

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky

**ZAMĚŘENÍ A HODNOCENÍ VÝVOJE
GEOMORFOLOGICKÝCH OBJEKTŮ POMOCÍ
GEODETICKÝCH A FOTOGRAMMETRICKÝCH
METOD**

Bakalářská práce

Tomáš PURKET

Vedoucí práce RNDr. Jakub Miřijovský, Ph.D.

Olomouc 2015

Geoinformatika a geografie

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá opakovaným zaměřením a vyhodnocením vybraných geomorfologických objektů v CHKO Litovelské Pomoraví. Zaměření bylo provedeno pomocí geodetických a fotogrammetrických metod.

Konkrétně se zabývá vývojem koryta řeky Moravy v oblasti Hynkovského meandru a vývojem břehové nátrže u Štěpánova. Vyhodnocení koryta řeky Moravy probíhalo ze snímků z let: 1971, 1985, 1994, 2003, 2006, 2015. Obsahuje dále zhodnocení vývoje koryta řeky v PR Kenický pomocí snímků z roků 2014 a 2015 a vyhodnocení geodetického měření příčných profilů ze dvou etap měření provedených mezi listopadem 2014 a červencem 2015 v Kenickém meandru a jeho okolí. K tomuto měření byla využita metoda nivelace ze středu. Do tohoto hodnocení jsou zahrnuta i data z diplomové práce Otmara Petyniaka. Poslední součástí vyhodnocení je analýza současného stavu lokality U Věže. Dále je stanoven odhad budoucího vývoje těchto lokalit.

KLÍČOVÁ SLOVA

Fluviální geomorfologie, meandr, břehová nátrž, Litovelské Pomoraví, geodetické metody, vizuální fotointerpretace

Počet stran práce: 51

Počet příloh: 6 (z toho 5 vázaných a 1 volná)

ANOTATION

This bachelor's thesis deals with repeated orientation and assessment selected geomorphological objects in CHKO Litovelské Pomoraví. It was done by means of geodesic and photogrammetric methods.

In concrete it treats evolution of Hynkovský meander and evolution of bank failure by Štěpánov on aerial photographs from the years 1971, 1985, 1994, 2003, 2006, 2015. It contains the assessment of evolution the riverbed in PR Kenický by means snaps from 2014 and 2015 and assessments geodetical measurements of transversal profiles from the two periods of measurements made between November 2014 and July 2015 in Kenický meander and its surroundings.

In this assessments there are dates from Otmar Petyniak's diploma work. The last part of assessment is the analysis of present situation of the locality U Věže and estimate of future evolution in these localities.

KEYWORDS

Fluvial geomorphology, meander, bank failure, Litovelské Pomoraví, geodetic methods, visual photointerpretation

Number of pages: 51

Number of appendixes: 6

Prohlašuji, že

- bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu. Svoji bakalářskou práci částečně navazuji na bakalářskou práci a diplomovou práci Otmara Petyniaka, kdy byly použity výstupy z těchto prací pro navázání vyhodnocení vývoje sledovaných lokalit.

- jsem si vědom, že na moji bakalářskou 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, bakalářskou práci užívat (§ 35 odst. 3),

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

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

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

- použít výsledky a výstupy mé bakalářské 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

Tomáš Purket

podpis autora

Děkuji vedoucímu práce RNDr. Jakubu Miřijovskému, Ph.D. za podněty a připomínky při vypracování práce, za zapůjčení vybavení a poskytnutí leteckých snímků. Dále bych rád poděkoval Ing. Olze Žerníčkové a Mgr. Vladislavu Holecovi za zapůjčení člunu a také Otmaru Petyniakovi za uvedení do řešené problematiky, následné pomoci a poskytnutí cenných rad při řešení bakalářské práce.

Dále bych rád poděkoval za pomoc při terénních pracích Ladislavu Rozkošnému, Barboře Švarcové, Svatopluku Místeckému, Antonínu Haasovi, Radkovi Barvířovi, Heleně Uhrové, Martinu Knotovi, Milanu Tulkovi, Janě Martincové, Janovi Hlavatému a Ladislavu Petrovi.

Nakonec bych rád poděkoval celé rodině za podporu v průběhu celého studia.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
Přírodovědecká fakulta
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš PURKET**
Osobní číslo: **R120451**
Studijní program: **B1301 Geografie**
Studijní obor: **Geoinformatika a geografie**
Název tématu: **Zaměření a hodnocení vývoje geomorfologických objektů pomocí geodetických a fotogrammetrických metod**
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 práce je provést opakované zaměření a vyhodnocení vývoje reliéfu pomocí geodetických a fotogrammetrických metod v Přírodní rezervaci Kenický a na dalších vybraných územích. Mezi dílčí cíle patří tvorba 3D modelů vybraných tvarů reliéfu a jejich časoprostorová analýza. Jedná se o třetí etapu měření, kdy student naváže na výsledky z předcházejících prací. Student vyplní údaje o všech datových sadách, které vytvořil nebo získal v rámci práce, do Metainformačního systému katedry geoinformatiky a současně 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 bakalářské práci student vytvoří webovou stránku v souladu s pravidly dostupnými na stránkách katedry. Práce bude zpracována podle zásad dle Voženílek (2002). Práce bude sepsána podle šablony pro bakalářské a magisterské práce na KGI.

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

- Anděl, J. (1998). Statistické metody. Matfyzpress, 300 s. ISBN 8085863278
- LILLESAND, T., KIEFER, R., CHIPMAN, J. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons, Inc., New York, 756 s., 2008.
- CAMPBELL, J., B., RANDOLPH, H. W. Introduction to Remote Sensing. 5th ed. Guilford Press, New York, 667 s., 2011.
- Odborná periodika zabývající se zpracováním multispektrálních dat (Remote Sensing for environment).
- Technická dokumentace ke kameře ADC Tetracam.
- VOŽENÍLEK, V. (2002): Diplomové práce z geoinformatiky. Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc, UP, 31 s.


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

Datum zadání bakalářské práce: **30. června 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce: **14. května 2015**

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

Prof. RNDr. Ivo Frébort, CSc., Ph.D.
děkan

L.S.


Prof. RNDr. Vít Voženílek, CSc.
vedoucí katedry

V Olomouci dne 30. června 2014

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 CÍLE PRÁCE.....	11
2 ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ	12
3 POUŽITÉ METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ.....	14
3.1 Použité metody	14
3.1.1 Geodetické metody.....	14
3.1.2 Zpracování leteckých snímků	15
3.2 Použitá data	15
3.3 Použité programy.....	15
3.4 Postup zpracování	15
4 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	17
4.1 Zákrut vodního toku.....	17
4.2 Proudění.....	18
4.3 Vymezení koryta	19
4.4 Zahraniční výzkum vývoje koryta.....	19
4.5 Výzkum v ČR a předchozí výzkum v lokalitě Kenický	20
5 VLASTNÍ ŘEŠENÍ	22
5.1 Práce v terénu	22
5.1.1 Oblast Kenický	22
5.1.2 Ostatní měřené lokality.....	24
5.2 Zpracování naměřených hodnot a stažených dat	24
5.3 Zpracování a fotointerpretace leteckých snímků	25
6 VYHODNOCENÍ ZMĚNY LOKALIT, PŘÍČNÝCH PROFILŮ A BŘEHOVÝCH LINIÍ. 28	
6.1 Vývoj Kenického meandru mezi roky 2014 a 2015.....	29
6.2 Hodnocení změn příčných profilů v lokalitě Kenický v období 2011 až 2015 ..	30
6.3 Vyhodnocení vývoje Hynkovského meandru.....	41
6.4 Vyhodnocení vývoje břehové nátrže u Štěpánova	43
6.5 Současná podoba lokality U Věže	45
6.6 Budoucí vývoj sledovaných lokalit	45
7 DISKUZE.....	47
8 ZÁVĚR	48
9 SUMMARY.....	50
POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
PŘÍLOHY	

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
AOPK ČR	Agentura Ochrany Přírody a Krajiny České Republiky
GLONASS	Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Systěma
GSM	Groupe Spécial Mobile
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
CHKO	Chráněná Krajinná Oblast
KGI	Katedra Geoinformatiky
NPR	Národní Přírodní rezervace
PR	Přírodní Rezervace
RTK	Real Time Kinematic
SHP	Shapefile
TIN	Triangulated Irregular Network
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
VGHMÚř	Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad

ÚVOD

Řeky jsou odedávna součástí lidské společnosti. Z historie víme, že kolem řek se vyvíjely první lidské osady a postupně se z nich vyvíjela města. V minulosti byl chápan vývoj říčních koryt jako přirozené chování řeky. V rámci rozmachu civilizace se začalo pronikat do oboru fluviální geomorfologie. V několika posledních desetiletí byly výrazně upravovány pro lidské potřeby se postupně začaly řeky výrazně upravovat pro lidské potřeby, což mělo za následek ničení přirozených geomorfologických tvarů a přirozených biotopů. Výzkum vývoje koryta v CHKO Litovelské Pomoraví je zajímavý zejména pro přirozený charakter území. Řeka Morava a její okolí je v NPR Ramena řeky Moravy lidskou činností téměř nepoznamenaná, tudíž má zde možnost přirozeného vývoje. V CHKO Litovelské Pomoraví řeka Morava tvoří tzv. vnitrozemskou deltu. Delta je tvořena kromě hlavního koryta také bočními stálými rameny i periodicky protékanými. V okolí řeky Moravy se rozkládá lužní les, který umožňuje řece volně meandrovat, vytvářet smuhy a další geomorfologické jevy. Tento jev je na území České Republiky téměř ojedinělý.

Tato práce navazuje na předchozí výzkum Otmara Petyniaka. Jeho bakalářská práce se zabývala analýzou vývoje reliéfu v PR Kenický, na kterou navazuje svoji diplomovou prací zabývající se vývojem odtrženého Kenického meandru. Následující kapitoly bakalářské práce vytváří podklady pro další možný výzkum ve sledovaných lokalitách.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je provést opakované zaměření a vyhodnocení vývoje Kenického meandru pomocí geodetických a fotogrammetrických metod v období 2014 až 2015, kdy bude navázáno na výsledky bakalářské a diplomové práce Otmara Petyniaka. Dalším cílem práce je zpracování sedmi sad leteckých snímků z uplynulých 44 let, které zahrnují lokality Hynkovský meandr a břehová nátrž u Štěpánova. V těchto lokalitách bude provedena analýza vývoje koryta řeky, či fluviálních tvarů ve sledovaném období a bude stanoven odhad budoucího vývoje. Dále bude vytvořen popis současného stavu lokality U Věže.

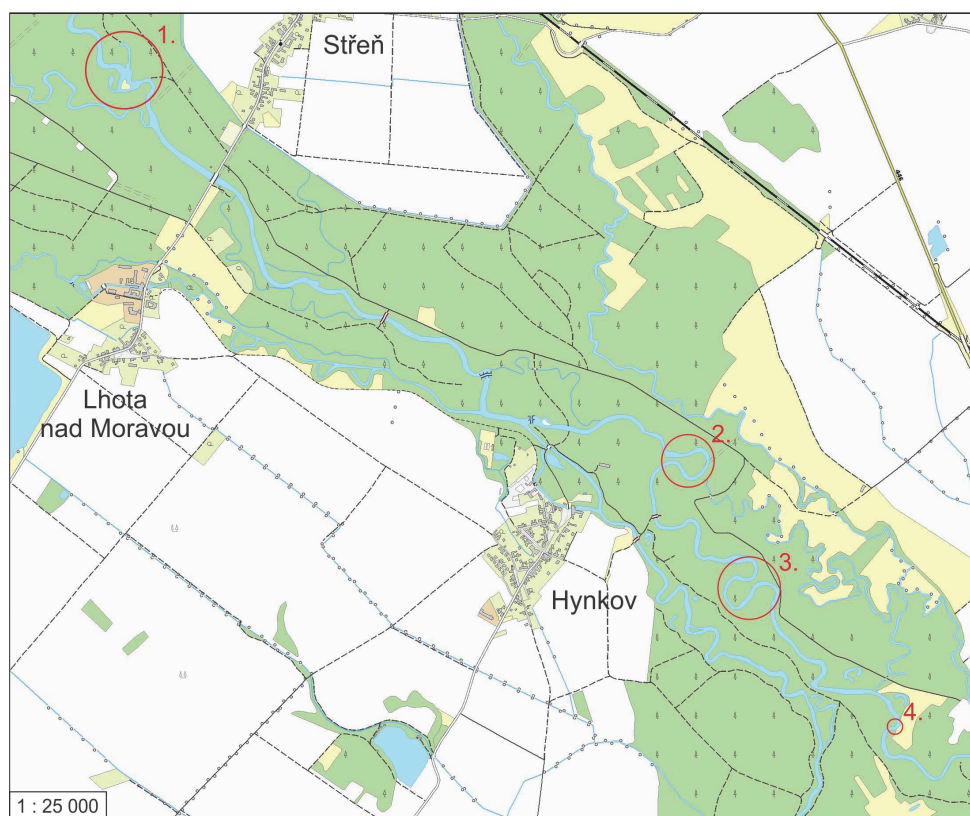
Cíl vytvoření 3D modelů a jejich časoprostorová analýza byl po konzultaci s vedoucím práce pozměněn. Tato část práce měla navazovat na výzkum Heleny Uhrové v její diplomové práci. Tento cíl byl pozměněn na pomoc při fotogrammetrickém zaměření daných lokalit. Zpracování, vytvoření 3D modelů a hodnocení vývoje daných útvarů je součástí práce Heleny Uhrové.

Součástí bakalářské práce je také obsluha a čištění senzorů umístěných v oblasti PR Kenický a v obci Hynkov.

2 ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ

Oblast Litovelského Pomoraví byla vyhlášena jako CHKO Litovelské Pomoraví v roce 1990. Nachází se mezi městy Mohelnice a Olomouc kolem koryta řeky Moravy. Jeho rozloha činí 96 km². Důvodem k stanovení této oblasti jako CHKO byla ochrana hlavního toku řeky Moravy, jejích mrtvých ramen a lužních lesů. Oblast je zajímavá zejména pro přirozeně meandrující tok řeky Moravy, ale i pro bohatá a unikátní společenstva rostlin a živočichů, které se zde mohli kvůli ojedinělým podmínkám vyvinout. Dalším významným prvkem této oblasti je samočistící schopnost řeky, které dosáhla vlivem svého přirozeného charakteru. Litovelské Pomoraví má velmi specifické podmínky, čímž se stává jedinou takto dochovanou oblastí ve střední Evropě. Vznikla zde také Národní přírodní rezervace Ramena řeky Moravy, což představuje oblast mezi Litovlí a Horkou nad Moravou.

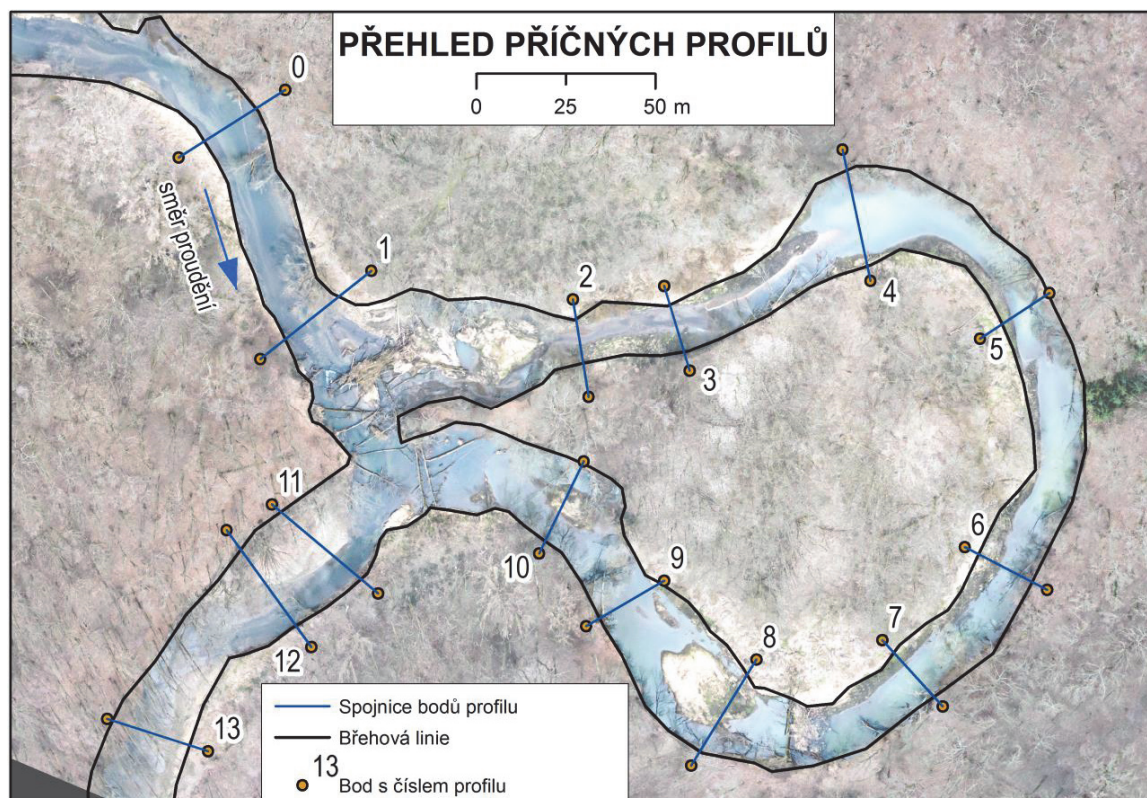
Morava se v oblasti CHKO rozvětňuje a tvoří tzv. vnitrozemskou deltu. Tato síť obsahuje kromě hlavních a bočních ramen, také mrtvá koryta a periodicky protékající koryta. Tato část řeky tvoří významný zdroj pitné vody pro olomouckou zástavbu.



Obr. 1 Sledované území – 1. U Věže, 2. Kenický meandr, 3. Hynkovský meandr, 4. břehová nátrž u Štěpánova (zdroj: autor)

Práce sleduje území skládající se ze čtyř oblastí: U Věže, Kenický meandr, Hynkovský meandr a břehová nátrž u Štěpánova (viz obr. 1). Tyto lokality byly vybrány vedoucím práce. První oblast se nachází nad komunikací mezi obcí Střeň a Lhota nad Moravou. Název U Věže je pro toto místo zažitým místním názvem. Tato oblast již prošla v minulosti velkým vývojem, nyní zde dochází k přírodnímu narovnání koryta. Druhá a nejdéle sledovaná oblast je Přírodní rezervace Kenický, která se nachází 3 kilometry po proudu, severo-východně od obce Hynkov. Oblast se začala sledovat na katedře

Geoinformatiky v roce 2011 z důvodů očekávání protržení Kenického meandru, které nastalo v roce 2012 a v současnosti probíhá sledování zazemňování meandru pomocí geodetických metod. K tomuto účelu jsou v oblasti vytvořeny příčné profily z předchozího výzkumu Otmara Petyniaka a Heleny Uhrové. V průběhu jejich výzkumu se počet a umístění profilů měnil. V současnosti je profilů 14 (viz obr. 2). Hynkovský meandr je třetí sledovanou oblastí, nacházející se zhruba 700 metrů jihovýchodně od Kenického meandru. Oblast ještě nebyla zkoumána a k porovnání vývoje poslouží pouze letecké snímky. Posledním sledovaným územím je tzv. břehová nátrž u Štěpánova. Ta leží po proudu nejnižě, zhruba jeden kilometr od Hynkovského meandru. V této oblasti probíhá výzkum již několik let.



Obr. 2 Přehled příčných profilů (autor: Otmara Petyniak)

3 POUŽITÉ METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

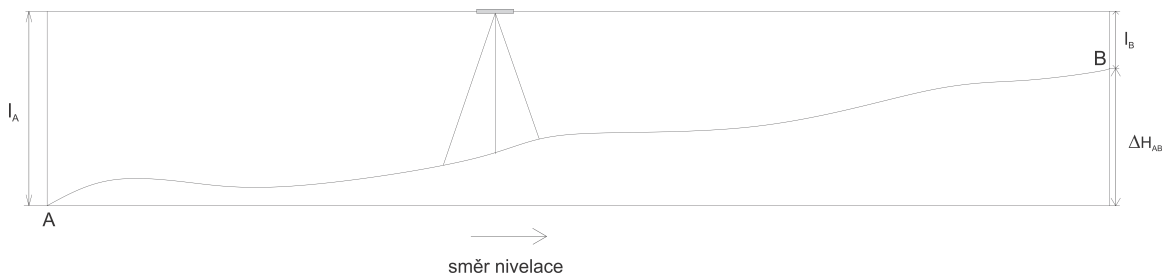
3.1 Použité metody

3.1.1 Geodetické metody

Nivelace

Metoda slouží k určení výškových rozdílů dvěma a více body pomocí nivelačního přístroje a nivelačních pomůcek. Nivelaci je možné provádět dvěma způsoby: **nivelace vpřed** a **nivelace ze středu**. Při práci v terénu byla použita metoda nivelace ze středu, kdy je přístroj postaven zhruba na střed mezi body AB a připraví se k měření. První měření je provedeno směrem vzad. Na bod A je přiložena nivelační lať a odečten laťový úsek l_A . Poté je provedeno měření vpřed, kdy se lať přiloží na bod B a je odečten laťový úsek l_B . Následně lze spočítat převýšení mezi body A a B pomocí vzorce (2).

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = l_A - l_B = z - p \quad (2)$$



Obr. 3 Nivelace ze středu (zdroj: autor)

Při měření byla metoda upravena. Jelikož není možné přístroj umístit uprostřed říčního toku, bylo nutné ho přemístit do blízkosti jednoho z krajních bodů. Tato úprava měření neovlivnila. Pro měření byl využit nivelační přístroj s kompenzátorem SOUTH NL-20.

Tachymetrie

Tento druh měření se využívá ke zjištění polohopisu a výškopisu. Pomocí známých souřadnic bodu, na kterém je stroj umístěn a orientačního bodu lze následně z naměřených hodnot zjistit polohu měřených bodů. Pomocí tachymetru můžeme měřit délky, vodorovný úhel a svislý úhel. Podle typu přístroje rozdělujeme tachymetrii na **nitkovou** a **elektronickou**. Při měření byl použit elektronický tachymetr značky Topcon s odrazným hranolem.

