 2019-10-08]. DOI: 10.1515/geo-2015-0047. ISSN 2391-5447. Dostupné z: <https://www.degruyter.com/view/j/geo.2015.7.issue-1/geo-2015-0047/geo-2015-0047.xml>

PETYNIÁK, Otmar. *Stav a budoucí vývoj odtrženého meandru v CHKO Litovelské Pomoraví*. Olomouc, 2014. Dostupné z: <https://theses.cz/id/6xmqfj/>. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Jakub Mířijovský, Ph.D.

PETYNIÁK, Otmar. *Analýza současného vývoje reliéfu Kenického meandru*. Olomouc, 2012. Dostupné z: <https://theses.cz/id/o42czx/>. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Jakub Mířijovský.

PURKET, Tomáš. *Zaměření a hodnocení vývoje geomorfologických objektů pomocí geodetických a fotogrammetrických metod*. Olomouc, 2015. Dostupné z: <https://theses.cz/id/x8cuj2/>. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Jakub Mířijovský, Ph.D.

RUSNÁK, Miloš, Ján SLÁDEK, Jan PACINA a Anna KIDOVÁ. Monitoring of avulsion channel evolution and river morphology changes using UAV photogrammetry: Case study of the gravel bed Ondava River in Outer Western Carpathians. *Area* [online]. 2019, **51**(3), 549-560 [cit. 2019-10-08]. DOI: 10.1111/area.12508. ISSN 00040894. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/area.12508>

SCHUMM, S. A. Patterns of Alluvial Rivers. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* [online]. 1985, , 5-27 [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: [http://user.engineering.uiowa.edu/~cee\\_171/handouts/Schumm\\_1985.pdf](http://user.engineering.uiowa.edu/~cee_171/handouts/Schumm_1985.pdf)

STØLUM, H.-H. River Meandering as a Self-Organization Process. *Science* [online]. 1996, **271**(5256), 1710-1713 [cit. 2019-09-17]. DOI: 10.1126/science.271.5256.1710. ISSN 0036-8075. Dostupné z: <http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.271.5256.1710>

*TimeStamp Converter: Epoch Unix Time Stamp Converter* [online]. 2019 [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <https://www.unixtimestamp.com/>

Trimble. Datasheet – Trimble R4 GNSS - English. *Trimble* [online]. 2015 [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <https://community.trimble.com/docs/DOC-1243>

TÜRK, Gábor, Laszlo BERTALAN, Boglarka BERTALAN-BALAZS, Edina BARANYAI a Szilard SZABO. Process of overturning due to a floodwave in an oxbow lake of Tisza river. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* [online]. 2016, **11**(1), 255-264 [cit. 2019-10-08]. ISSN 1844 - 489X. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/289522875\\_Process\\_of\\_overturning\\_due\\_to\\_a\\_floodwave\\_in\\_an\\_oxbow\\_lake\\_of\\_Tisza\\_River](https://www.researchgate.net/publication/289522875_Process_of_overturning_due_to_a_floodwave_in_an_oxbow_lake_of_Tisza_River)

ZEDNÍČKOVÁ, Kristýna. *Optimalizace digitálních modelů terénu pro potřeby ortogonalizace leteckých měřických snímků*. Olomouc, 2017. Dostupné z: <https://theses.cz/id/qxhwbc/>. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Jakub Miřijovský, Ph.D.