Použití GNSS přijímače

V průběhu měření bylo nutné zaměřit několik bodů (stabilizační kolíky, stanoviště atd.). K tomuto účelu byl použit dvoufrekvenční GNSS přijímač **Topcon HiPer II**, který je schopen přijímat signál ze systému GLONASS a GPS. Dále přístroj obsahuje vestavěný GSM modem pro připojení systémem RTK, díky kterému se lze připojit například do sítě TopNET. Tato síť byla také využita při měření. Přesnost měření je do 3 cm. Naměřená data byla následně stažena a uložena do formátu TXT. Formát byl pro další práci dostatečný, ale pro pohodlnější používání byl převeden do formátu SHP pomocí programu QGIS 2.4.0-Chugiak a jeho funkce „Vytvořit vrstvu z textového souboru s odděleným textem“.

3.1.2 Zpracování leteckých snímků

Snímky byly zpracovány v programu ArcGIS for Desktop 10. Zde byla většina snímků zgeoreferencována, následně zdigitalizovány břehové linie a vytvořeny středové linie koryta. Z vytvořených dat bylo dále možno vyhodnotit vývoj změn koryta toku.

3.2 Použitá data

Pro fotogrammetrické práce bylo poskytnuto vedoucím práce několik leteckých měřičských snímků, které v roce 2011 prodal Vojenský geografický a hydrometeorologický ústav Dobruška. Tyto snímky byly zakoupeny pro práci s lokalitou PR Kenický. Proto se na nich lokalita U Věže nenalézala. Jedná se o snímky z let 1971, 1985, 1994, 2003, 2006. Zpracovány byly také snímky, které vytvořil této vedoucí práce v roce 2014 pomocí UAV. Zde je zachycena pouze oblast Kenický. Poslední sada snímků pochází z počátku roku 2015, kdy byla nasnímána většina CHKO Litovelské Pomoraví. Pouze na této sadě snímků se nalézá lokalita U Věže.

Z diplomové práce Otmara Petyniaka byla použita část datasetu, která obsahovala břehové linie vyznačené na podkladových leteckých snímcích. Dále z této práce byla využita naměřená data příčných profilů, sloužících k porovnání a vyhodnocení jejich vývoje.

Letecké snímky poskytl VGHMÚř Dobruška © MO ČR 2011

3.3 Použité programy

V terénu byly naměřené údaje zapisovány do papírového bloku. Získaná data byla v následující fázi přepsána do elektronické podoby. K zápisu a editaci byl použit Excel 2013 ze sady Microsoft Office 2013. Data z GNSS přijímače byla převedena do formátu SHP pomocí programu QGIS Desktop 2.4.0. Zpracování leteckých snímků proběhlo kompletně v programu ArcGIS for Desktop 10 a k vytvoření středové linie polygonu byl využit toolbox Polygon to Line. Všechny grafické výstupy prošly grafickou úpravou v programu CorelDRAW X6. Pro stahování a zpracování dat ze srážkoměru byl použit program BoxCar 4.3. Pro stažení dat z levelloggeru a barologgeru byl použit software Levellogger 4.1.0 poskytovaný výrobcem.

3.4 Postup zpracování

Vytvoření, zpracování a vyhodnocení podkladů pro bakalářskou práci se skládalo ze dvou dílčích částí. První část byla založena na terénním měření v CHKO Litovelském Pomoraví. Druhá část spočívala ve zpracování naměřených dat, zpracování leteckých snímků, vytvoření břehových a středových linií a celkovém vyhodnocení.

Terénní práce probíhaly od listopadu 2014 do července 2015. Během tohoto období byly naměřeny 2 sady příčných profilů v PR Kenický. První sada vznikla na podzim a v zimě, druhá na jaře a v létě. Linie příčných profilů byly převzaty z diplomové práce Otmara Petyniaka z důvodu navázání na předchozí výzkum. Během měření byla také stahována data ze senzorů, které jsou umístěny v Kenickém meandru a obci Hynkov. V listopadu a březnu došlo k zaměření pomocí fotogrammetrických metod několika břehových nátrží. Jednalo se o nátrž pod protrhlou šíjí Kenického meandru, břehovou nátrž u Štěpánova a čtyři nátrže v PR Vrapač.

Ve druhé části byla naměřená data nejdříve přepsána do elektronické podoby v Excel 2013. Z dat vznikly grafy, které byly exportovány a následně upraveny v CorelDRAW X6. Dalším krokem bylo zpracování leteckých snímků

z VGHMÚř Dobruška. Ty byly postupně zgeoreferencovány a transformovány do souřadnicového systému S-JTSK. Letecké snímky nasnímané vedoucím práce již byly v řádném souřadnicovém systému. Následovalo vyznačení břehových linií na snímcích ve vybraných lokalitách a v jejich blízkém okolí (viz Obr. 4). Z důvodu eliminace možných nepřesností byly vytvořeny středové linie koryta, které jsou vhodnější vyjádření jeho vývoje. Předposlední částí práce bylo vytvoření tzv. vodících linek, na kterých byl odměřován prohyb koryta v určitém období. Nakonec následovalo vyhodnocení výsledků a odhad budoucího vývoje.



Obr. 4 Ukázka porovnání břehových linií
(Letecký snímek poskytl VGHMÚř Dobruška © MO ČR 2011)

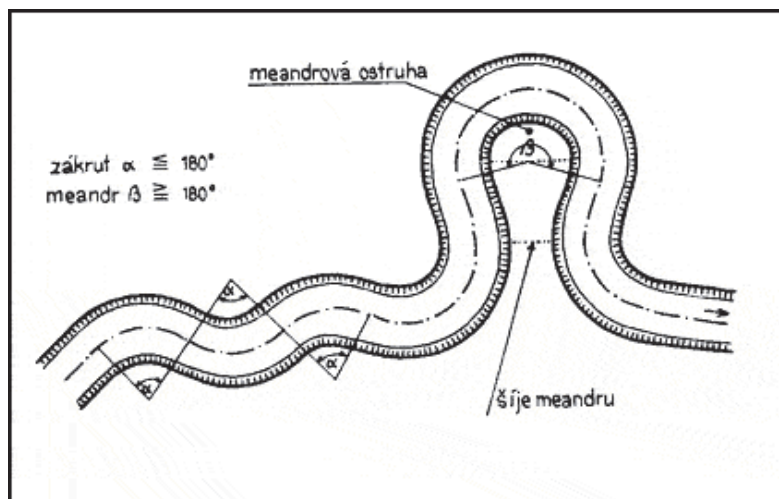
4 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V přirozeném vývoji mohou mít koryta mnoho podob. Mohou být přímá až meandrující, s jedním ramenem, nebo mohou být rozvětveny do více ramen. Charakter tvaru toku je ovlivněn několika faktory, například charakterem materiálu, ze kterého se skládá břeh a dno. Nejvýraznější vliv má ale energie, se kterou proudí voda korytem. Energie je zvyšována postupně s průtokem, sklonem a tvarem koryta. Například pro meandrující toky je charakteristický nižší spád, nižší energie proudu a soudržnější materiál, ze kterého jsou břehy tvořeny.

4.1 Zákrut vodního toku

Definice meandru je podle SMOLOVÁ a VÍTEK (2007): „Meandr je zákrut vodního toku nebo údolí, jehož délka je větší než polovina obvodu kružnice opsané nad jeho tětivou. Středový úhel β oblouku je větší než 180° .“ Pokud je úhel β menší než 180° nejedná se o meandr, ale o zákrut. Přesnější vymezení meandrující řeky je **sinusoida** (koeficient křivolakosti) (STØLUM, 1996). Sinusoida je poměr délky vodního toku mezi dvěma body osou koryta a nejkratší spojnici těchto bodů. Podle LEOPOLD, WOLMAN (1957) by tento koeficient měl být větší než 1,5, aby se jednalo o meandrující řeku.

Rozlišují se meandry volné (zákruty řeky v široké nivě; poloha se mění snadněji) a zakleslé (zákruty v údolí v pevném podkladě; hůře mění polohu). Meandr má nánosový neboli jesešní břeh. Tento břeh je často překryt naplaveninami (materiál plavený řekou) a většinou se postupně svažuje směrem k vodní hladině. Opačný břeh se nazývá nárazový, neboli výsešní břeh. Ten podléhá boční erozi a tvoří se v něm výmoly a tzv. **břehové nátrže** (viz kapitola 4.2). V nejužší části meandru se nachází **šije**. Vnitřní plocha meandru se nazývá **ostruha**. Dva jesešní břehy spojuje pomyslná čára, která se nazývá **brod**. V tomto místě má řeka zpravidla vyrovnaný příčný profil a středem prochází proudnice.



Obr. 5 Schéma meandru (HORNÍK (1996))

Vývoj meandru:

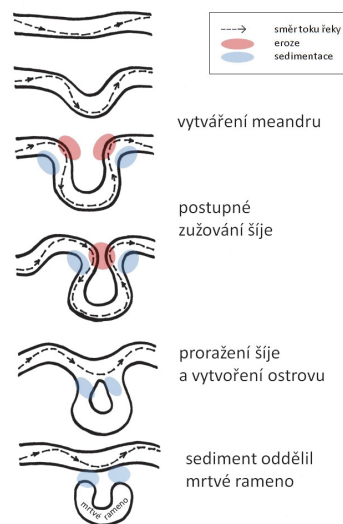
Zákruty se nejčastěji tvoří na středních a dolních částech toku. Vznik může být podmíněn podle S. HORNÍK a kol. (1986) několika činiteli:

- Proudnicí k protějšímu břehu vychýlí boční přítok, toto vychýlení může způsobit náplavový kužel, jenž zasahuje z bočního údolí do údolí hlavního.

- Vznik pomocí nových sesuvů, jejichž materiál zaplní velkou část koryta, a tak vychýlí proudnici k protějšímu břehu.
- Složitá litologie podloží, v němž vystupují horniny s různou odolností, a tok si hledá cestu v méně odolných komplexech.

Meandr může vzniknout, jestliže se proudnice rozkmitá a tímto jevem dojde k vzniku téměř pravidelném zvlnění průběhu koryta (HUGGETT, 2007). Tento jev se nazývá **meandrování**. V příčném profilu je koryto meandru asymetrické. Na nárazovém břehu probíhá eroze a na nánosovém břehu probíhá akumulace plaveného materiálu. V šíji meandru, tedy v oblasti kde se nachází nárazový břeh, může dojít k tzv. **protržení** meandru. Protržení šíje nastává zpravidla při vyšším stavu hladiny, když je šířka šíje menší než průměrná šířka koryta. Po protrhnutí se říční koryto obvykle postupně narovná.

Následuje zpomalení proudění v meandru, což zapříčiní zvýšené ukládání sedimentů. Nejvyšší množství se ukládá v oblasti nátoku do meandru a na jeho konci. Zde se postupně vytvoří aluviální zátka a z meandru se tak stane slepé rameno. Meandr se stane průtočný jen při vyšších stavech a nadále se postupně zazemňuje.



Obr. 6 Vývoj a zánik meandru (zdroj:

http://www.geocaching.com/geocache/GC22ZR5_meandry-luciny-meanders-of-lucina-earthcache)

4.2 Proudění

Proudnice se pohybuje v korytě dle jeho tvaru. V meandrech se pohybuje od výsepního břehu k brodu. Zde se nachází zhruba uprostřed. Odtud se postupně přibližuje k výsepnímu břehu (PETYNIÁK 2012). V oblasti jeseptního břehu dochází k vířivému proudění a tím ke zpomalení proudění. Z tohoto důvodu v těchto místech dochází k sedimentaci unášeného materiálu.

Veliv proudění lze dobře pozorovat v říční nivě. Snadno podléhá boční erozi a tok zde často vytváří zákruty. Proudění v zákrutech, způsobuje ve výsepních březích boční erozi, která utváří břehové nátrže. SMOLOVÁ a VÍTEK (2007) je definují jako „Svislé stěny v zeminách nebo málo zpevněných horninách vytvořené obvykle v nárazovém břehu meandru nebo zákrutu vodního toku.“ Postupnou erozí dochází k transformaci, či migraci meandru (viz. Obr. 7). Změně podléhají základní morfologické parametry koryta řeky: šířka, podélný sklon, příčný profil a hloubka koryta.



Obr. 7 Několik možných typů vývoje meandru (autor: PETYNYIAK, 2012)

4.3 Vymezení koryta

Ohraničení samotného koryta není přesně definováno. Za břehovou linii ohraničující koryto řeky lze pokládat vrchol strmé části koryta v oblasti výsepního břehu, ale v oblasti jesevního, kde má břeh mírný průběh tuto metodu použít nelze. ŠTĚRBA (2008) jí na těchto místech definuje: „Pokud strana koryta má mírný sklon, lze považovat za břehovou linii rozmezí oblasti, která je pravidelně zaplavována při vyšších stavech a oblast s trvalou vegetací.“ (Do oblasti s trvalou vegetací zpravidla voda ani při vyšších stavech nedosahuje, pouze při extrémním zvýšení.)

4.4 Zahraniční výzkum vývoje koryta

Morfologie přírodních říčních toků je závislá na interakcích mezi tokem vody a erodovaného materiálu v prostoru říčního koryta, které je utvářeno procesy eroze a akumulace (KNIGHTON, 1998). Realistickému modelování se věnovali HOWARD a KNUTSON (1984). Pro vhodnou simulaci použili vytvořený model rovného koryta, do kterého pouštěli proud vody s mírnou turbulencí. Po určité době se začaly tvořit zákruty. Na tu práci navázal ve svém výzkumu STOLUM (1996), který použil model Howarda a upravoval parametry pro získání více informací o časoprostorovém vývoji řeky. Dále zjišťoval prvky křivolakosti podle parametrů, které při pokusu použil. Tyto hodnoty zkoumal pro parametry nastavené pro danou situaci, či náhodně. BERG (1995) zkoumal maximální energii proudu vody, která by měla korespondovat s minimální křivolakostí divočícího toku a toku meandrujícího. Jako další parametr použil efekt podzemní vody na vývoj meandrů. Během svého výzkumu prokázal zjevnou závislost podzemní vody na vývoji koryta řeky.

V mnoha pracích je sledován vývoj koryta pouze v období několika desítek let. Tyto práce často využívají pouze fotogrammetrické metody, či zpracováním historických map. V dnešní době se k tomuto účelu používá přesných GNSS přijímačů pro zaměření břehových linií. Takovému projektu se věnovali například MENKING a STEWART (2007). Tento projekt probíhal v areálu Vassar College v Dutchess County, New York. Zdigitalizovali letecké snímky z roku 1959 a spočítali roční posun koryta. Následně se studenti kurzu vydali do terénu s GPS přijímačem. S ním se pohyboval dobrovolník po současném břehu toku a ostatní studenti přímo v terénu sledovali rozdíly současného stavu se stavem minulým a porovnávali ho. Z leteckých snímků zjistili posun o 0,2 metrů za rok, což potvrdil i terénní výzkum. Jeden z problémů, se kterým se potýkali, bylo špatné rozlišení snímků; tento jev však brali jako zanedbatelný. Další způsob výzkumu použili CONSTANTINE a DUNNE (2008) při výzkumu jezer pánví meandrujících řek. Využívali spektrální odrazivosti jednotlivých povrchů k rozlišení vodní plochy a vegetace.

4.5 Výzkum v ČR a předchozí výzkum v lokalitě Kenický

Na téma vývoj fluvialních geomorfologických tvarů bylo napsáno již několik desítek závěrečných prací. Větší část těchto prací pochází z Masarykovy Univerzity v Brně nebo Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. V tomto úseku věnují pozornost pracím studentů KGI Olomouc a dalších, kteří prováděli podobný výzkum ve stejné lokalitě, nebo jí podobným.

Zdeněk Máčka, Lukáš Krejčí (2006)

Studie byla vytvořena pro Agenturu ochrany a přírody a krajiny ČR. Cílem práce bylo potvrdit či vyvrátit obavy z protržení šíje Kenického meandru. Studie se zabývá predikcí přirozeného vývoje koryta po protržení šíje. Pozornost byla věnována především změně spádové křivky, změně hydrodynamických charakteristik na hladině podzemní vody a protipovodňové ochraně. V době studie měla šíje v nejužším místě jen něco přes 2 metry. Začátek práce autoři věnovali charakteristice území a historickému vývoji sledované oblasti. V rozsáhlé části práce bylo popsáno rozložení a ovlivnění koryta dřevní akumulací. Následuje část věnovaná šterkopískovým náplavám a hydrotechnickým výpočtům. V poslední části se studie zaměřuje na další vývoj sledovaných prvků meandrové smyčky a šíje, podélných a příčných profilů a na budoucí trasy koryta. V samotném závěru řeší otázku, zda nechat koryto samovolně se vyvíjet, či šíji zpevnit a stabilizovat. Nakonec bylo rozhodnuto meandr ponechat samovolnému vývoji.

Helena Uhrová (2012)

Helena Uhrová se ve své bakalářské práci primárně věnovala popisu měření, vytváření příčných profilů, zaměření břehové linie a následné aplikaci při vytváření polohopisných plánů břehových linií v oblasti Kenického meandru. Cílem její práce bylo otestovat použití různých přístrojů k zaměření hůře přístupných lokalit pokryté hustou vegetací. Většina její práce věnuje pozornost především hodnocení výsledků měření. Během práce spolupracovala na měření s Otmarem Petyniakem. Z její práce vycházel výběr použitých přístrojů při zaměřování příčných profilů a kolíků je ohraničujících.

Otmara Petyniak (2012; 2014)

Pro oblast Kenický považují za nejzásadnější práci Otmara Petyniaka. V bakalářské práci se zabýval morfologickou analýzou vývoje reliéfu v oblasti Kenický. V první části řeší problematiku fluvialní geomorfologie a říčního dřeva. V druhé části se zabývá vytvářením příčných profilů, zaměření příčných profilů a zaměření Kenické smuhy. Dále porovnává vývoj Kenického meandru před a po protržení šíje, kdy popisuje změnu proudění, sedimentace a erozi pod šíjí. V závěru práce předpokládá naplnění závěrů studie Máčka a Krejčí z roku 2006. V práci také popisuje tvorbu modelu TIN Kenické smuhy.

V diplomové práci navazuje na svoji práci bakalářskou. Konkrétně na část, kde se věnuje meandru. Za cíl diplomové práce byl stanoven dlouhodobý monitoring stavu Kenického meandru s jeho nejbližším okolím. V práci jsou porovnávány čtyři sady příčných profilů, které byly pořízeny mezi lety 2011 až 2014. Dále rozebírá klasifikaci vzorků říčních sedimentů z koryta meandru. V závěru práce je vyslovena prognóza o dalším vývoji meandru. Cílem aktuální řešené bakalářské práce je navázat na tento předchozí výzkum a zjistit reálný vývoj v meandru. Petyniak předpověděl, že nejrychleji se budou zazemňovat profily č. 4, 5, 7 a částečně č. 9. Naopak pomalé tempo očekává v profilech č. 2, 6, 10.

Jitka Musilová (2010)

Práce byla použita pro porovnání použitých metod k zaměření fluviálních tvarů. Paní Musilová použila podobnou metodu práce k zaměření příčných profilů. Měření prováděla pomocí provazu a navázaných uzlů po jednom metru. Hloubku jednotlivých bodů zjišťovala pomocí laťových úseků naměřených pod napnutým provazem, kdy měřila úsek od dna po lano. Tato metoda však neřeší problém s prověšením provazu. Například na profilu o šířce 18 m (jeden z měřených profilů) může prověšení dosahovat až 10 cm. Proto byl raději zachován původní postup měření pomocí nivelace. Dále se v práci věnuje říčnímu dřevu a analýze prostorové změny koryta v období po II. světové válce. Toto porovnání provádí ze dvou leteckých snímků s klasifikací okolního využití půdy.

Martin Knot (2015)

Diplomová práce Martina Knota je nejaktuálnější a zabývá se podobným tématem. V průběhu let 2014 a 2015 jsem s ním také spolupracoval na měření a následně mu byla mým vedoucím práce poskytnuta mnou naměřená data. Knot ve své práci využil data z první etapy mého měření příčných profilů a dvě etapy měření příčných profilů Otmara Petyniaka. Dále zjišťoval rozdílnost sedimentů v průběhu let 2014 a 2015. V závěru práce uvádí odpovědi na předem stanovené hypotézy. V nich potvrzuje dominantní jev, že v současnosti v Kenickém meandru probíhá sedimentace, která je nejvýraznější v profilu č. 4. Dále potvrzuje, že pokračuje vývoj aluviální zátky v nátoku do meandru, ale také že v aktivním korytě probíhá mírná erozní činnost. Dále uvádí, že na štěrkopískové lavici pod protrženou šíjí probíhá akumulace oblázků a valounů. Hypotézy stanovené na začátku práce tudíž byly potvrzeny.

5 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

Řešení bakalářské práce lze rozdělit na několik částí. První část probíhala v terénu, kdy bylo zaměřeno několik objektů pomocí geodetických metod. Následně byla zpracována naměřená data. Předposlední část obsahovala zpracování leteckých snímků. Závěrečné práce patřily celkovému vyhodnocení naměřených a vytvořených dat.

5.1 Práce v terénu

5.1.1 Oblast Kenický

V oblasti Kenický je umístěno 14 příčných profilů, které byly vytvořeny již v předchozích výzkumech. Původně těchto profilů bylo 22, které se nacházely v aktivním korytě před meandrem, v meandru a aktivním korytě za meandrem. Z důvodu zaměření se na oblast meandru, byl počet snížen, kdy 9 z nich se nachází přímo v meandru a 5 v aktivním korytě. Rozložení jednotlivých profilů lze vidět na obrázku č. 2. Každý profil je v terénu vyznačen pomocí dřevěných kolíků zatlučených do země. Tyto kolíky jsou geodeticky zaměřeny. Profily jsou zaměřovány pomocí nivelačního přístroje s kompenzátořem typu SOUTH NL-20, nivelační latě, lana a brodicích kalhot. Případně pomocí nafukovacího člunu, který byl využit při příliš vysoké vodní hladině nebo při vysoké vrstvě bahna na dně koryta.

Postup zaměření byl následující: mezi kolíky vyznačující profil bylo nataženo lano, na kterém byly vyznačeny úseky po jednom metru. Lano bylo navázáno na první kolík, na značce vyznačující celý metr a poté bylo nataženo ke druhému kolíku, kde docházelo k postupnému napínání. Po dostatečném napnutí bylo uvázáno k druhému kolíku. Nivelační přístroj se umístil tak, aby bylo lano viditelné po celé délce, nebo v případě nepříznivých podmínek (vzrostlá vegetace, padlý strom) byl postaven tak, aby byla vidět, co největší část profilu. Nejlépe celá neomočená část koryta a část omočené části koryta. Po ustavení přístroje následovalo vlastní měření. Nivelační lať byla postupně přikládána k lanu na jednotlivé značky a pomocí nivelačního přístroje byla odečítána hodnota na lati. Jednotlivé hodnoty a k nim odpovídající vzdálenosti byly zapisovány do bloku. Lať byla při čtení vyrovnávána pomocí krabicové libely s důrazem na to, aby spodní část ležela na povrchu terénu. Pokud se v úseku mezi jednotlivými značkami nacházela břehová hrana, začátek vodní hladiny, či výrazný zlom, byly také zaměřeny. Při měření některých profilů se výška latě ukázala jako nedostatečná. Tento problém byl řešen odečítáním výšky vodní hladiny na lati a přesná hodnota byla dopočítána při přepisování dat do elektronické podoby. Obdobným způsobem byly řešeny situace, kdy nebyl výhled na část profilu. Postup při práci lze vidět na obrázku č. 8.

V průběhu vypracování bakalářské práce bylo nutné stahovat data a udržovat několik senzorů KGI umístěných v okolí Kenického meandru. Data ze srážkoměru byla stažena v září 2014, lednu a červnu 2015. Při každém stažení také došlo k výměně baterie, z důvodu její krátké výdrže a z obavy ztráty dat při jejím vybití. Před prvním stažením dat nastal problém, kdy systém Windows přestal podporovat starý typ redukce USB -> Serial Port. Po vyzkoušení několika verzí softwaru byla zakoupena redukce nová. Stažení dat z levelloggeru a barologgeru proběhlo v březnu a červenci 2015. Při stahování dat proběhlo očištění všech přístrojů od nečistot. V případě levelloggeru byla vyčištěna i železná trubka, ve které je senzor umístěn. Všechna stažená data jsou dostupná u vedoucího práce.

První práce v terénu proběhly při sběru dat v červnu 2014. Ve spolupráci s Otmarem Petyniakem proběhlo seznámení s průběhem měření a s lokalitou PR Kenický. Při této příležitosti byly zaměřeny příčné profily č. 8, 9, 10. Toto měření je součástí datové sady 2014. Po zaměření profilů jsem byl seznámen s polohou jednotlivých profilů, obsluhou a údržbou leveloggeru, který se nalézá u profilu č. 2, barologgeru a srážkoměru umístěných v nedaleké obci Hynkov.

V průběhu listopadu 2014 byla započata celkově pátá etapa měření. Harmonogram měření bohužel zkomplikovalo nevhodné počasí a vysoká hladina toku. Původní plán počítal se zaměřením všech profilů do 14 dnů. Tento časový plán se nepodařilo dodržet. V listopadu byly zaměřeny pouze tři profily při dvou měřeních. První měření nebylo úspěšné, kvůli špatně zvolenému lanu, které bylo napnuto mezi kolíky. Šlo o 5 mm silné pletené lano s délkou 40 m, na kterém byla vzdálenost každého metru vyznačena páskou. Během měření se zjistilo, že lano se chová jako dynamické a ve středu má příliš velké prověšení. Tento problém způsoboval chybu při měření vzdálenosti při postupném zaměřování profilu. Při druhé části listopadového měření následovalo zaměření profilů č. 8, 9, 10. První měřený profil (profil č. 10) musel být z důvodu nezkoušenosti přeměřen při prosincovém měření. Pro přeměření bylo rozhodnuto z důvodu možné chyby měření a tedy znehodnocení dat.

Při prosincovém měření se použilo lano nové, kdy vzdálenost každého metru byla vyznačena navázaným uzlem. Toto lano mělo průměr 1,5 mm silné bez duše, a na délku 50 m, což již dostačovalo. Při tomto měření proběhlo zaměření profilů č. 2, 3, 5, 6, 11, 12, 13 a znovu profilu č. 10. Na konci prosince bylo naplánováno dokončení první etapy měření, kdy zbývaly profily č. 0, 4, 7. Tyto profily je nutné měřit z člunu z důvodů velké hloubky a velkého nánosu bahna. Ostatní profily lze při dobrém vodním stavu měřit pomocí brodivých kalhot. Použitý člun Bestway Voyager 500 se ukázal jako nevhodný pro měření na proudící vodě. Po několika hodinách neúspěšného měření, bylo měření ukončeno. Další vhodné podmínky nastaly až 14. 2. 2015, kdy proběhlo zaměření profilů č. 4 a 7 za využití zapůjčeného nafukovacího člunu typu Pálava ze Správy CHKO Litovelské Pomoraví. Současně byl zaměřen profil č. 1 za pomoci brodicích kalhot. Podmínky se však nacházely na hranici bezpečnosti, a proto bylo měření profilu č. 0 odloženo. K měření posledního profilu došlo až o měsíc později (22. 3. 2015), kdy podmínky byly mírně příznivější. Mezi první a druhou etapou proběhlo zaměření většiny kolíků ohraničujících profily pomocí GNSS přijímače. Kolíky byly zaměřeny z důvodu ověření původního umístění. V případě jejich přesunutí se zaměřila jejich nová poloha. Některé kolíky nebylo možné zaměřit, ale vždy alespoň jeden kolík z profilu se podařilo zaměřit.



Obr. 8 Ukázka nivelace profilu č. 9 (zdroj: autor)

Druhá etapa měření probíhala v období od konce dubna až do začátku července. Po zaměření čtyř profilů bylo měření na měsíc pozastaveno z důvodu přípravy na závěrečné státní zkoušky. Následně byl doměřen zbytek profilů. Pro ověření, zda toto přerušení nemělo výrazný vliv na měřené hodnoty, byl profil č. 2 přeměřen a hodnoty porovnány s předchozím měřením. Změna se však nepotvrdila. V době přerušení měření hladina měla sestupnou tendenci a meandr se stal neprůtočný. Zřejmě právě proto nebyly zaznamenány výraznější změny. V průběhu měření při druhé etapě nenastaly žádné komplikace v důsledku přírodních vlivů.

5.1.2 Ostatní měřené lokality

Ve dnech 14. 3. 2015 a 21. 3. 2015 proběhlo fotogrammetrické zaměření několika břehových nátrží společně s Helenou Uhrovou. Toto měření bylo součástí opakovaného zaměření daných lokalit a slouží jako podklad pro vytvoření její diplomové práce. Konkrétně se jednalo o břehovou nátrž u Štěpánova, čtyři břehové nátrže v PR Vrapač a jednu nátrž nedaleko obce Moravičany. Práce trvaly dva dny z důvodu velkého počtu měřených lokalit a jejich vzájemné vzdálenosti.

Měření probíhalo pomocí totální stanice, která se vždy umístila na jesešní břeh. Zde se zaměřily vždy dva body GNSS přijímačem označené dřevěným kolíkem. Na střed prvního bodu se umístila totální stanice, druhý sloužil jako orientační. Pomocí těchto bodů bylo měření převedeno do absolutního souřadnicového systému. Poté byla umístěna do nátrže řada malých kruhových terčů, na které se přikládal odrazný hranol. Vzdálenost rozmístění činila zhruba tři metry, kdy byly terče střídavě umístěny v horní a dolní části nátrže. Poté se postupovalo jedním směrem podél nataženého lana pro účely fotografování nátrže zkalibrovaným fotoaparátem. Zpracování dat z tohoto měření, vytvoření 3D modelů a následné vyhodnocení vývoje lokalit je součástí diplomové práce Heleny Uhrové.

5.2 Zpracování naměřených hodnot a stažených dat

Z původního terénního zápisu do papírového bloku, kam bylo zaznamenáno datum, číslo profilu, číslo zaměřeného bodu, vzdálenost a odečtená výška, musely být údaje převedeny do elektronické podoby. Jako nejvhodnější způsob se ukázalo uložení do tabulkové podoby v programu Excel 2013. Pro každou etapu vznikl samostatný soubor. Pro větší přehlednost byla vytvořena univerzální hlavička, která se v průběhu drobně upravovala. Hlavička obsahuje číslo profilu, datum měření, směr měření, stav počasí a komentář. Zápis samotných hodnot obsahuje pořadí bodu, vzdálenost od počátečního kolíku, odečtená výška v milimetrech, absolutní výšku a poznámku. Poznámka obsahuje informace: vodní hladina, břehová hrana, překážka apod. Absolutní výška byla vypočítána pomocí jednoduché rovnice (3).

$$h = (v_k + l_k) - (l * 0,001) \quad (3)$$

kde

- h.....absolutní výška zájmového bodu
- v_kabsolutní výška kolíku
- l_kzaměřená relativní výška na kolíku
- l.....zaměřená relativní výška zájmového bodu

Hodnoty vzdálenosti a nadmořské výšky byly zkopírovány do zvláštního souboru, ve kterém byly následně vytvořeny grafy. Do každého grafu byla umístěna orientační značka na vzdálenosti 5 m a výšce 217 m n. m. Ty byly následně zkopírovány do připravené šablony v programu CorelDRAW X6. Zde došlo ke změně barvy křivek a pomocí orientační značky následně křivky umístěny do šablony.

Data z leveloggeru a barologgeru byla stahována pomocí programu Levelogger 4.1.0. Tyto přístroje jsou nastaveny tak, že lze naměřené hodnoty z barologgeru použity pro barometrickou kompenzaci pro data z leveloggeru. To bylo provedeno v programu Excel 2013 a následně údaje o výšce hladiny byly přepočteny do absolutní nadmořské výšky. Údaje ze srážkoměru byly staženy pomocí programu BoxCar 4.3, kde byly vytvořeny i denní úhrny srážek.

5.3 Zpracování a fotointerpretace leteckých snímků

Letecké snímky poskytnuté VGHMUř Dobruška bylo nutné nejdříve zgeoreferencovat. Byla zvolena transformace polynomem vyššího řádu, konkrétně řádu druhého, kdy je použito minimálně 6 párů vřícovacích bodů. Jako metoda převzorkování byla použita metoda nejbližšího souseda. Georeferencování ovlivnilo nevhodné rozmístění bodů vhodných pro georeferencování a špatné rozlišení starších snímků. Jako podklad byla použita WMS služba „Ortofoto“ poskytovaná ČUZK (březen 2015) v souřadnicovém systému S-JTSK Krovak EastNorth. Georeferencování bylo ukončeno, pokud celková chyba RMSE dosáhla hodnoty menší než 0,5 m. Výjimku tvoří snímek z roku 1985, kdy se nepodařilo zmenšit velikost chyby pod 0,7 m.

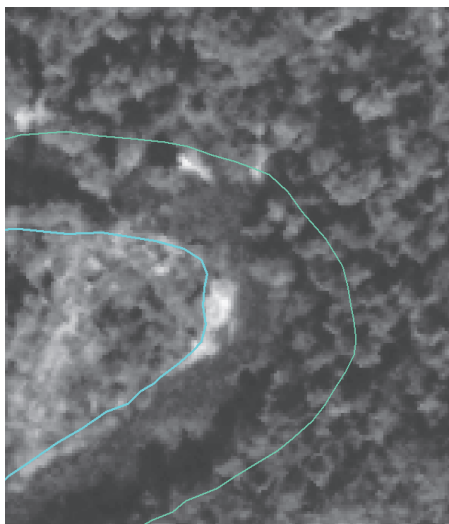
Letecké snímky vytvořené a poskytnuté vedoucím této práce byly již umístěny v řádném souřadnicovém systému, a tedy připraveny k použití. Měřítko jednotlivých snímků se pohybovalo od 1 : 40 000 do 7 cm / px (viz Tab. 1).

Tab. 1 Rozlišení a zdroj leteckých snímků

Rok pořízení	Měřítko	Zdroj
1971	1 : 40 000	KGI (zakoupeno z VGHMUř Dobruška)
1985	1 : 27 500	KGI (zakoupeno z VGHMUř Dobruška)
1994	1 : 26 710	KGI (zakoupeno z VGHMUř Dobruška)
2003	1 : 23 000	KGI (zakoupeno z VGHMUř Dobruška)
2006	1 : 23 000	KGI (zakoupeno z VGHMUř Dobruška)
2014	7 cm / px	KGI (snímkováno vedoucím práce)
2015	11 cm / px	KGI (snímkováno vedoucím práce)

Při fotointerpretaci břehových linií bylo řešeno několik problémů. Snímky pocházejí z různých ročních období. Snímky z roku 2014 a 2015 jsou z období zimních měsíců, kdy travní porost leží a stromy mají opadané listy. Ostatní pocházejí z jarních či letních měsíců, a proto jsou na snímcích vidět výrazně vzrostlé traviny a olistěné stromy. To na snímcích způsobuje překrytí břehové linie částí koruny a nemožnost rozpoznat polohu břehové linie. V těchto místech bylo usilováno o co nejlepší její rozpoznání, ale často musela být zvolena metoda, kdy se vzaly poslední viditelné části břehové linie a křivka se vytvořila podle charakteru koryta. Na snímcích z let 2014 a 2015 bylo také využito znalosti oblasti. Další řešený problém tvořily dlouhé stíny, které na černobílých snímcích vytvářely v zákrutách řeky plochy, které na snímku byly téměř černé. Tento problém často vyřešila úprava jasu či kontrastu snímku.

Jedna z komplikací spočívala v neurčitosti břehové linie. Pokud měl břeh velmi strmý průběh, či se jednalo o břehovou nátrž, byla břehová linie vyznačená v místě výrazného zlomu okolního terénu a svahu směřujícího k vodní hladině. Pokud se však jednalo o jesešní břeh, muselo se přistoupit k jiné variantě. Zde většinou nebyl zaznamenán výrazný zlom, a tak bylo využito viditelnosti štěrkopískové části břehu, vegetace, nebo půdy, která nebyla zarostlá vegetací. To lze vidět na obrázku č. 11. Předpokládalo se, že pokud je oblast často zaplavována, nevytváří se zde hustá vegetace. V případě štěrkopískových oblastí, byla břehová linie vytyčena v místě vzdálenější hrany této oblasti od vodní hladiny. (viz obr. 9) Způsob tohoto zpracování výrazně ovlivňuje lidský faktor, přesto se usilovalo o co nejpřesnější vyhodnocení břehových linií. Tato chyba mohla být na snímku z roku 1971 až 5 m. S rostoucím rozlišením a kvalitou snímku byla tato chyba postupně zmenšována až na 70 cm. Pohyb koryta byl mezi jednotlivými obdobími snímkování tak výrazný, že tato chyba je poměrně zanedbatelná. Pro vyhodnocování starších snímků (do roku 2003), bylo zvoleno měřítko 1 : 1000, pro snímky vytvořené po roce 2003 bylo zvoleno měřítko 1 : 500.



Obr. 9 Ukázka vytyčení břehové linie (snímek z roku 1971, VGMÚř Dobruška)

Ve všech lokalitách byly zdigitalizovány břehové linie na obou stranách koryta řeky. Kromě vybraných lokalit prošlo digitalizací i několik desítek metrů v jejím okolí. Lokalita U Věže se nachází pouze na snímcích z roku 2015, proto zde není možno vytvořit analýzu vývoje, ale pouze vyhodnotit současný stav. Lokalita Kenický byla již zpracována v diplomové práci Otmara Petyniaka, ze které byly použity břehové linie z roku 2014. Břehové linie z roku 2015 byly digitalizovány dodatečně. Lokality Hynkovský meandr a břehová nátrž u Štěpánova byly zpracovány na všech dostupných snímcích od roku 1971 do roku 2015. Břehová nátrž u Štěpánova je bohužel na snímku z roku 1985 velmi špatně viditelná a nedá se jednoznačně určit koryto řeky, proto byl tento snímek z následného hodnocení vynechán. Pro vyhodnocení vývoje břehové nátrže byla použita pouze oblast, kde se břehová nátrž nachází a 60 metrů proti proudu a 30 metrů pod nátrží. Všechny vzdálenosti jsou měřeny při současném stavu.

Ze zdigitalizovaných břehových linií byly vytvořeny polygony. Následně pomocí toolboxu *Polygon to centerline* se vytvořily linie vedoucí středem polygonu. Tyto linie byly vytvořeny za účelem lepší charakteristiky vývoje koryta, například v situacích, kdy na snímku nebyla hrana koryta dobře vidět z důvodu dlouhého stínu nebo olistěné koruny stromu.

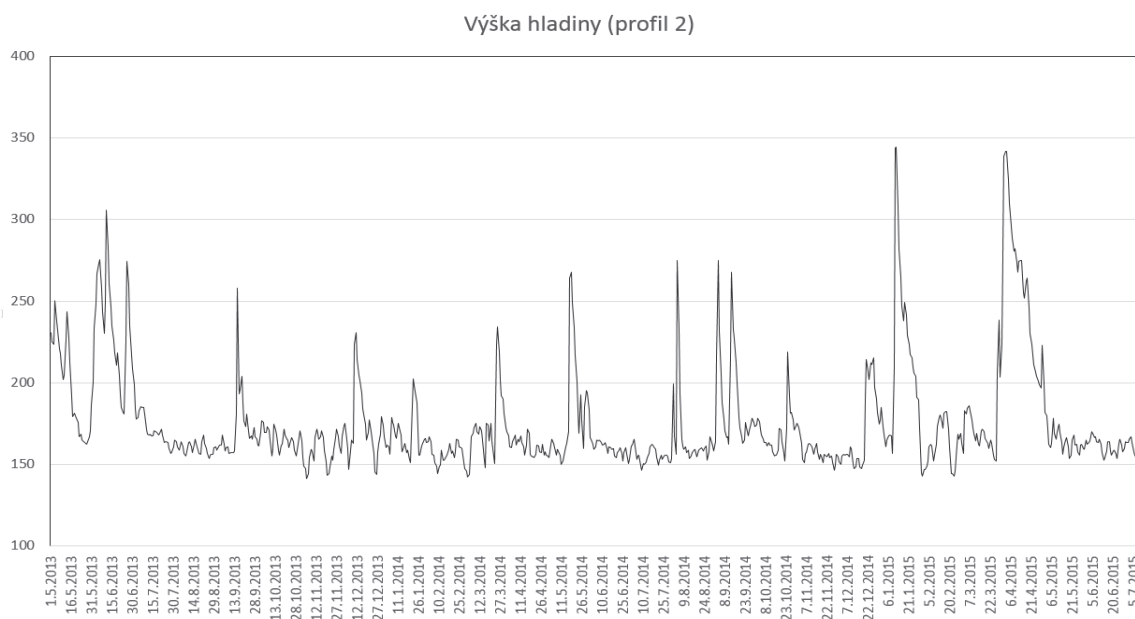
Posledním krokem bylo vytvoření tzv. vodících linií, podle kterých byl měřen posun koryta, břehu či středové linie mezi jednotlivými snímky. V Hynkovském meandru byla umístěna linie v oblasti šíje a na dalších čtyřech místech, kde se meandr nejvýrazněji vyvíjel. V oblasti břehové nátrže u Štěpánova bylo umístěno pět vodících linek, jedna ve středu vývoje nátrže a další čtyři po stranách.

6 VYHODNOCENÍ ZMĚNY LOKALIT, PŘÍČNÝCH PROFILŮ A BŘEHOVÝCH LINIÍ

Pomocí leveloggeru umístěného u profilu č. 2 lze zjistit přesné výšky hladiny v meandru. Průměrná výška hladiny byla stanovena na 220,158 m n. m.. Poslední rok měření byl oproti předchozímu velmi rozdílný. Během prvního půlroku 2014 stoupla hladina do extrémních hodnot pouze dvakrát. V období jarního tání stoupla pouze na krátkou dobu zhruba 5 až 10 dní, kdy hladina dosahovala o 140 cm více než při běžném stavu. Na začátku srpna 2014 hladina stoupla na 221,3 m n. m., což je nejvyšší naměřená hodnota za rok 2014. Do konce října hladina stoupla ještě dvakrát zhruba na 221,2 m n. m. V období od listopadu 2014 do července 2015 se při měření vyskytla extrémně vysoká hladina pouze dvakrát. Poprvé výška dosáhla 222,2 m n. m., což je zhruba o dva metry výše než se nachází průměrně. Bohužel se nepodařilo zjistit důvod toho zvýšení hladiny. V tomto období byly srážky téměř nulové. V pořadí druhé zvýšení hladiny bylo zaznamenáno 3. 4. 2015, kdy hladina kulminovala na 222,15 m n. m., ovšem na průměrnou výšku hladina klesala přes měsíc.

Tab. 2 Základní údaje o výšce hladiny v období leden 2013 až červenec 2015

Charakteristika	Výška [m n. m.]	Datum měření
Minimum	220,0455	7. 7. 2015
Q1	220,1201	8. 4. 2013-9. 7. 2015
Medián	220,1579	8. 4. 2013-9. 7. 2015
Q3	220,3116	8. 4. 2013-9. 7. 2015
Maximum	222,3213	11. 1. 2015
Aritmetický průměr	220,3198	8. 4. 2013-9. 7. 2015

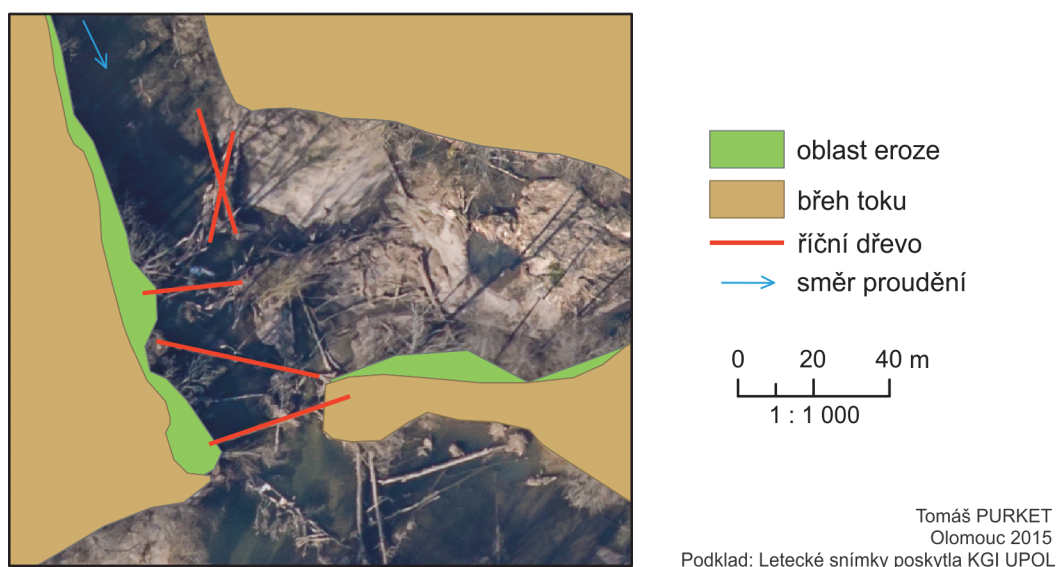


Graf 1 Denní průměr výšky hladiny (u profilu č. 2) v období duben 2013 až červen 2015

6.1 Vývoj Kenického meandru mezi roky 2014 a 2015

Při předposledním zvýšení hladiny (11. 1. 2015) proběhly v nátoku a v místě bývalé šíje meandru velmi podstatné změny v rozložení naplavených dřevin. Nejzásadnější změnou pro vývoj meandru je připravení kmene, který zasahuje do profilu č.1 a tím zpomaluje rychlost proudění v nátoku do meandru. To v budoucnu může způsobit výrazné ukládání jemných částic. Další výrazná změna nastala v místě bývalé šíje. Zde byly erozí podemlety dva vzrostlé stromy a také bylo odstraněno 5 metrů břehu. Na obrázku č. 11 jsou znázorněny padlé stromy a stromy ovlivňující nátok do meandru.