ŽERNÍČKOVÁ, Olga. Kapitola voda. MACHAR, Ivo a a kol. *Terénní průvodce pro ochránářská a přírodovědná praktika a exkurze v CHKO Litovelské Pomoraví* [online]. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2012 [cit. 2020-02-03]. ISBN 978-80-244-3116-1. Dostupné z: [http://envirup.profimap.cz/download/terpruvodcichko/3\\_voda.pdf](http://envirup.profimap.cz/download/terpruvodcichko/3_voda.pdf)

## **PŘÍLOHY**

# SEZNAM PŘÍLOH

## Vázané přílohy:

Příloha 1 Grafy příčných profilů v Kenickém meandru

## Volné přílohy:

Příloha 2 Mapa *Vývoj břehové linie v Kenickém meandru mezi lety 1836 až 2018*

Příloha 3 Mapa *Vývoj Kenického meandru mezi lety 1938 až 2018*

Příloha 4 Mapa *Vývoj břehové linie v Hynkovském meandru mezi lety 1836 až 2018*

Příloha 5 Mapa *Vývoj Hynkovského meandru mezi lety 1938 až 2018*

Příloha 6 Mapa *Vývoj břehové linie ve Štěpánovské nátrži mezi lety 1836 až 2018*

Příloha 7 Mapa *Vývoj Štěpánovské nátrže mezi lety 1938 až 2018*

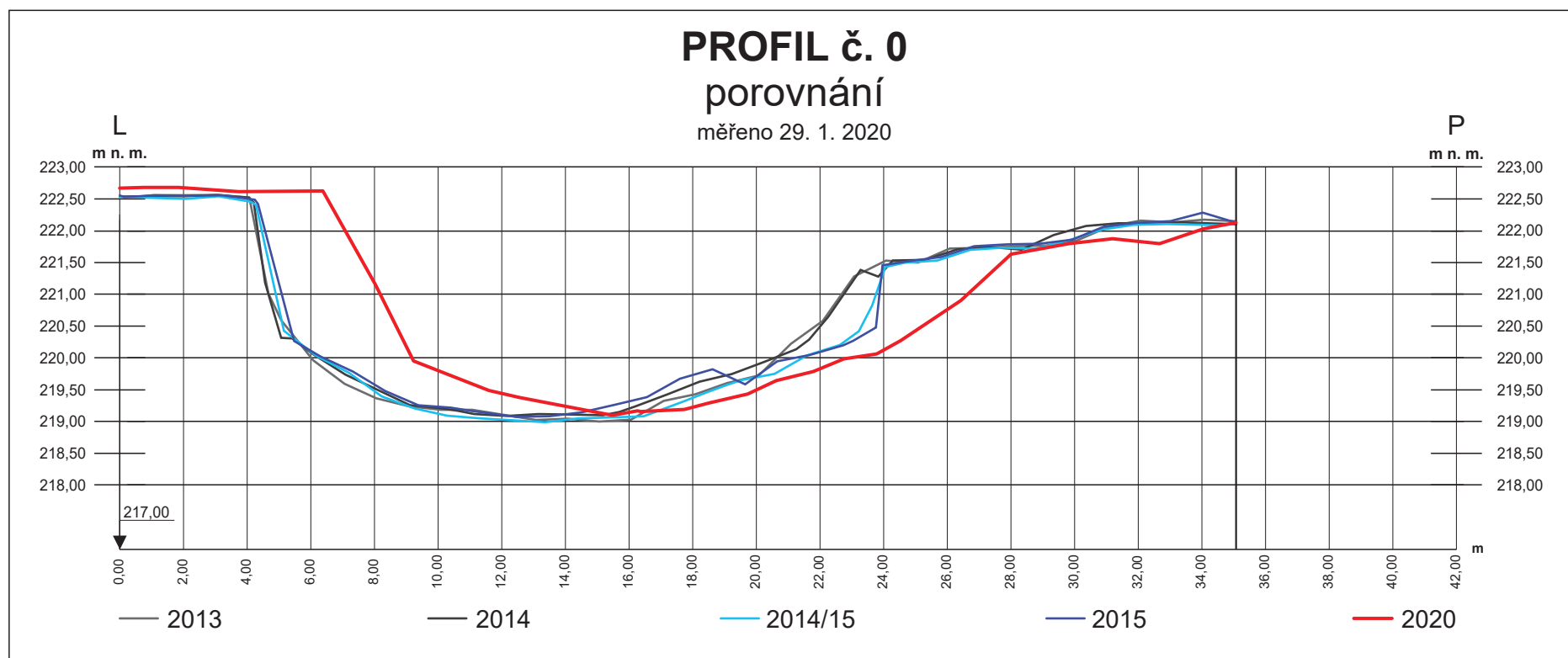
Příloha 8 Poster

Příloha 9 DVD

## Popis struktury CD:

Adresář	Podadresář		
Poster	-		
Text_Prace	Prilohy		
Vstupni_data	Petyniak		
	Purket		
Vystupni_data	Arcmap_analyzy	Vysledky	Hynkovsky_meandr
			Kenicky_meandr
			Modely
			Ortofoto_2018
			Ortofoto_2020
			Ostatni
	Stepanovska_natrz		
	CloudCompare_mracna_bodu		
	Data_jez_Hynkov		
	Pricne_profily		
Web	css		
	docs		
	fonts		
	images		
	js		

**Příloha 1** Grafy příčných profilů v Kenickém meandru

























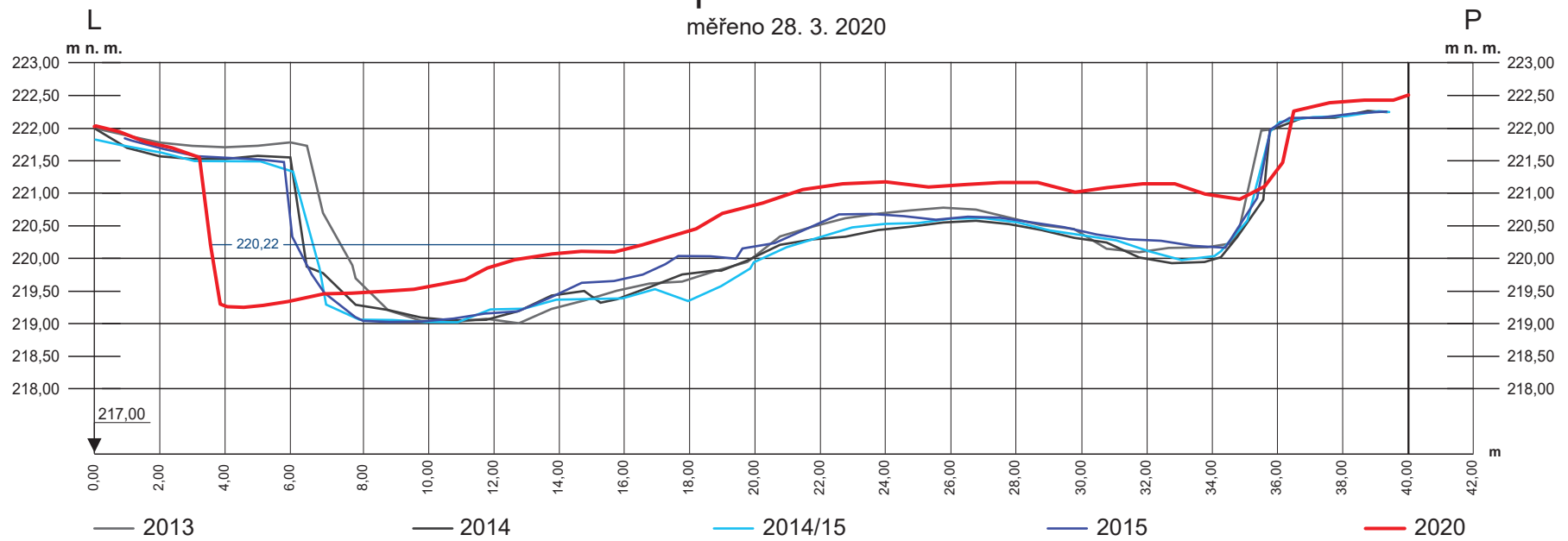




# PROFIL č. 12

## porovnání

měřeno 28. 3. 2020



# PROFIL č. 13

## porovnání

měřeno 28. 3. 2020