EROZE KORYTA A NOVÉ KMENY mezi roky 2014 a 2015



Obr. 10 Eroze břehu a nové říční dřevo v oblasti šíje Kenického meandru k lednu 2015

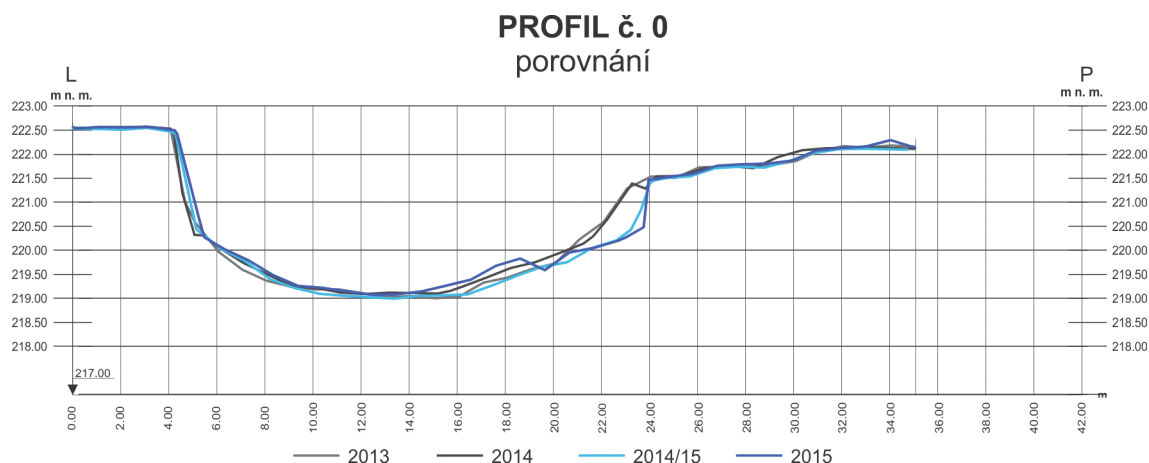
V samotném meandru, v oblasti profilu č. 2, byl částečně erodován pravý břeh. Dále po proudu až po profil č. 7 nedošlo k výraznějším změnám. Dvacet metrů před profilem č. 8 leží napříč korytem mohutný kmen. V okolí tohoto kmene byl pravý břeh erodován o 2 metry. V ostatních místech se břehové linie relativně shodují, případné neshody vznikly rozdílnou fotointerpretací břehů. Vzhledem k tomu, že v současnosti meandr slouží pouze jako boční koryto, vliv vysoké hladiny a zesíleného proudění na břehové linie je minimální.

V současnosti probíhá zazemňování meandru. Pan Petyniak ve své diplomové práci uvedl prognózu, že nejvýraznější zazemňování můžeme očekávat v okolí profilu č. 4, 5, 7 a 9. Naopak nejpomalejší u profilů č. 2, 6, 10 (PETYNIÁK, 2014). Tato předpověď se částečně potvrdila, nejrychleji se zazemňuje profil č. 4. V profilu č. 2 neproběhla téměř žádná sedimentace, naopak v místě proudění je viditelná mírná eroze. Profily č. 5, 8, 9 a 10 se zazemňují pouze lokálně, v případě profilů č. 8, 9 a 10 jsou to místa napravo od šterkopiskové lavice, v případě profilu č. 5 se jedná o dno profilu a střed jeseptního pravého břehu. V aktivním korytě pan Petyniak uvádí možnou erozi levého břehu a brodu několik metrů nad profilem č. 13, a to při extrémně zvýšené vodní hladině. Tato hypotéza byla potvrzena současným stavem, kdy eroze výrazně zasáhla tuto část břehu a brod byl zničen.

6.2 Hodnocení změn příčných profilů v lokalitě Kenický v období 2011 až 2015

V následující kapitole je hodnocen vývoj příčných profilů z let 2011 až 2015. Data, která jsou označena jako 2011, 2012, 2013 a 2014 jsou převzata z měření Otmaro Petyniaka. Data označená 2014/15 (první etapa) a 2015 (druhá etapa) byla naměřena autorem této práce. Data z první etapy měření pochází z podzimního měření, které z důvodu nepříznivých podmínek bylo prodlouženo do března 2015. Data z druhé etapy měření pochází z období duben až červenec 2015. Hodnocení vývoje lokality do roku 2014 bylo částečně převzato z diplomové práce PETYNIÁK (2014).

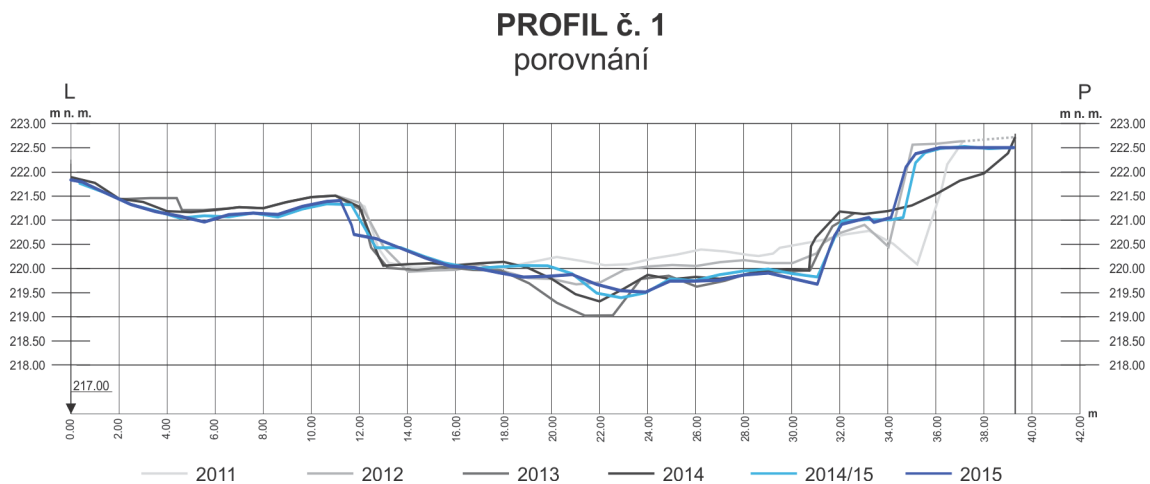
Profil č. 0



Graf 2 Vývoj příčného profilu č. 0 od roku 2013

Tento profil mezi roky 2013 a 2014 neprodělal výrazné změny, což bylo nejspíše zapříčiněno průměrným průtokem řeky bez větších výkyvů. Při první etapě měření (2014/2015) byl tento profil zaměřován jako poslední – bohužel až březnu, kdy v lednu zvýšený vodní stav způsobil erozi levého břehu, který byl výrazně zkosen. Při druhé etapě měření (2015) byla zaznamenána v pravé polovině mírná sedimentace a vytvoření 20 centimetrové hrany. U levého břehu se nachází připlavený kmen stromu, který odklání proudnici od levého břehu, což způsobilo, že levá strana zůstala od roku 2013 relativně nezměněna. Od levého břehu po kmen stromu je dno pokryto jemnými sedimenty. Napravo od kmene jemné částice aluvia postupně přechází v oblázky. Levý břeh také snadněji podléhá erozi, protože je pokryt pouze trávou a kopřivami. Levý břeh je zpevněn stromy.

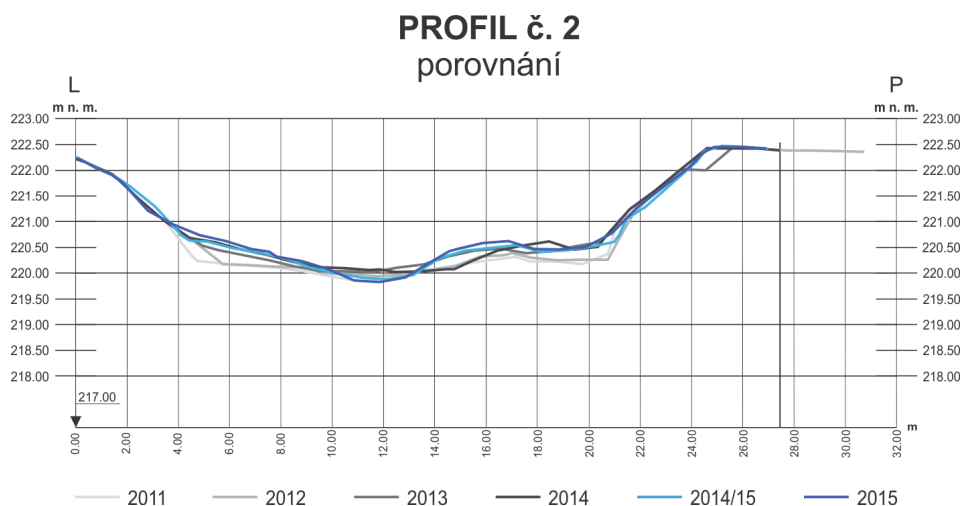
Profil č. 1



Graf 3 Vývoj příčného profilu č. 1 v jednotlivých etapách (etapu měření 2014/15 a 2015 nelze srovnávat s předchozím měřením)

Profil od roku 2011 prodělal několik změn. Z důvodu umístění profilu těsně před nátokem do meandru mělo protržení šíje na profil výrazný vliv. To můžeme vidět na křivkách z roku 2011 až 2014. Před protržením šíje se proudnice nacházela u levého břehu, po protržení se proudnice přesunula ke středu a vytvořila jeden metr hlubokou rýhu, která se momentálně opět postupně snižuje. Před zahájením první etapy měření (2014/15) musel být obnoven kolík na pravém břehu z důvodu jeho ztráty. Při obnově nebylo nalezeno původní umístění kolíku, a proto byl umístěn na horní hranu břehu dále po proudu od původního umístění, zhruba 4 metry od hrany břehu. Z tohoto důvodu nelze porovnávat měření mezi lety 2011 až 2014 a měření z období 2014/15 a 2015. V lednu 2015 byl připraven kmen stromu na levou stranu koryta. Kmen zabraňuje rychlému proudění do koryta meandru při zvýšené hladině. Na levé straně bylo koryto erozí rozšířeno o 40 cm. V okolí středu se původní rýha vytvořená erozí nadále zazemňuje a nalevo od ní dno mírně eroduje. Bylo zde odneseno několik centimetrů štěrku, kterým je koryto pokryto. To je zapříčiněno postupným stabilizováním koryta a postupným rozšiřováním hlavní proudnice. Na pravé straně koryta se projevila mírná eroze. Levý břeh je z části pokryt písčnými sedimenty a trávou. Na pravém břehu se nachází vzrostlé stromy. Ve spodní části pravého břehu leží připravený kmen, který částečně brání při měření.

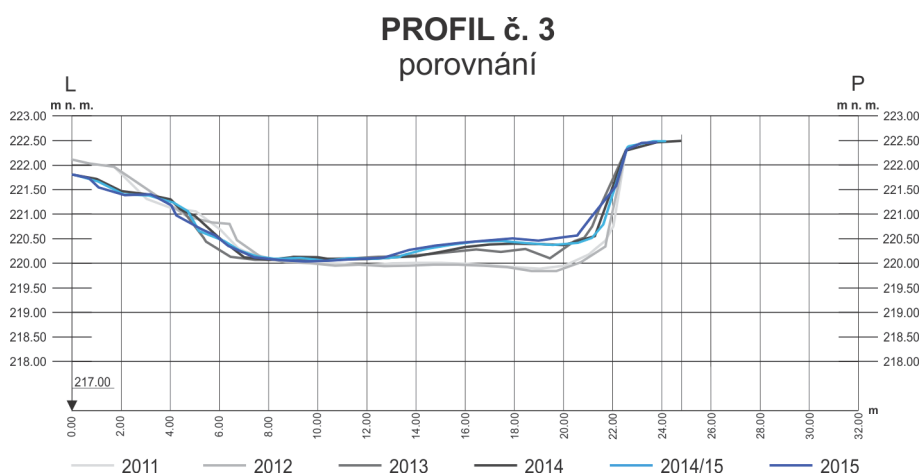
Profil č. 2



Graf 4 Vývoj příčného profilu č. 2 v jednotlivých etapách měření

Profil č. 2 je první, který se nachází v meandru. Levá část profilu se v průběhu čtyř let téměř nezměnila. V oblasti okolo 12. metru byla před protržením šíje proudnice. V současnosti je 11. až 13. metr profilu při průměrném stavu hladiny jediný průtočný úsek. Při letním nízkém stavu hladiny je meandr neprůtočný, uzavřený aluviální zátkou, která se postupně vytvořila zhruba 40 metrů před profilem. V průběhu zimy je profil průtočný. Při lednovém zvýšeném stavu vznikla malá rýha o výšce 15 cm, která je tvořena šterkem. V tomto profilu došlo k odemletí pravého břehu přibližně o 20 cm. Celé koryto je tvořeno jílovitými sedimenty, kromě průtočné části, kde tato vrstva byla postupně odplavena. Levá i pravá strana profilu je pokryta v letních měsících vzrostlou trávou.

Profil č. 3

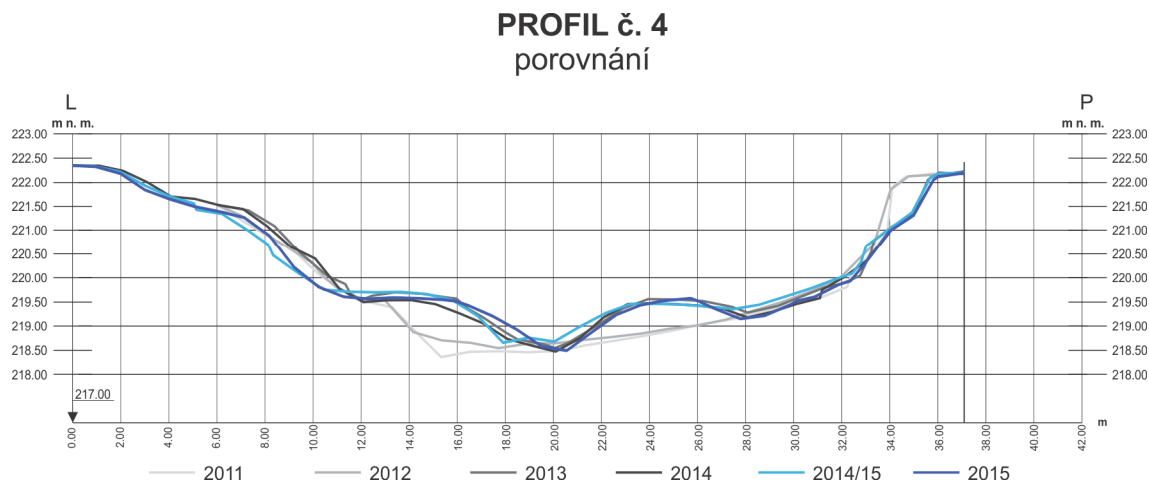


Graf 5 Vývoj příčného profilu č. 3 v jednotlivých etapách měření

Tento profil lze porovnávat pouze v letech 2013 až 2015. Profil musel být přemístěn z důvodu husté vegetace, která bránila v zaměření. Levá strana koryta má podobný průběh jako u profilu č. 2. Na 4. metru se vytvořila hrana mezi první a druhou etapou měření. V levé části profilu, která se mírně svažuje na dno koryta, se nachází pouze travní vegetace, z toho důvodu nemá dostatečné zpevnění. Přibližně na 11. metru je

vytvořena rýha, kterou proudí voda v období, kdy je meandr průtočný. Zde už má koryto mírný sklon a voda se zde pomalu rozlívá do rozsáhlé tůně. V pravé polovině profilu probíhá mírná sedimentace jemných jílovitých částic. Pravý břeh je tvořen prudkým svahem vytvořeným v době před protrhnutím šíje, kdy k němu směřovala proudnice.

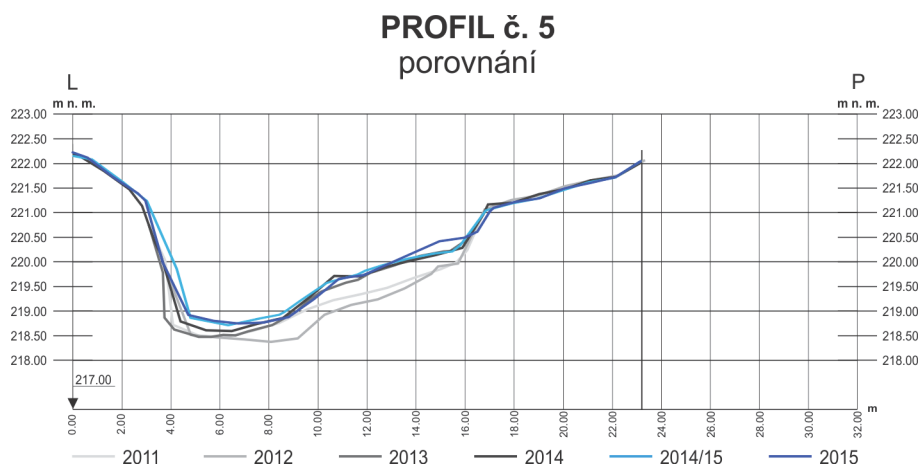
Profil č. 4



Graf 6 Vývoj příčného profilu č. 4 v jednotlivých etapách měření

Profil prochází přes rozsáhlou tůň. Zde se při průměrné a zvýšené hladině řeky výrazně zpomaluje proudění. Přibližně 20 metrů před profilem začíná oblast, která je celoročně zaplavená vodou. Levá strana profilu (zhruba po 8. metru) se nachází za břehovou linií a nebývá pravidelně zaplavována. Zde břeh pozvolna klesá a je složen ze silné vrstvy jemného aluvia. Tímto jemným aluviem je pokryto celé dno, kromě oblasti mezi 22. a 25. metrem, kde se vytvořila štěrkopísková lavice. Na tomto profilu lze vidět nejvýraznější sedimentaci, která je způsobena zpomalováním proudění. Místy se zde uložilo až 20 cm sedimentů, zejména v levé části koryta, kam se zpomalující proudění stáčí. Zhruba v půlce výšky pravého břehu je umístěn velký strom, který zpevňuje břeh. Pravý břeh je v oblasti profilu pokryt pouze travní vegetací a nemá výraznější zpevnění. Levá strana naopak mezi 0. a 12. m pomalu přechází do zalesněné části, kde jsou již vzrostlé stromy. Při vyšším stavu hladiny lze očekávat zvýšenou sedimentaci. Pokud ovšem hladina dosáhne extrémních hodnot, jemný materiál snadno podlehne erozi, tak jako mezi obdobími 2014 a 2014/15, kdy tento profil byl měřen až po extrémně vysokém vodním stavu v lednu.

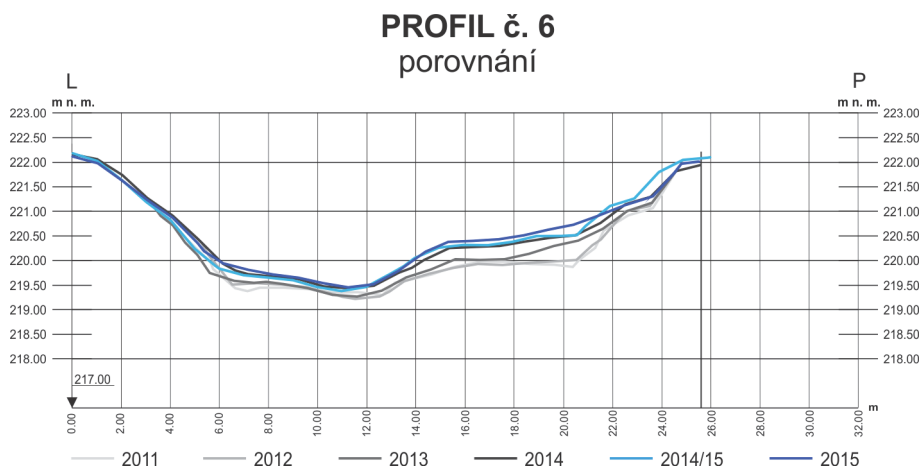
Profil č. 5



Graf 7 Vývoj příčného profilu č. 5 v jednotlivých etapách měření

Od profilu č. 4 směrem k profilu č. 5 se koryto prudce zužuje. Levá strana koryta byla před protržením jesešní. V současnosti je tomu tak i při extrémně vysokých stavech, kdy se proudnice nachází těsně u levého břehu. Koryto má šířku přibližně 15 metrů. V nejhlubší části koryta, kde dříve byla umístěna proudnice, probíhá v současnosti sedimentace jemných částic, kdy od roku 2013 je průměrné roční navýšení sedimentů 10 centimetrů. Pod hranou na pravé straně koryta byla zaznamenána sedimentace několika centimetrů jemných částic. Levý břeh je zpevněn vzrostlými stromy, naopak na pravém břehu se nachází traviny. Vzhledem k tomu, že hlavní proudění probíhá na levé straně koryta, nemusí pravá část profilu podléhat erozi ani při vyšších vodních stavech.

Profil č. 6

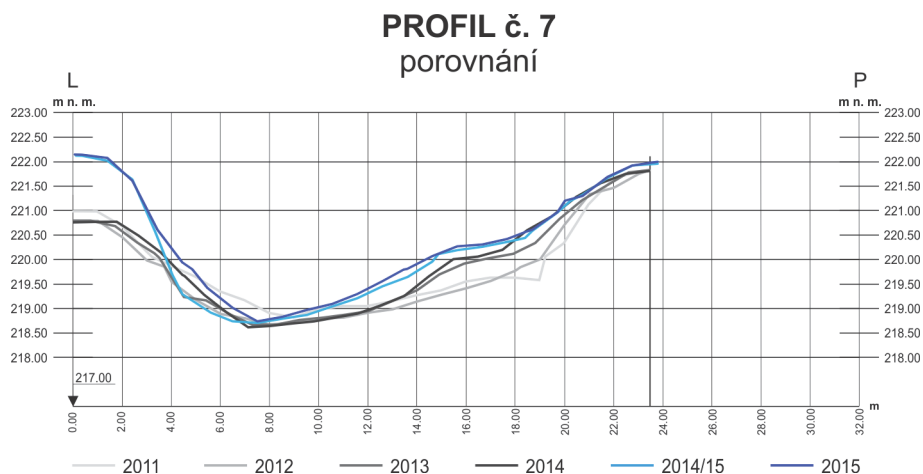


Graf 8 Vývoj příčného profilu č. 6 v jednotlivých etapách měření

Profil č. 6 je oproti předchozímu a následujícímu profilu relativně nízký. Okolí tohoto profilu má koryto velmi podobný charakter. Levý břeh je zpevněn stromy a má mírný sklon. Zhruba 8 metrů od levého kraje profilu je umístěn starý kmen stromu, který leží kolmo k profilu. Tento kmen zpomaluje rychlost případného proudění a tím zabraňuje erozi levého břehu. Naopak zde umožňuje pomalou sedimentaci. Hladina v letních měsících však dosahuje pouze do úrovně kmene. Tato strana je tvořena především zborcenou nivou. Ve střední části koryta, kde byla původně proudnice, a která je nyní

trvale zaplavena, dochází k sedimentaci pouze několik centimetrů ročně. Nejvyšší míra sedimentace byla zaznamenána mezi roky 2013 a 2014, kdy se po celé šířce koryta uložilo přes 10 cm materiálu. V posledním roce nejvýraznější sedimentace proběhla po celé pravé straně profilu, kromě posledních 2 metrů, které nezasahují do koryta. Mocnost nově uložených sedimentů je mezi 5 a 15 cm. Pravá část profilu je v letních měsících pokrytá hustou vegetací, kterou tvoří převážně kopřivy.

Profil č. 7



Graf 9 Vývoj příčného profilu č. 7 v jednotlivých etapách měření (měření 2014/15 a 2015 nelze porovnávat s předchozím měřením)

Hodnocení vývoje profilu č. 7 je nutno rozdělit do dvou částí. První část je z období 2011 až 2014. Hodnocení vývoje je převzato z diplomové práce pana Petyniaka. „Profil 7 se nachází na úrovni nátoku do Kenické smuhy – levý bod se nachází na jejím dně. V oblasti nátoku do smuhy je koryto bahnitě se středním sklonem, jinak je v tomto úseku břeh vysoký přes 2 m, kolmý s břehovou nátrží. Pravý břeh má totožný charakter, jako v předchozích profilech a tvoří jej sedimenty z dřívějšího vývoje meandru porostlé bylinnou vegetací. Povrch dna je tvořen z velké části jemnými sedimenty, kromě oblasti poblíž bývalé proudnice, kde se na dně nachází písek. Tato skutečnost není ve vzorku sedimentů zachycená, protože vzorek nebylo možno odebrat z nejhlubšího místa, ale jen z pravé části profilu.

Při jarní povodni v roce 2012, která způsobila protržení šíje meandru, byly znovu erodovány jemné částice na dně (na porovnání zaměřených profilů lze rozeznat mírné prohloubení koryta). Od té doby se mocnost sedimentů opět zvyšuje, zvláště u pravého břehu“ (PETYNIÁK, 2014)

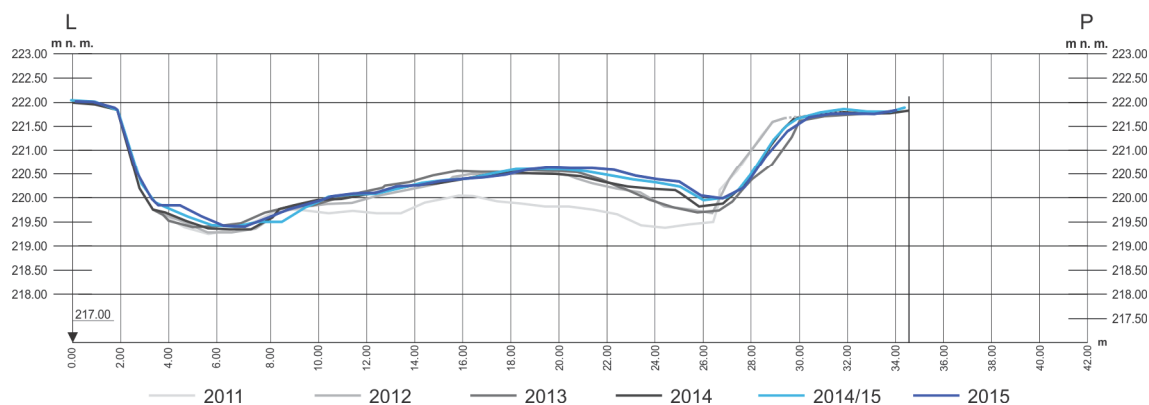
Druhá část hodnocení se věnuje etapám 2014/15 a 2015. Mezi etapou 2014 a 2014/15 byl ztracen stabilizační kolík na levém břehu. Vedoucím práce byl obnoven na pravém břehu Kenické smuhy zhruba metr od původního umístění. Nové umístění mělo výrazný vliv na změnu linie profilu a její prodloužení o několik desítek centimetrů.

Na pravé straně se břeh mírně svažuje směrem k hladině a v těchto místech zůstal téměř nezměněn. První známky sedimentace se nachází na 18,5. metru. Do této úrovně obvykle dosahuje vodní hladina při běžném stavu. Výraznější změny nastaly na 15. metru, kde úroveň sedimentace dosahuje až 15 cm mezi měřeními. Množství usazeného materiálu postupně klesá až k nejhlubšímu místu profilu, kde je sedimentace téměř nulová. Odtud linie profilu prudce stoupá až na břehovou hranu. Zde měření můžeme brát pouze jako orientační. Z důvodu pádu stromu přes pravý břeh

nebylo možné dostatečně přesně změřit hodnotu jednotlivých bodů. Při druhé etapě měření bylo $\frac{3}{4}$ vodní hladiny zaneseno drobným plaveným dřevem a odpadky. Po doměření druhé etapy byl vyměněn kolík na pravé straně z důvodu hniloby.

Profil č. 8

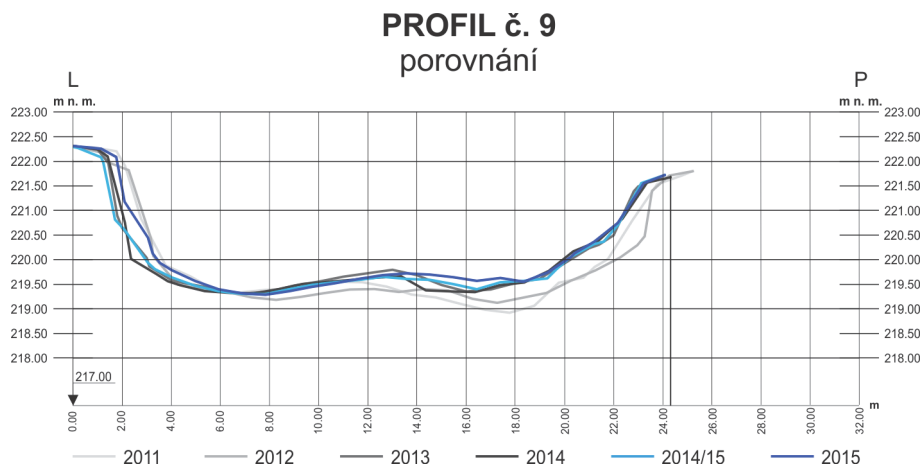
PROFIL č. 8 porovnání



Graf 10 Vývoj příčného profilu č. 8 v jednotlivých etapách měření

Před protržením šije bylo v tomto profilu proudění rozděleno do dvou větví. Toto rozdělení bylo způsobeno mohutným kmenem, který se nachází zhruba 20 metrů proti proudu a je umístěn napříč korytem. Mezi větvemi se vytvořila podlouhlá štěrkopísková lavice. Tato lavice byla mezi roky 2011 a 2012 navýšena až o 50 cm sedimentů. Mezi měřeními 2014 a 2015 bylo uloženo v místech bývalých proudnic průměrně 15 cm sedimentů, které jsou tvořeny převážně jemnými jílovitými částicemi v pravé části, vlevo jsou tvořeny pískem. Trvale je omočená pouze levá část koryta až po šterkovou lavici. Odtud směrem doprava je břeh zarostlý trávou. Levý břeh je zpevněn kořeny stromů. V prosinci 2014 byl pravý stabilizační kolík překryt spadlým stromem. Průběh měření to však neovlivnilo.

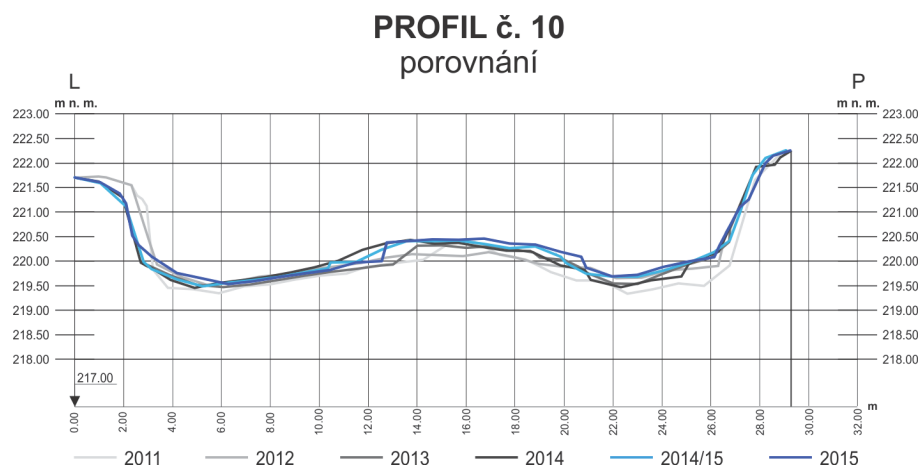
Profil č. 9



Graf 11 Vývoj příčného profilu č. 9 v jednotlivých etapách měření

Tento profil je umístěn zhruba 40 m po proudu od profilu č. 8. Tyto profily mají velmi podobný charakter. Uprostřed koryta se nachází štěrkopísková lavice. Jedná se o stejnou lavici jako v profilu č. 8. Mezi lavicí a pravým břehem v současnosti probíhá výrazná sedimentace, kdy se zanášá rýha po bývalé větvi proudnice. Sedimentace má rychlost zhruba 30 cm za rok a je tvořena jemnými jílovitými částicemi. Levá část lavice podléhá mírné erozi, probíhá odnos jemných částic a místy se objevuje štěrkopískové dno. V levé části profilu je ve spodní části břehu umístěn mohutný kmen, kvůli kterému se charakter levého břehu příliš nemění. Dříve tato část podléhala mírné erozi, ale dnes je zpevněna kořeny stromů. Při druhé etapě měření bylo v korytě napraveno velké množství plaveného dřeva a odpadků, které se zachytilo o dřevní akumulaci několik metrů pod profilem. Tato akumulace odpadků a plaveného dřeva pochází zřejmě od mohutného kmene nacházejícím se před profilem č. 8. U tohoto kmene bývá zachyceno velké množství plaveného materiálu a při výrazném zvýšení hladiny, jako v lednu a v dubnu, byl tento materiál odplaven a částečně zachycen právě zde.

Profil 10

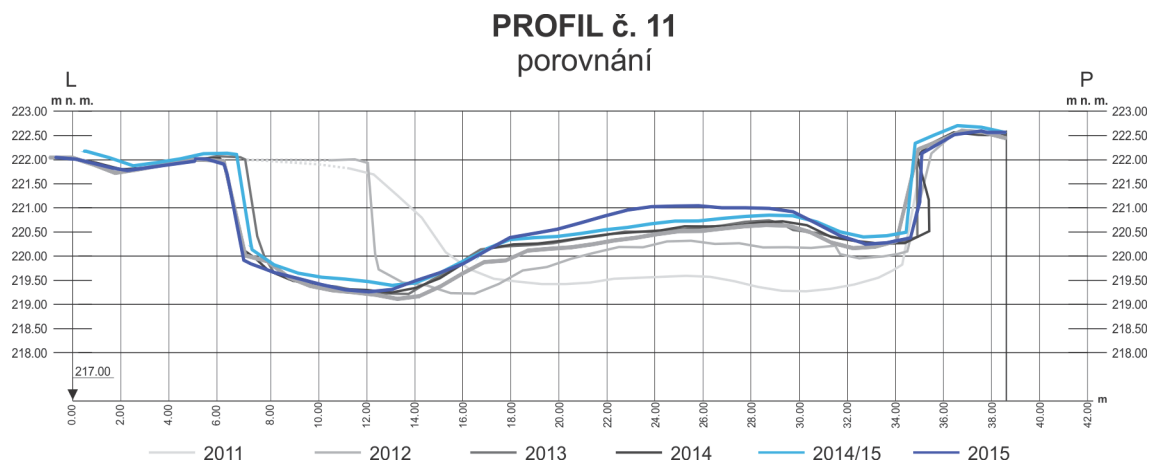


Graf 12 Vývoj příčného profilu č. 10 v jednotlivých etapách měření

Profil č. 10 je poslední, který se nachází v meandru. Zhruba metr před ním byl na začátku roku 2015 umístěn druhý levelogger. Tento senzor patří Masarykově univerzitě v Brně.

Břehy po obou stranách jsou velmi strmé a poslední dva roky nepodléhají žádné erozi. Jsou zpevněny kořenovým systémem stromů, které profil ohraničují. U levého břehu se nachází silná vrstva jemných jílovitých částic, která byla zvýšena mezi první a druhou etapou měření o 15 cm. Ve středu koryta se nalézá lavice, která postupně od roku 2014 migruje směrem k pravému břehu. Mezi lavicí a pravým břehem se nachází na rozdíl od levé šterkopískové části dna dno bahnitě. Zde za poslední rok přibylo zhruba 20 cm jemných sedimentů. Tato část profilu je sice pod vodou, ale 2 metry za profilem, je tato větev přehrazena zachyceným drobným říčním dřevem a odpadky.

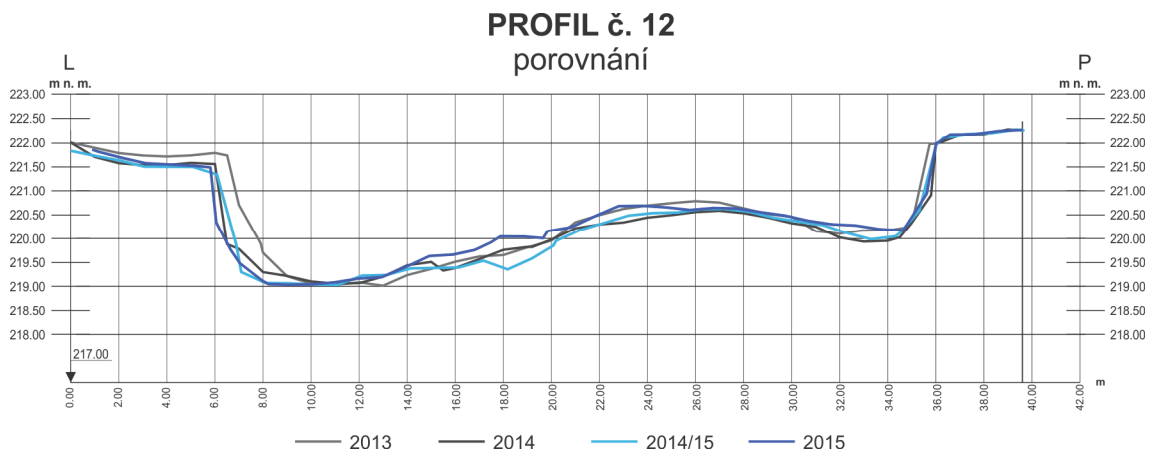
Profil č. 11



Graf 13 Vývoj příčného profilu č. 11 v jednotlivých etapách měření

Tento profil je první, který se nachází pod protrhlou šijí meandru v aktivním korytě. V těchto místech je koryto široké přes 34 m. Břehy jsou přes 2 metry vysoké a velmi strmé. Do levého břehu v současnosti naráží proudící voda. Od tohoto profilu vede proudnice okolo levého břehu až za profil č. 12. Před protržením šije mělo koryto podobný charakter. Po protržení bylo na levé straně odneseno boční erozí zhruba 8,5 metrů břehu. To způsobilo přesun proudnice na levou stranu oproti původnímu stavu, kdy byla na straně pravé. Díky přesunu proudnice se koryto zahloubilo na levé straně a momentálně je primárně průtočné zde. Na pravé straně vznikla velká šterkopísková lavice. Mezi měřeními 2014 a 2015 byla lavice ve středu navýšena až o 50 cm. V omočené části koryta nebyly zaznamenány téměř žádné změny za poslední rok. Došlo pouze k erozi levého břehu zhruba o $\frac{3}{4}$ metru, během povodňového stavu v lednu 2015. Zde je eroze levého břehu způsobena vysokým břehem a nedostatečným zpevněním. Nejbližší stromy se nachází 8 m od břehové linie. Lavice je poměrně často zaplavována a je tvořena pískem a oblázky. Proto se zde nenachází vegetace, která by jí mohla zpevnit.

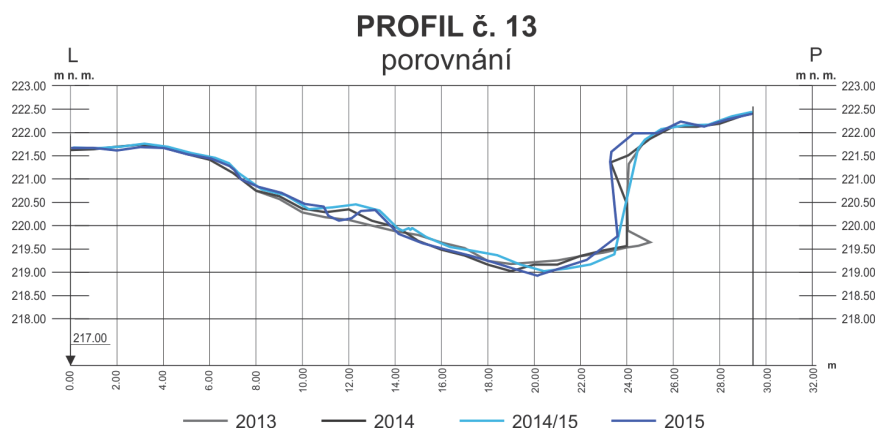
Profil č. 12



Graf 14 Vývoj příčného profilu č. 12 v jednotlivých etapách měření

Tento profil má stejný charakter jako profil č. 11. Štěrkopísková lavice je ale z větší části tvořena pískem, na rozdíl od předešlého profilu. Profil byl vytvořen za účelem výzkumu, jak ovlivňuje proudění, sedimentaci a erozi strom, který vlivem vnějších podmínek spadl do koryta řeky. Ten se nacházel pár metrů proti proudu na levém břehu. Strom dříve ležel částečně na břehu a byl nahnutý směrem do koryta, tudíž jeho větve ovlivňovaly proudění. Strom byl v lednu 2015 stržen do koryta a v současnosti se nachází v linii profilu. Dokud strom stál na břehu, jeho větve odkláněly proudění a za větvemi se pomalu ukládaly sedimenty, které byly proudem v lednu 2015 odneseny. Dno se zarovnal a v současnosti mírně stoupá na vrchol lavice. V této části také bylo uloženo 20 cm písčitých sedimentů. Ty nejspíše částečně pochází z přední části této štěrkopískové lavice, která byla po podemletí a následném pádu stromu před ní výrazně erodována. U pravého břehu se nachází rýha vytvořená původní proudnicí. Ta byla zanesena během posledního půl roku 25 cm písčitými sedimenty. Deset metrů pod profilem se nacházel brod spojující břehy. Ten byl v lednu 2015 zničen a zatím se nevytvořil nový.

Profil č. 13

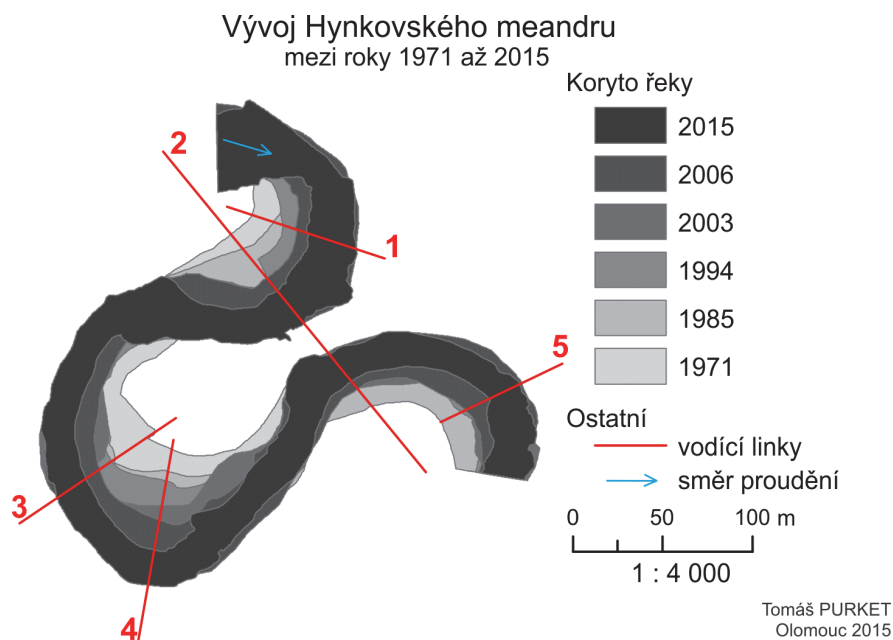


Graf 15 Vývoj příčného profilu č. 13 v jednotlivých etapách měření

Tento profil je umístěn po proudu nejdále. Mezi profilem č. 12 a č. 13 je proudnice pomalu odkláněna k pravému břehu. V inflexním bodě proudnice byly vlivem boční eroze v lednu 2015 odplaveny přibližně 4 metry břehu, proto bylo místo odklonu

proudnicí posunuto dále po proudu a lze očekávat i další erozi levého břehu. Od tohoto místa se koryto opět zužuje. Z důvodu přesunu proudnic na pravou stranu je pravý břeh v úrovni profilu výsepní. Mezi první a druhou etapou měření v místě proudnic bylo koryto zahloubeno o 10 cm. Tato eroze nastala po celé omočené části levého břehu. Proudnic se mírně přesunula ke středu koryta. Na pravé straně se mezi měřeními 2014/15 a 2015 začali ukládat písčité sedimenty. Bohužel charakter spodní a střední části pravého břehu byl dobře zaznamenán pouze při měření v roce 2014. Převis vytvořený boční erozí se na místě stále nachází.

6.3 Vyhodnocení vývoje Hynkovského meandru



Obr. 11 Vývoj Hynkovského meandru mezi roky 1971 až 2015

Na snímku z roku 1971 lze vidět počáteční fázi meandrujícího koryta. V prvním zákrutu meandru, tedy v nátoku, můžeme vidět na pravé straně koryta rozsáhlou lavici sedimentů, kudy dříve vedlo koryto. Ze snímků můžeme rozpoznat zazemněné koryto, které končí na druhém břehu nad touto lavicí. Můžeme předpokládat, že dříve zde bylo i druhé koryto, které se zde napojovalo, nebo tudy původně koryto vedlo. Dále po proudu můžeme vidět, že koryto v místě vrcholu meandru vedlo těsně kolem lesního porostu na levém břehu. Na výsepním břehu se nachází břehová nátrž. Ve spodní části zákrutu se koryto stáčí o několik metrů severně. Díky tomu zákrut v této době už splňuje definici meandru.

Na snímku z roku 1985 můžeme vidět, že se šterkopísková lavice v horní části meandru během 14 let poměrně dobře zalesnila. Šířka šíje zůstala velmi podobná, ale posunula se o 10 metrů jihovýchodně, avšak střed meandru zůstal zachován. Koryto řeky v oblasti 3. vodící linie erodovalo a přesunulo se o 14 metrů jihozápadně. Jesepní strana koryta se tu naopak o 20 metrů rozšířila a začala se vzdalovat od zalesněného jádra. Dále po proudu zůstal charakter koryta zachován.

Mezi roky 1985 a 1994 se šíje zmenšila o 10 metrů a vnitřní úhel se výrazně zvětšil. V severní části meandru celý nárazový břeh erodoval a jesepní břeh byl o několik metrů rozšířen. Tím došlo k celkovému zúžení koryta. Eroze ve vrcholové části meandru postoupila zhruba o 14 metrů a meandr se začal mírně stáčet na jih. Tento jev byl zapříčiněn vykácením části lesního porostu v nárazovém břehu a jeho přetvoření na louku či pole. V zákrutu meandru u linie č. 5 (nejnižší po proudu), byl levý nárazový břeh velmi výrazně erodován. Ve vrcholu tohoto zákrutu erodovalo přibližně 19 metrů zeminy.

Snímek z roku 2003 je první barevný. Zde je už velmi dobře vidět koryto a také rozdíl mezi travním a lesním porostem. Šíje se během 9 let zúžila o 7,8 m. Zákrut v horní části toku byl posunut západním směrem, což odpovídá současné fázi meandru,

kdy se proudnice nachází podél celého levého břehu zákrutu až do šíje, odkud se opět odklání k břehu pravému. Ve vrcholové části meandru se výrazně projevila boční eroze, kdy na pravém břehu bylo odneseno 20 metrů zeminy. Ve vzdálenosti zhruba 60 metrů po proudu (vodící linka 4) byl pravý břeh posunut o 35 metrů jižně a nově se na toto místo dočasně přesunul vrchol meandru. Ve spodní části zákrutu meandru v úrovni šíje, byl levý výsepní břeh erodován, k čemuž došlo poprvé od roku 1971. Na jesebním břehu zákrutu v oblasti vodící linky č. 5 se koryto zúžilo a přesunem proudnice se vytvořila 14 metrů široká akumulací lavice.

Vzhledem k tomu, že rozmezí snímků 2003 a 2006 jsou pouze 3 roky, změny jsou na snímcích minimální. Zpomalení vývoje vrcholové části meandru zapříčinilo zalesnění celého pravého břehu, které proběhlo před rokem 1994 a stromy vytvořili již dostatečný kořenový systém pro zpevnění břehu.

Mezi roky 2006 a 2015 v Hynkovském meandru nedošlo k výraznějším změnám. Šíje se zúžila na 12 metrů, ale v jejím okolí se vytvořilo několik koryt širokých okolo 1,5 m, která jsou při vyšších vodních stavech protékána a postupně se rozšiřují. Pokud se dostatečně rozšíří, lze očekávat postupné odemílání zeminy v oblasti šíje a tím její snížení a výrazné oslabení. To může vést k postupnému protržení šíje. V první zákrutu byla zvětšena a navýšena šterkopísková lavice na jesební straně břehu východním směrem. Vrchol meandru po zalesnění se opět vyvíjí původním směrem. Zde byla středová linka posunuta o 4,6 metru, zatímco ve směru, kterým se meandr posouval v období 1994 až 2006, byla změna jen 3,7 m. V zákrutu nejnižší po proudu bylo koryto rozšířeno v nárazovém břehu, kde po proudu za vodící linkou č. 5 bylo odneseno přes 1 metr půdy. V současnosti tato břehová nátrž zasahuje do panelové komunikace, která tudy vede. Na jesebním břehu bylo koryto zahlobeno a vytvořila se tu nízká terasa v uložených sedimentech. Charakter zákrutu však změněn nebyl.

Tab. 3 Pohyb středové linky mezi roky 1971 a 2015
(vzdálenost středových linií na vodící linky)

Období	Délka vodící linky [m]				
	1	2	3	4	5
1971-1985	7,86	9,8	18,83	9,94	-12,67
1985-1994	3,79	16,13	6,16	10,4	16,99
1994-2003	9	2,58	9,22	17,34	3,05
2003-2006	1,69	0,1	1,23	6	2,25
2006-2015	2,97	4,6	3,72	9,64	6,31
1971-2015	25,3	33,19	39,15	53,4	15,92

Tab. 4 Vzdálenost vnitřních břehů v oblasti šíje
Hynkovského meandru od 1971 do 2015

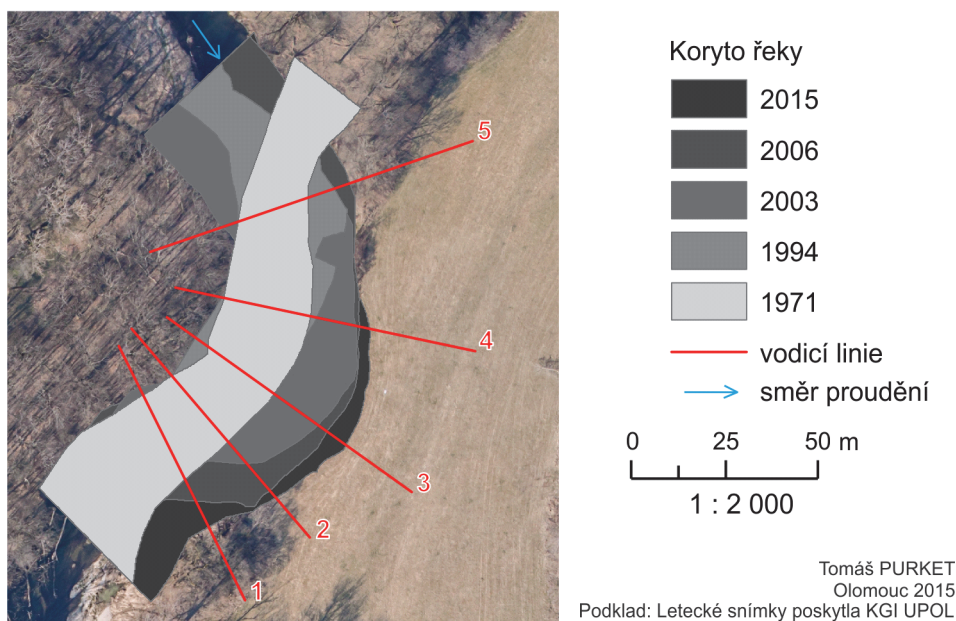
Rok	Délka vodící linky č. 2 [m]	Nejužší místo šíje [m]
1971	47,7	45
1985	49	47
1994	38	37
2003	29,2	29,2
2006	22,3	20,8
2015	22,6	12,2

Tab. 5 Posun břehu v jednotlivých obdobích od roku 1971 do 2015

	Délka vodící linie [m]				
	1	2	3	4	5
období	pravý břeh	pravý břeh	levý břeh	levý břeh	pravý břeh
1971-1985	12,5	10,43	26,68	12,52	x
1985-1994	5,4	22,75	2,22	5,4	12,42
1994-2003	12,65	2,53	10,32	14,09	6,13
2003-2006	4,94	4,34	-2,16	7,56	-3,65
2006-2015	6,69	9,33	9,24	16,9	14,41
1971-2015	32,31	40,7	46,29	56,87	17,25

6.4 Vyhodnocení vývoje břehové nátrže u Štěpánova

Vývoj břehové nátrže u Štěpánova
mezi roky 1971 až 2015



Obr. 12 Vývoj břehové nátrže v období 1971 až 2015

Vývoj břehové nátrže započal někdy mezi roky 1971 až 1985. Na snímku z roku 1971 se nachází proti proudu malý meandr (60 m od začátku břehové nátrže). Ten má již velmi úzkou šíji (zhruba 12 m), která se v tomto časovém rozmezí protrhla. Proudění v místě nátrže bylo v roce 1971 podélné a břeh nebyl nárazový. To se po protržení šíje změnilo. Proudění se téměř kolmo otočilo a proud začal narážet do břehu. Ten byl zpevněn pouze stromořadím, které bylo postupně podemíláno a kmeny, pokud spadly do koryta, byly odplavovány. Snímek z roku 1985 je bohužel velmi nekvalitní a tudíž špatně interpretovatelný. Můžeme na něm pouze rozpoznat protrženou šíji, několik šterkopiskových lavic a odstranění stromů na levém břehu, ale ne přesný nebo alespoň přibližný průběh koryta.

Na snímku z roku 1994 můžeme vidět zarostlé torzo bývalého meandru, kdy břeh v oblasti protržené šije a říčního koryta ustoupil o 10 metrů jihovýchodním směrem. Od tohoto místa se koryto stáčí mírně na západ. To je zapříčiněno šroubovitým prouděním vznikajícím nárazem proudící vody do levého břehu v téměř pravouhlém zákrutu.

Mezi roky 1994 a 2003 vznikla samotná břehová nátrž, a proto v této oblasti proběhla nejvýraznější změna. Ve středu břehové nátrže byl v rozmezí devíti let levý břeh posunut o 23 metrů. Délka břehové nátrže v roce 1994 byla zhruba 23 metrů, ale v roce 2003 až 70 metrů. Vznik břehové nátrže ovlivnil podobu celého koryta. V jesebním břehu naproti nátrži začala vznikat štěrková lavice. Koryto pod nátrží se podle očekávání začalo ještě více stáčet na západ. To je velmi dobře vidět pomocí středových linií.

V průběhu dalších 3 let se neprojevily žádné zásadní změny. Nátrž byla v nejjihnější části rozšířena o 3 metry a v části nátrže nejnižší po proudu došlo k erozi břehu o 7 metrů jihovýchodně. Horní část nátrže zůstala nezměněna.

V období mezi roky 2006 a 2015 se koryto proti proudu začalo narovnávat a drobné zákruty zde zanikly. V této části toku na levém břehu byla vytvořena 2 metry široká lavice tvořená sedimenty. Na pravém jesebním břehu v úrovni nátrže byla štěrková lavice rozšířena jižním směrem, ale po stranách byla zkosena. Samotná břehová nátrž se prodloužila o 10 metrů a ustoupila jihovýchodním směru o 5,6 metru. V současnosti je délka nátrže zhruba 80 m.

Tab. 6 Pohyb levého břehu v oblasti břehové nátrže v období 1971 až 2015

Období	Délka vodící linie [m]				
	1	2	3	4	5
1971-1985	3,75	11,51	7,23	4,83	11,02
1985-1994	-13,655	-20,73	-13,95	-3,16	-3,79
1985-2003	-8,83	-3,91	6,95	7,43	-5,43
1994-2003	-4,82	16,81	20,89	10,58	-1,62
2003-2006	11,52	9,37	3,01	1,1	5,93
2006-2015	7,61	2,53	6,18	2,71	12,96
1971-2015	14,06	19,48	23,36	16,07	-0,75

Tab. 7 Plocha eroze v oblasti břehové nátrže v období mezi 1971 a 2015

Období	Rozloha [m ²]
1971-1994	260,23
1994-2003	972,6
2003-2006	232,82
2006-2015	230,85

6.5 Současná podoba lokality U Věže

Hlavní koryto Moravy směřuje napříč celou lokalitou U Věže, tj. od severozápadu k jihovýchodu. Oblast má spíše charakter divočí říky. V levé horní části můžeme vidět pravoúhlý zákrut Moravy, který se posunul od své původní polohy zhruba 60 metrů doprava. Asi 150 metrů směrem po proudu narazíme na další zákrut, kde se nacházel nátok do právě zazemňujícího se meandru. Jižně odtud se rozkládá rozsáhlá tůň. Ta se nachází v příležitostně protékaném korytě, které se napojuje zpátky na aktuálně zaplavené koryto. Ve spodní části se nachází dva větší „ostrovy“ a několik menších tvořených říční nivou. Ty jsou ohraničeny buď starým korytem, na kterém se dosud nevytvořila aluviální zátka, nebo aktivním korytem.



BŘEHOVÉ LINIE U věže v roce 2015

- břehová linie
- směr proudění

0 50 100 m
1 : 5 000

Tomáš PURKET
Olomouc 2015
Podklad: Letecké snímky poskytla KGI UPOL

Obr. 13 Břehové linie v lokalitě U Věže v roce 2015

Lokalita je velice různorodá. Nacházelo se zde mnoho zákrutů či meandrů. To nejspíše zapříčinilo vytvoření výsepních břehů a úzkých koryt, které se postupně rozšiřovaly, až byl do těchto míst přeměrován hlavní tok. Nachází se zde velké množství šterkopískových lavic, které jsou porostlé travní vegetací. S největší pravděpodobností to jsou pozůstatky jesebních břehů koryta.

Při hodnocení této lokality nelze většinu tvrzení dokázat. Pro analýzu historie tohoto území by bylo nutné zpracovat a vyhodnotit alespoň 3 letecké snímky z uplynulých 30 let.

6.6 Budoucí vývoj sledovaných lokalit

Oblast Kenického meandru

Momentálně se vývoj meandru může ubírat 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.

V současnosti jsou obě možnosti stejně pravděpodobné, protože před šjí se po 11. lednu 2015 nachází velké množství říčního dřeva a to jak velké kmeny, tak menší větve, které zadržují množství odpadků. Dále napříč šjí spadly dva kmeny z pravého břehu, které mohou vytvořit základ hráze.

Oblast Hynkovského meandru

Vývoj Hynkovského meandru je v současnosti poměrně jasný, alespoň pro velmi blízkou budoucnost. Lze předpokládat, že se do 5 až 10 let šjí protrhne. To ovšem závisí na četnosti zvýšení vodního stavu. Nabízí se zde otázka, zda protržení šjí nastane rychle, při extrémní výšce hladiny, nebo budou malá vytvořená koryta dostatečně často protékána, aby se zahlubila a postupně se rozšířila až v protržení šjí.

Břehová nátrž u Štěpánova

Budoucí vývoj nátrže lze odhadnout ve výhledu několika let. Nátrž bude postupně ustupovat jihovýchodním směrem, jelikož se zde nachází měkká, ničím nezpevněná niva. Směrem proti proudu se nejspíše rozšiřovat nebude, spíše se koryto bude přesouvat západním směrem. Vývoj koryta směrem po proudu od nátrže ovšem není jasný. Buď nátrž rozšíří západním směrem, nebo pokud bude pokračovat v nastávajícím ústupu (směrem na jihovýchod), bude se proudnice více přimykát k pravému břehu, kde se nachází v současnosti. Tento břeh se postupně vyvinul ve výsepní a podléhá boční erozi. Voda zde postupně podemílá břeh a způsobuje pády stromů, které se nalézají na břehu koryta.

7 DISKUZE

Terénní měření je z velké části ovlivněno lidským faktorem, a proto zejména na počátku práce dochází ke značným chybám. Pracovní tým musí velmi dobře spolupracovat a komunikovat, což bývá často obtížné. Proto je běžné, že první měření probíhá velmi pomalu s řadou nedorozumění. I přes překonání těchto problémů jsou zde faktory, které práci komplikují. Mezi ně patří vzdálenost a hluk v aktivně proudícím korytě řeky.

Za největší nedostatek při terénních pracích lze považovat lano, které se napíná mezi kolíky. Při nedostatečném napnutí dojde k prověšení lana a tím nepřesnému určení vzdálenosti jednotlivých bodů. Navíc lano poměrně rychle podléhá zkáze. Po dvou takto dlouhých etapách měření, doporučuji koupit nové, nebo alespoň nově vyznačit úseky po jednom metru. Tento problém by mohl být vyřešen použitím totální stanice. Tu ovšem nelze použít při měření ze člunu. Hranol často není možné udržet v klidné poloze na tak dlouhou dobu, aby mohl být zaměřen. Dále by mohl být problém s umístěním přístroje, v období, kdy nelze najít místo s výhledem na celý profil.

Při zpracování leteckých snímků by bylo vhodné snížit RMSE pod 0,5 metru. Zde narážíme na problém s rozlišením snímku (obzvláště na snímcích z let 1971 a 1985) a charakteru území, na kterém byly zaznamenány. Snímky obsahují velké množství zalesněných ploch, polí, luk, kde je obtížné nalézt vhodné vřícovací body. Body, které jsou vhodné (rohy staveb, kryty kanalizace) nejsou na snímku optimálně rozmístěné. Zdrojem odchylek při digitalizaci břehových linií je nejasná definice břehové linie, kdy záleží na uvážení autora, co vše bude zahrnuto do oblasti koryta. V určitých částech koryta docházelo k překrytí břehové linie korunou stromů, či dlouhým stínem, který zabraňoval jasné identifikaci břehu. Z tohoto důvodu byla vytvořena středová linie mezi zdigitalizovanými břehovými liniemi, která dostatečně vystihne trasu koryta toku. Tuto chybu ale není možno nikdy spolehlivě odstranit. Na sadě snímků z roku 2015 tento problém nenastal, protože snímkování proběhlo v zimních měsících, kdy stromy nebyly olistěné.

Při vyhodnocování leteckých snímků, by mohlo být užitečné získat záznamy o povodňových stavech za předpokladu, že boční eroze byla při nich nejvýraznější. Bylo by možné zjistit, zda se záznamy v jednotlivých obdobích shodují či ne. Z těchto informací bychom mohli vyvodit detailnější informace o vývoji území a získali bychom lepší podmínky pro vytvoření odhadu budoucího vývoje. Tuto analýzu by bylo vhodné použít pro výzkum břehové nátrže u Štěpánova.

V lokalitě U Věže byly určeny základní informace o území a možný minulý vývoj této oblasti, což naplnilo cíl práce. Pro lepší analýzu minulého i budoucího vývoje by bylo vhodné použít snímky z rozmezí minimálně 30 let. Geodetické zaměřování lokality by bylo velmi obtížné z důvodu velké různorodosti území.

8 ZÁVĚR

Cílem práce bylo geodetické zaměření a vyhodnocení příčných profilů koryta řeky Moravy rozmístěných v oblasti PR Kenický. Vyhodnocení proběhlo z naměřených dat a z převzatých dat z předchozích měření Otmara Petyniaka a Heleny Uhrové. Při bakalářské práci byly naměřeny dvě sady příčných profilů za období listopad 2014 až červenec 2015. Dále pomocí fotogrammetrických metod byl vyhodnocen vývoj vybraných geomorfologických útvarů nacházejících se ve vybraných lokalitách. První oblast se nazývá U Věže, zde byly cíle naplněny vyhodnocením současného stavu. V lokalitě Kenický byl porovnán stav z jara 2015 se stavem na jaře 2014. Zároveň vznikl popis současného stavu protržené šije Kenického meandru a jeho okolí. Dále byla provedena časoprostorová analýza Hynkovského meandru mezi roky 1971 až 2015 z celkem šesti sad leteckých snímků. V poslední vybrané lokalitě byl sledován vývoj břehové nátrže od roku 1971. Poslední součástí práce bylo pravidelné stahování a údržba senzorů umístěné PR Kenický a v obci Hynkov. Tato data byla následně předána vedoucímu práce.

První část práce se věnuje zkrácenému popisu použitých metod při sběru a zpracování naměřených dat, zpracování leteckých snímků a celkovému postupu práce. Následující kapitola popisuje průběh meandrování, popis meandru a proudění v korytě. Následně se práce věnuje autorům, kteří se touto problematikou již zabývali na různých úrovních. Kapitola 4.5 stručně shrnuje minulé výzkumy v lokalitě Kenický a další výzkum v ČR. V kapitole 5 je uveden podrobný popis terénních prací, zpracování naměřených dat a zpracování leteckých snímků.

Kapitola 6 zahrnuje celkové vyhodnocení vývoje sledovaných lokalit. V úvodu jsou uvedeny informace o výšce hladiny v Kenickém meandru. Průměrná hladina byla stanovena na 220,157 m n. m. Extrémní zvýšení hladiny bylo zaznamenáno v období měření dvakrát. Další část se věnuje postupnému popisování vývoje sledovaných lokalit a příčných profilů. V poslední části se nachází odhad budoucího vývoje.

Uvnitř dnes již částečně průtočného meandru Kenický, byla v uplynulém roce zaznamenána sedimentace. Nejvíce na profilu č. 4, nejméně naopak na profilu č. 2, který je umístěn za nátokem do meandru. V nátoku do meandru je v současné době nedotvořená aluviální zátka, která zabraňuje při nižším než průměrném stavu hladiny proudění do meandru. Ve výtoku z meandru se zátka dosud nevytvořila. S ohledem na to, jak tento rok byl odlišný od předchozích let, kdy měření probíhalo, nelze s určitostí říct, jakou rychlostí se bude meandr zazemňovat. Druhá možnost budoucího vývoje je, že se v oblasti šije koryto přehradí říčním dřevem a odpadky a tím se meandr stane opět trvale průtočný. Způsob sledování lokality je v současnosti dostatečný, ale bylo by dobré v něm i nadále pokračovat.

Hynkovský meandr se ve sledovaném období vyvinul do fáze těsně před protrhnutím. To je očekáváno v následujících několika letech. V současnosti má šije šířku okolo 12 m. Napříč šijí prochází dvě malá pravidelně průtočná koryta, která jsou široká kolem 1,5 m. Meandr se před rokem 1994 začal postupně otáčet jižním směrem. Tento pohyb a celkový posun vrcholu meandru jihovýchodním směrem byl zpomalen zalesněním celého pravého břehu koryta. Tuto lokalitu by bylo dobré geodeticky zaměřit a vytvořit několik příčných profilů pro možnost budoucího výzkumu.

Břehová nátrž u Štěpánova se začala výrazněji vyvíjet až v roce 1994. V současnosti začátek břehové nátrže je v místě hrany výtoku z dnes již téměř zazemněného koryta meandru. Tento meandr se dříve nacházel výše po proudu. Celková délka nátrže činí

v současnosti zhruba 80 m. Průměrná rychlost eroze je 9,48 m²/rok. Nátrž se postupně posouvá jižním a jihovýchodním směrem. Zde se nachází ničím nezpevněná louka tvořená říční nivou a lze předpokládat i budoucí vývoj tímto směrem.

Lokalita U Věže v minulosti prodělala velký vývoj. Koryto řeky se postupně pohybovalo přes celou lokalitu. V současnosti se zde nachází několik bočních koryt, šterkopiskových lavic a zazemňující se meandr. Pro určení vývoje oblasti by bylo zapotřebí použít 3 leteckých snímků alespoň z posledních 30 let. Tuto lokalitu by bylo dobré i nadále snímkovat a studovat její vývoj z důvodu její různorodosti.

9 SUMMARY

The aim of this bachelor's thesis was geodesical measurement and evaluation of river Morava's lateral profiles set in PR Kenický area. For evaluation, we used measured data and data taken from previous measurements by Otmar Petyniak and Helena Uhrová.

For bachelor's thesis we measured 2 sets of lateral profiles during period from November 2014 to June 2015. Next we evaluated progress of specific geomorphological systems by using photogrammetrical methods. These systems were situated in different locations. First location is called „U Věže“ and we reached the goal by evaluating recent conditions. For the other location, „Kenický“, we compared conditions from spring 2015 and spring 2014 and described recent status of ruptured neck of Kenický meander.

Another aim was spatio-temporal analysis of Hynkovský meander during period from 1971 to 2015 where we used six different sets of aerial photographs. Here, we observed the state of bank failure progressing since 1971. Last part of thesis was regular downloading and maintaining sensors placed in PR Kenický area and village Hynkov. These data were later delivered to bachelor thesis's supervisor.

First part of bachelor's thesis is focused on methods we used for collecting and processing measured data, dealing with aerial photographs and describing working progress. This part is followed by chapter characterizing meanders and streaming in river channels. Next chapter is devoted to current state of issue we deal with. Here we name people, who were involved in this topic. Next part of thesis summarizes previous research in Kenický area and total research in Czech republic. In chapter 6, there is detailed description of field work and characterization of processing measured data and aerial photographs.

Chapter 7 includes total evaluation of areas where we did research and measurements. In the beginning of this chapter we stated information about water stage in Kenický meander. Average stage was 220, 1579 metres above sea level and we noted extreme raise of water level twice during the period of research. Following part describes gradual progress of specific areas and lateral profiles. Last chapter estimates future progresses.

During last year, we noticed proces of sedimentation inside of Kenický meander. Process was the most noticeable in cross section profile number 4 and the least noticeable in profile number 2, which was placed behind meander inflow. Currently, there is proces of creating the alluvial bay inside the meander inflow. If river level declines, this bay doesn't allow river stream to flow inside the meander.

In the lower part of the meander, the bay hasn't been established yet. Considering the differences of this year from previous years, we cannot say exactly how quickly the meander will be filled by sediments. Second option could be damming the neck of the river channel by flowing wood and garbage. This would allow the stream to flow again.

Observing the area is sufficient for now but we should continue with it further on.

During measuring, Hynkovský meander had evolved into phase just before rupturing. We can expect this rupturing in the number of years. Meander neck is currently 12 metres wide. There are two small side channels crossing the neck, each 1,5 metre wide.

Meander had started to change its direction to the south since 1994. This movement was slowed down by reforestating the right bank of the river. This area and its lateral profiles should be geodesically measured for possible future research.

Bank failure by Štěpánov village started to develop in 1994. Currently, the beginning of bank failure is placed on the edge of meander channel. Total length of bank failure is nearly 80 metres and average speed of erosion is 9,48 m²/year. Failure is slowly moving to the south-west towards meadows so we can expect future development to this direction.

Area „U Věže“ went through huge development in the past. River channel have gradually moved across the whole area. Currently, there are a few side channels, rubble-sand bars and meander. For further research of area development, we need aerial photographs at least from last 30 years. We should continue to map and study this area because of its diversity and development.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

AOPK ČR. Agentura ochrany přírody a krajiny České Republiky [online]. 2015 [cit. 2015-06-21]. Dostupné z: <http://www.ochranaprirody.cz>

BERG, Van den, J.H. Prediction of alluvial channel pattern of perennial rivers. *Geomorphology*. 1995, 12, s. 259-279.

CONSTANTINE, J.A.; DUNNE, T.D. Meander cutoff and the controls on the production of oxbow lakes. *Geological Society of America Bulletin*. 2008, 36, 1, s. 23-26.

ČADA, Václav. Metody nivelace. Přednáškové texty z geodézie [online]. [cit. 2015-06-17]. Dostupné z: <http://www.gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch11s05.html>.

ČADA, Václav. Tachymetrie. Přednáškové texty z geodézie [online]. [cit. 2015-06-17]. Dostupné z: <http://www.gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch15s02.html>.

HORNÍK, Stanislav. Fyzická geografie. II. Vyd. 1. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1986. 319 s., obr. příl. [16] s. Učebnice pro vysoké školy (Státní pedagogické nakladatelství). ISBN (Váz.).

HUGGETT, Richard John. *Fundamentals of geomorphology*. 2nd ed. London ; New York, N.Y. : Routledge Taylor & Francis Group, 2007. xv, 458 s., [8] s. obr. příl. Routledge fundamentals of physical geography series. ISBN 978-0-415-39084-2.

HOWARD, A.D.; KNUTSON, T.R. Sufficient conditions for river meandering: A simulation approach. *Water resources research*. 1984, 20, 11, s. 1659-1667.

KNIGHTON, David. *Fluvial forms and processes : a new perspective*. 1st pub. London : Hodder Education, 1998. xv, 383 s. ISBN (Brož.).

KNOT, Martin. Hydromorfologický monitoring aktuálního vývoje řeky Moravy v Litovelském Pomoraví [online]. 2015 [cit. 2015-07-21]. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Monika Šulc Michalková. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/375676/prif_m/.

MÁČKA, Zdeněk; KREJČÍ, Lukáš. Prognóza geomorfologického vývoje řeky Moravy v úseku od jezu hynkov po kenickou lávku: NPR Ramena řeky Moravy, CHKO Litovelské Pomoraví. Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, Brno, 2006.

MENKING, Kirsten; STEWART, Meg E. Using mobile mapping to determine rates of meander migration in an undergraduate geomorphology course. *Journal of Geoscience Education*, 2007, 55.2: 147.

MUSILOVÁ, Jitka. Fluviální tvary meandrujícího koryta horní Lužnice [online]. 2010 [cit. 2015-07-21]. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Zdeněk Máčka. Dostupné z: <http://is.muni.cz/th/269138/prif_b/>.

PETYNIAK, Otmar (dis). Analýza současného vývoje reliéfu Kenického meandru [rukopis]. 2012. 47 s. Bakalářská práce -- Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, 2012.

PETYNIAK, Otmar (dis). Stav a budoucí vývoj odtrženého meandru v CHKO Litovelské Pomoraví [rukopis]. 2014. 82. Diplomová práce -- Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, 2014.

STOLUM, H.H. River meandering as a self-organization process. Science. 1996, 271, s. 1710-1713.

ŠTĚRBA, Otakar. Říční krajina a její ekosystémy. 1. vyd. V Olomouci : Univerzita Palackého, 2008. 391 s. Dostupné na internete: <http://toc.nkp.cz/NKC/200907/contents/nkc20091964992_1.pdf> ISBN 978-80-244-2203-9.

UHROVÁ, Helena (dis). Sběr terénních dat v morfoloicky náročném terénu [rukopis]. 2012. 34 s.; přílohy 15 s. Bakalářská práce -- Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, 2012.

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1 Sledované území – 1. U Věže, 2. Kenický meandr, 3. Hynkovský meandr, 4. břehová nátrž u Štěpánova (zdroj: autor)	12
Obr. 2 Přehled příčných profilů (autor: Otmar Petyniak)	13
Obr. 3 Nivelace ze středu (zdroj: autor)	14
Obr. 4 Ukázka porovnání břehových linií (<i>Letecký snímek poskytl VGHMÚř Dobruška © MO ČR 2011</i>)	16
Obr. 5 Schéma meandru (HORNÍK (1996))	17
Obr. 6 Vývoj a zánik meandru (zdroj: http://www.geocaching.com/geocache/GC22ZR5_meandry-luciny-meanders-of-lucina-earthcache)	18
Obr. 7 Několik možných typů vývoje meandru (autor: PETYNIK, 2012)	19
Obr. 8 Ukázka nivelace profilu č. 9 (zdroj: autor)	23
Obr. 9 Ukázka vytyčení břehové linie (<i>snímek z roku 1971, VGMÚř Dobruška</i>)	26
Obr. 10 Eroze břehu a nové říční dřevo v oblasti šíje Kenického meandru k lednu 2015	29
Obr. 11 Vývoj Hynkovského meandru mezi roky 1971 až 2015	41
Obr. 12 Vývoj břehové nátrže v období 1971 až 2015	43
Obr. 13 Břehové linie v lokalitě U Věže v roce 2015	45

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Denní průměr výšky hladiny (u profilu č. 2) v období duben 2013 až červen 2015	28
Graf 2 Vývoj příčného profilu č. 0 od roku 2013	30
Graf 3 Vývoj příčného profilu č. 1 v jednotlivých etapách (etapu měření 2014/15 a 2015 nelze srovnávat s předchozím měřením)	31
Graf 4 Vývoj příčného profilu č. 2 v jednotlivých etapách měření	32
Graf 5 Vývoj příčného profilu č. 3 v jednotlivých etapách měření	32
Graf 6 Vývoj příčného profilu č. 4 v jednotlivých etapách měření	33
Graf 7 Vývoj příčného profilu č. 5 v jednotlivých etapách měření	34
Graf 8 Vývoj příčného profilu č. 6 v jednotlivých etapách měření	34
Graf 9 Vývoj příčného profilu č. 7 v jednotlivých etapách měření (měření 2014/15 a 2015 nelze porovnávat s předchozím měřením)	35
Graf 10 Vývoj příčného profilu č. 8 v jednotlivých etapách měření	36
Graf 11 Vývoj příčného profilu č. 9 v jednotlivých etapách měření	37
Graf 12 Vývoj příčného profilu č. 10 v jednotlivých etapách měření	37
Graf 13 Vývoj příčného profilu č. 11 v jednotlivých etapách měření	38
Graf 14 Vývoj příčného profilu č. 12 v jednotlivých etapách měření	39
Graf 15 Vývoj příčného profilu č. 13 v jednotlivých etapách měření	39

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Vázané přílohy:

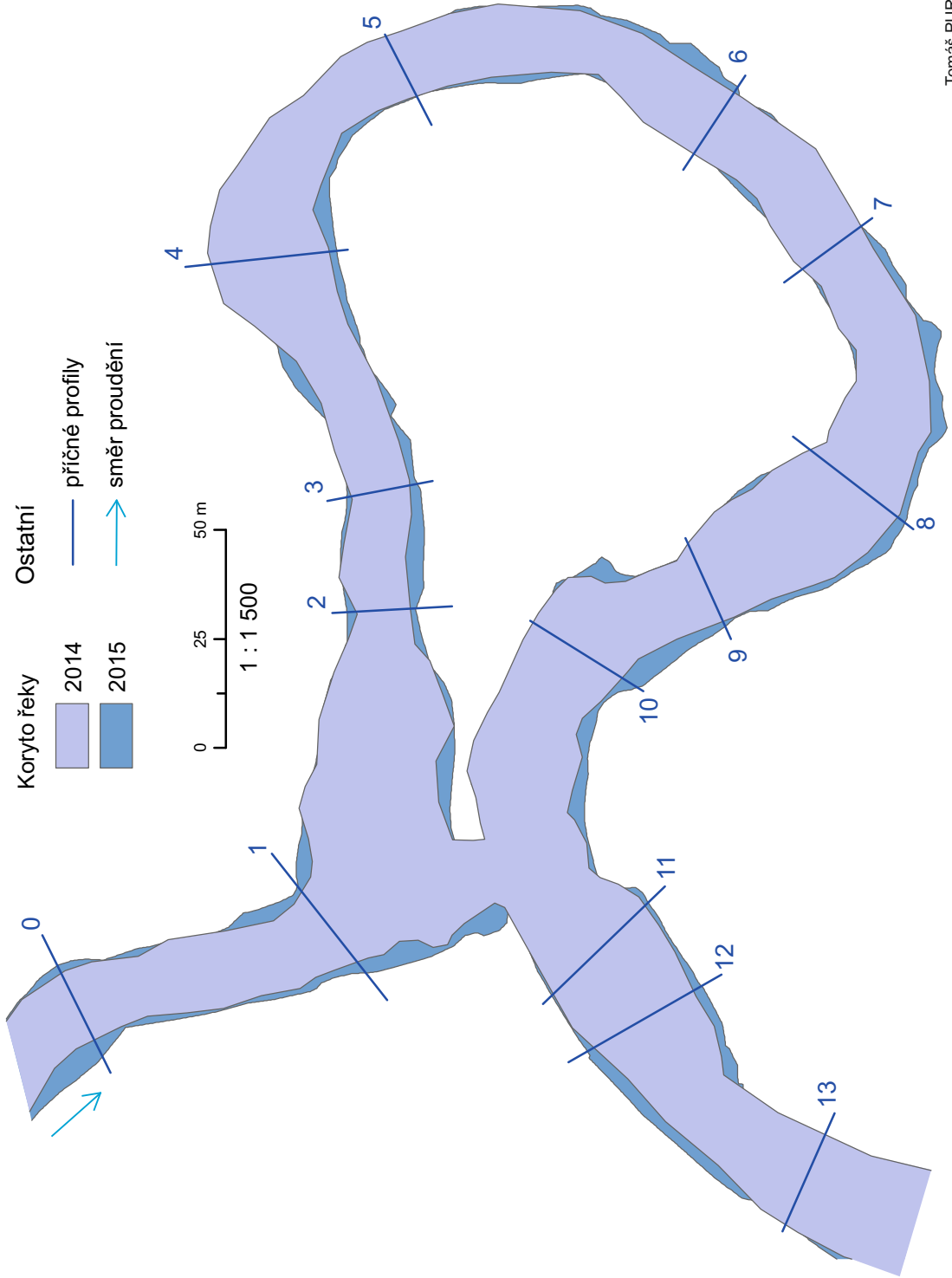
- Příloha 1 Porovnání koryta Kenického meandru v roce 2014 a 2015
- Příloha 2 Vývoj Hynkovského meandru mezi roky 1971 až 2015
- Příloha 3 Vývoj břehové nátrže u Štěpánova mezi roky 1971 až 2015
- Příloha 4 Současný stav lokality U Věže v roce 2015
- Příloha 5 Sada příčných profilů z měření 2014/15 a 2015

Volné přílohy

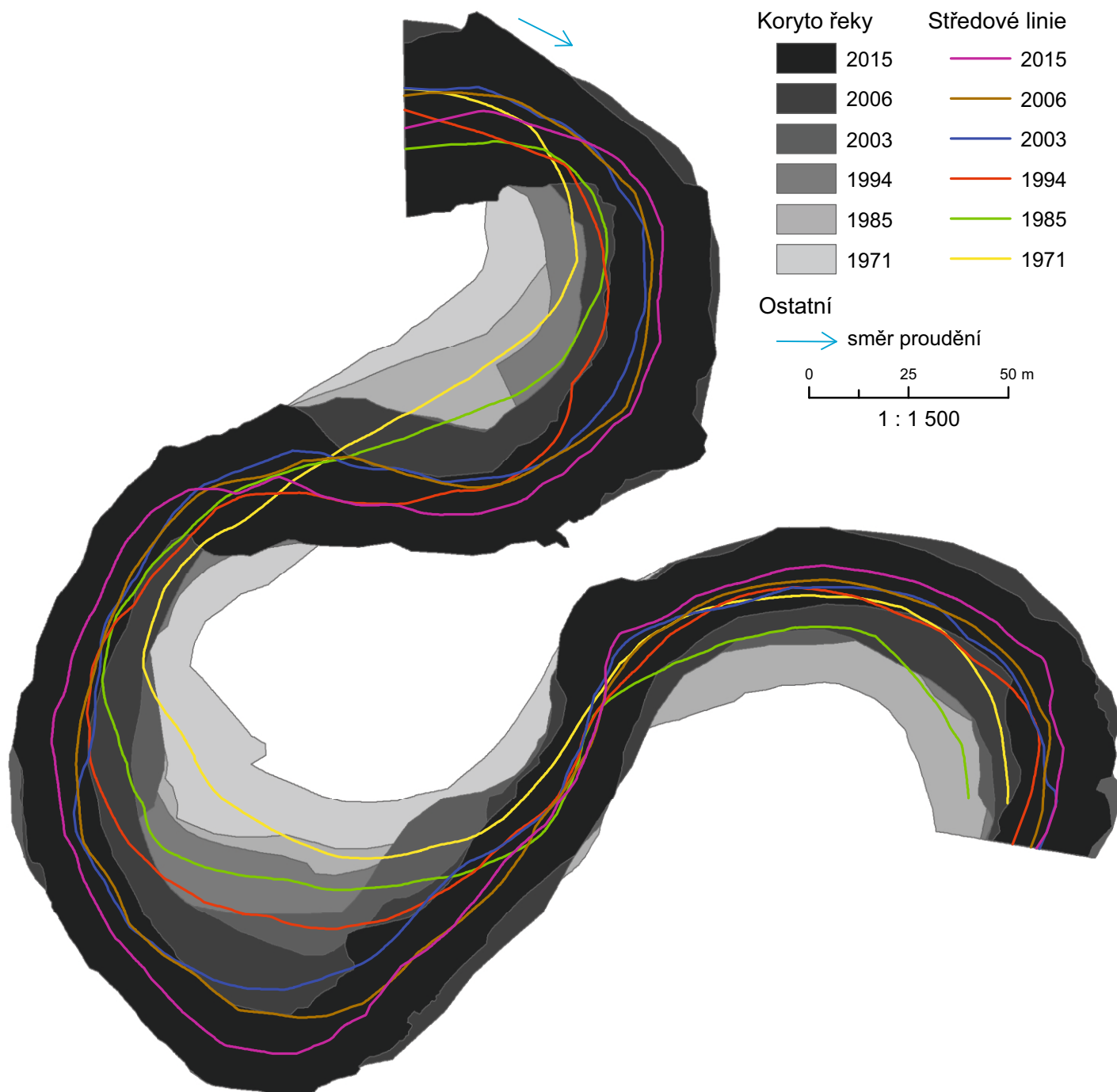
- Příloha 6 CD

POROVNÁNÍ KORYTA KENICKÉHO MEANDRU

v letech 2014 a 2015

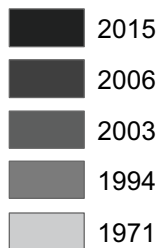


VÝVOJ HYNKOVSKÉHO MEANDRU mezi roky 1971 až 2015

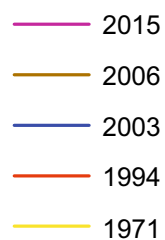


VÝVOJ BŘEHOVÉ NÁTRŽE U ŠTĚPÁNOVA mezi roky 1971 až 2015

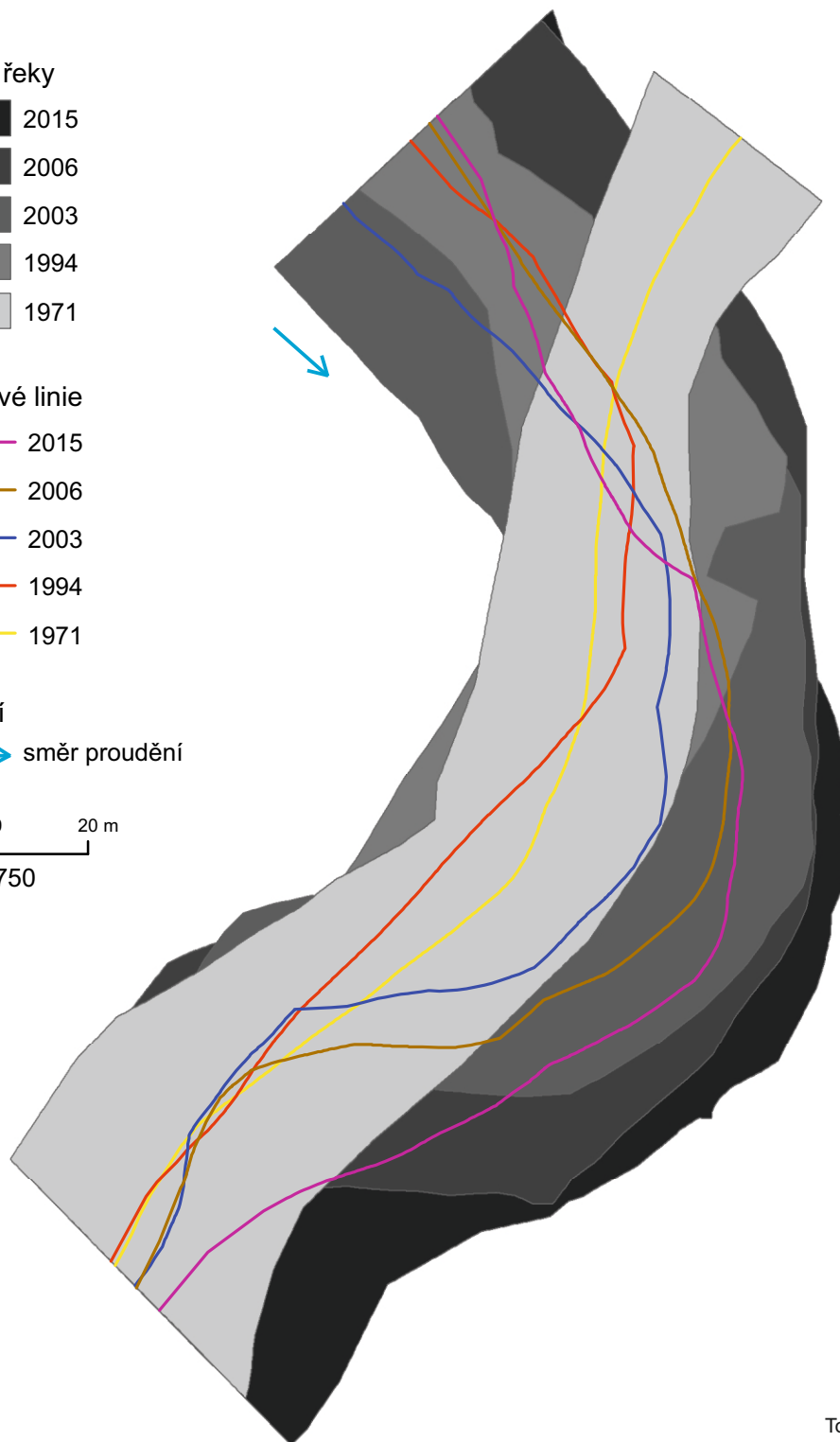
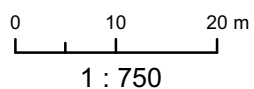
Koryto řeky



Středové linie



Ostatní

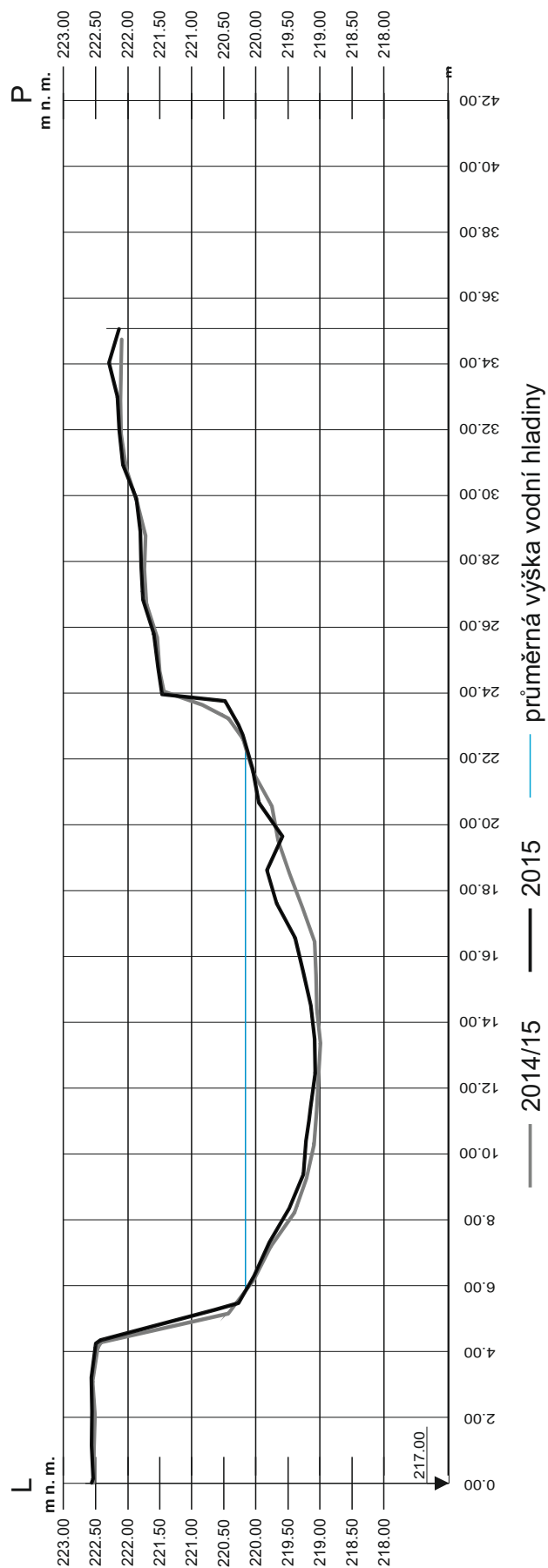


Příloha 4



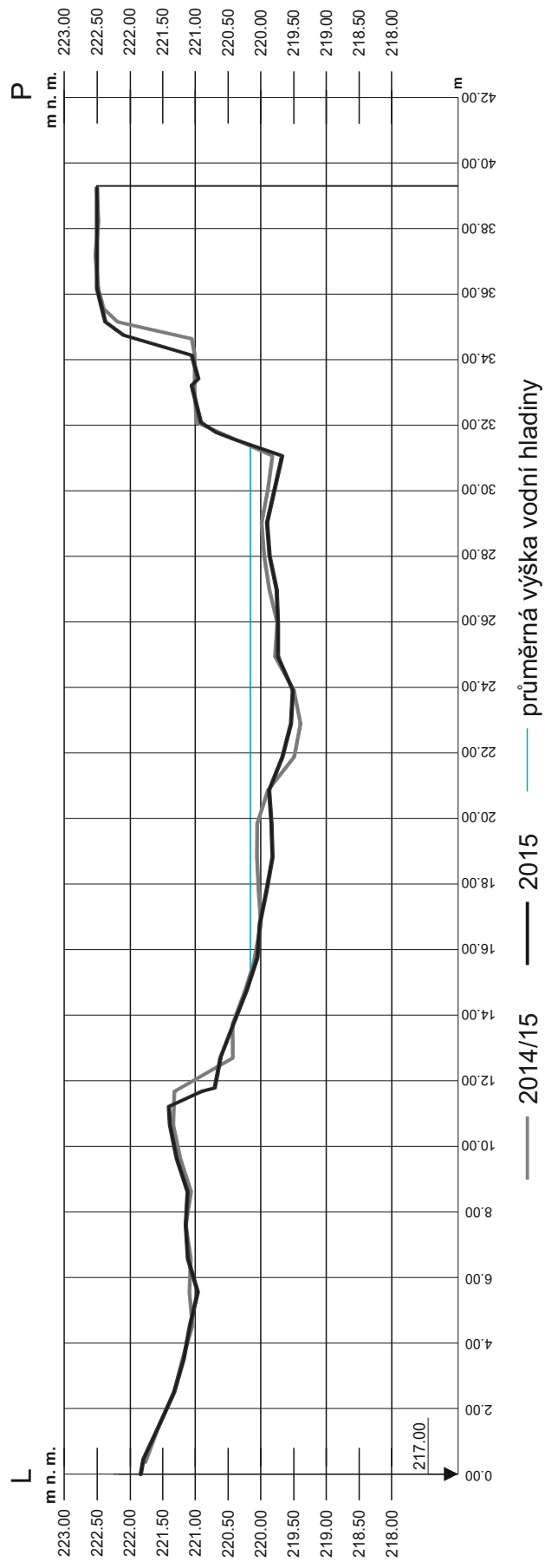
PROFIL Č. 0

etapa měření 2014/15 a 2015



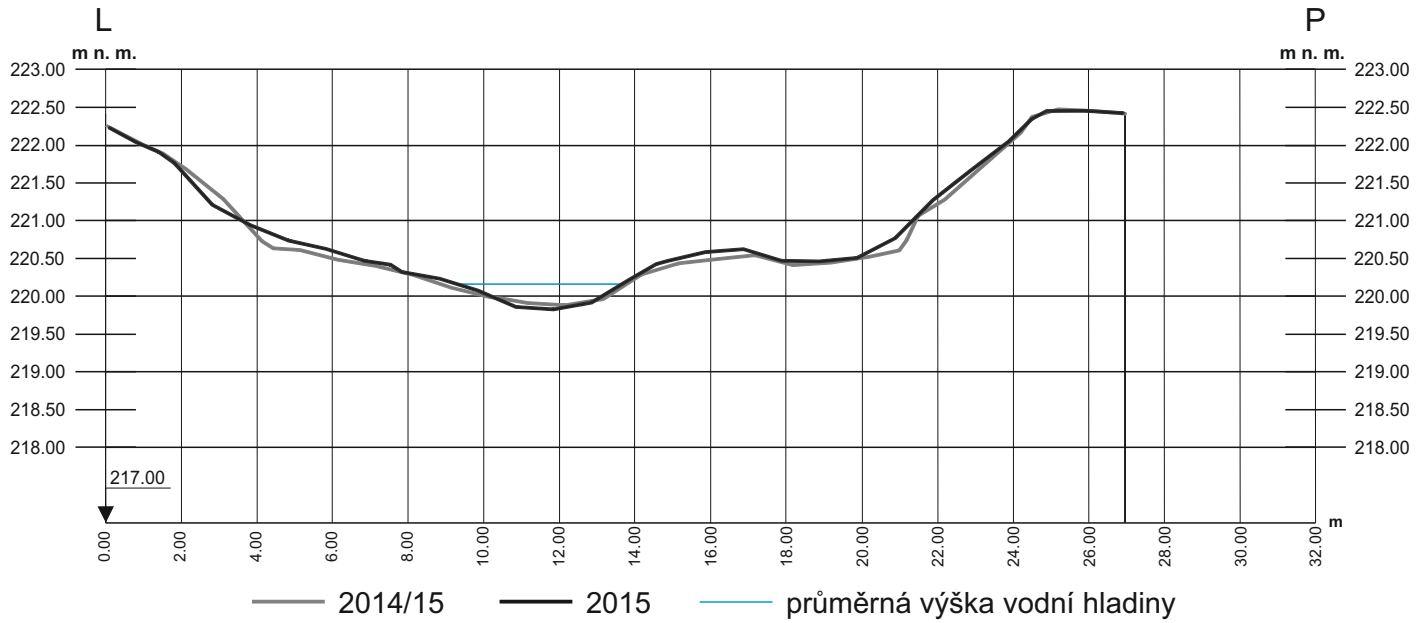
PROFIL Č. 1

etapa 2014/15 a 2015



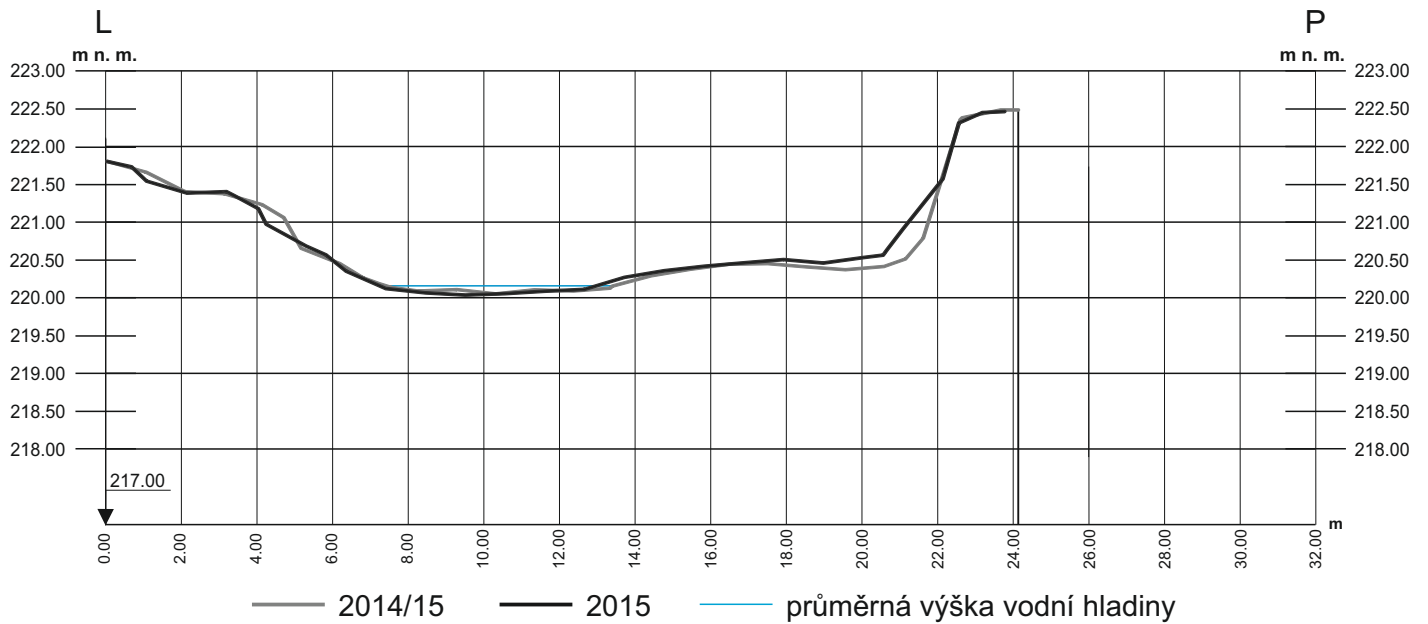
PROFIL č. 2

etapa 2014/15 a 2015



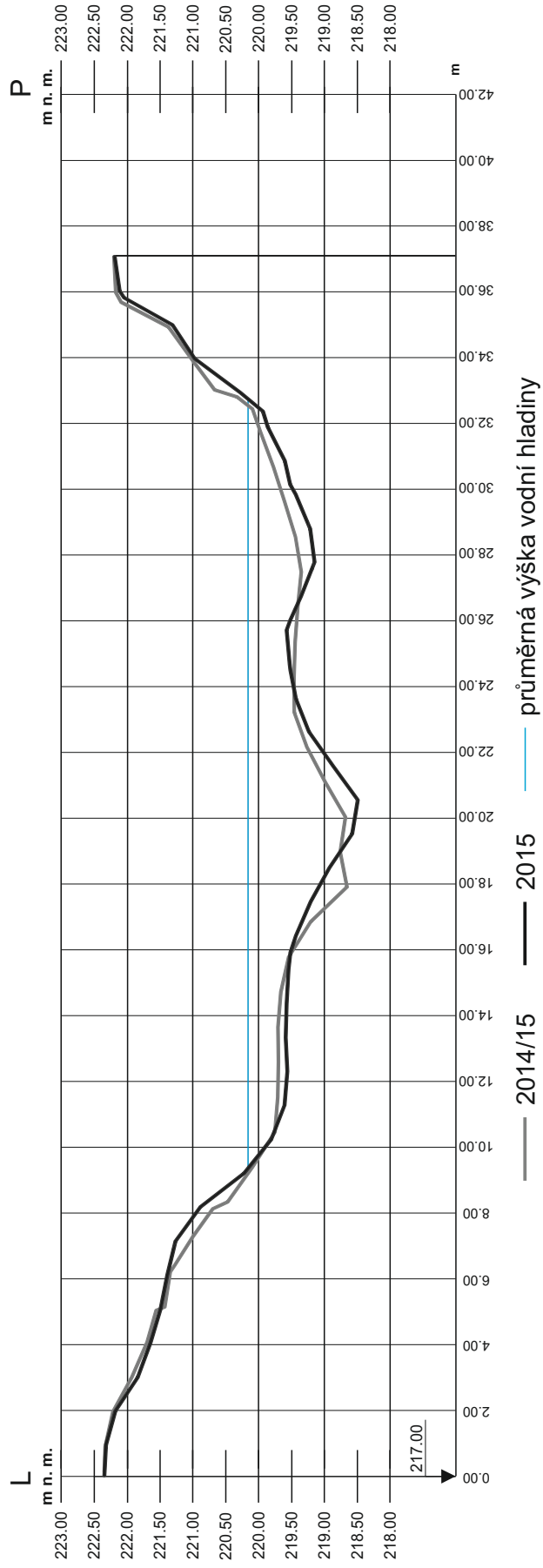
PROFIL č. 3

etapa 2014/15 a 2015



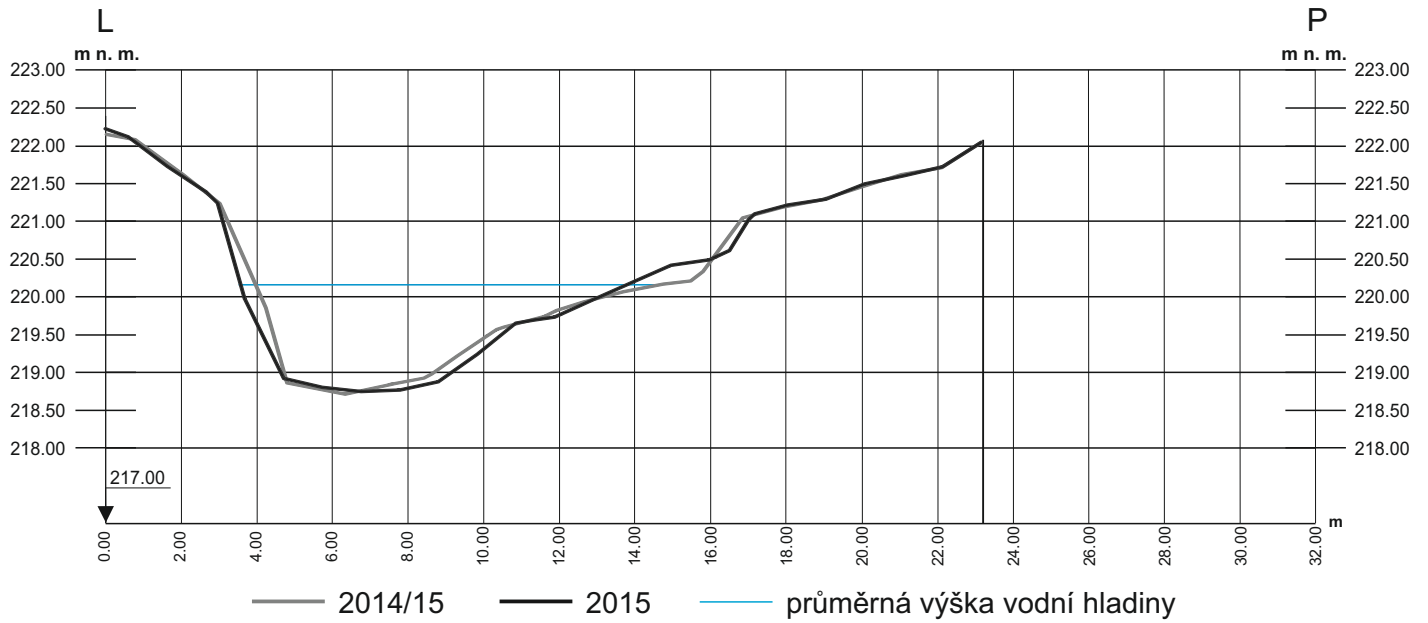
PROFIL Č. 4

etapa 2014/15 a 2015



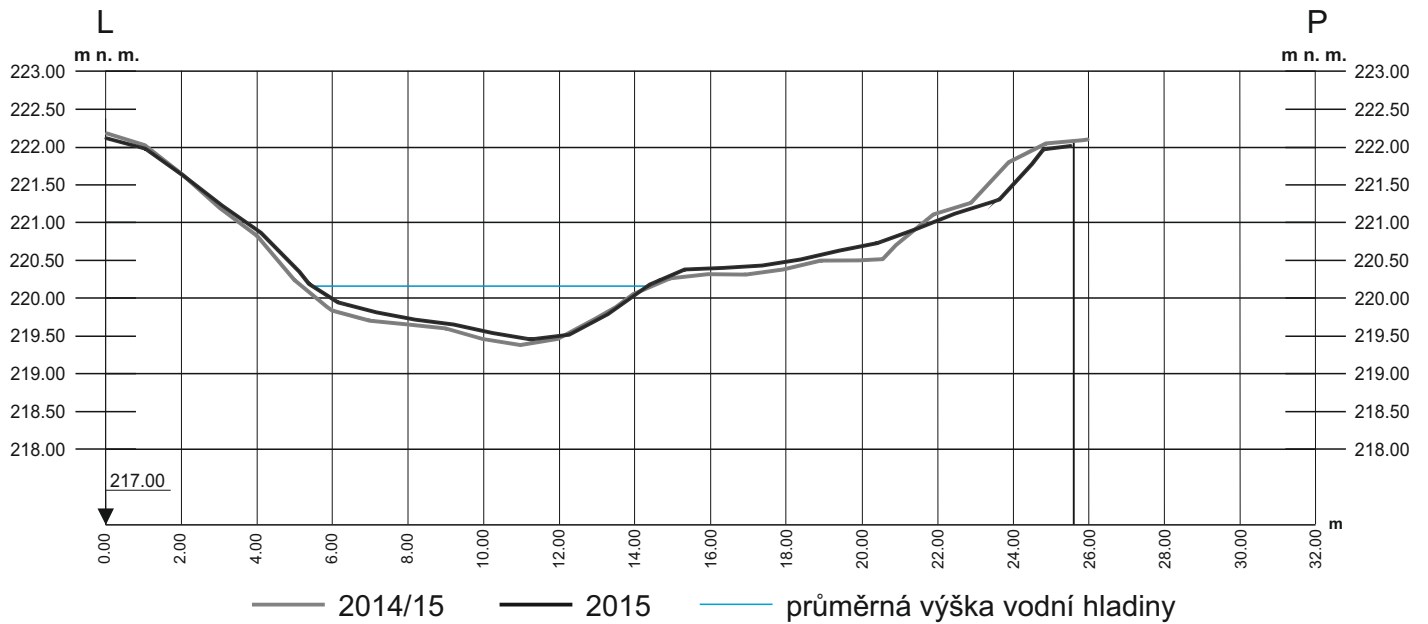
PROFIL č. 5

etapa 2014/15 a 2015



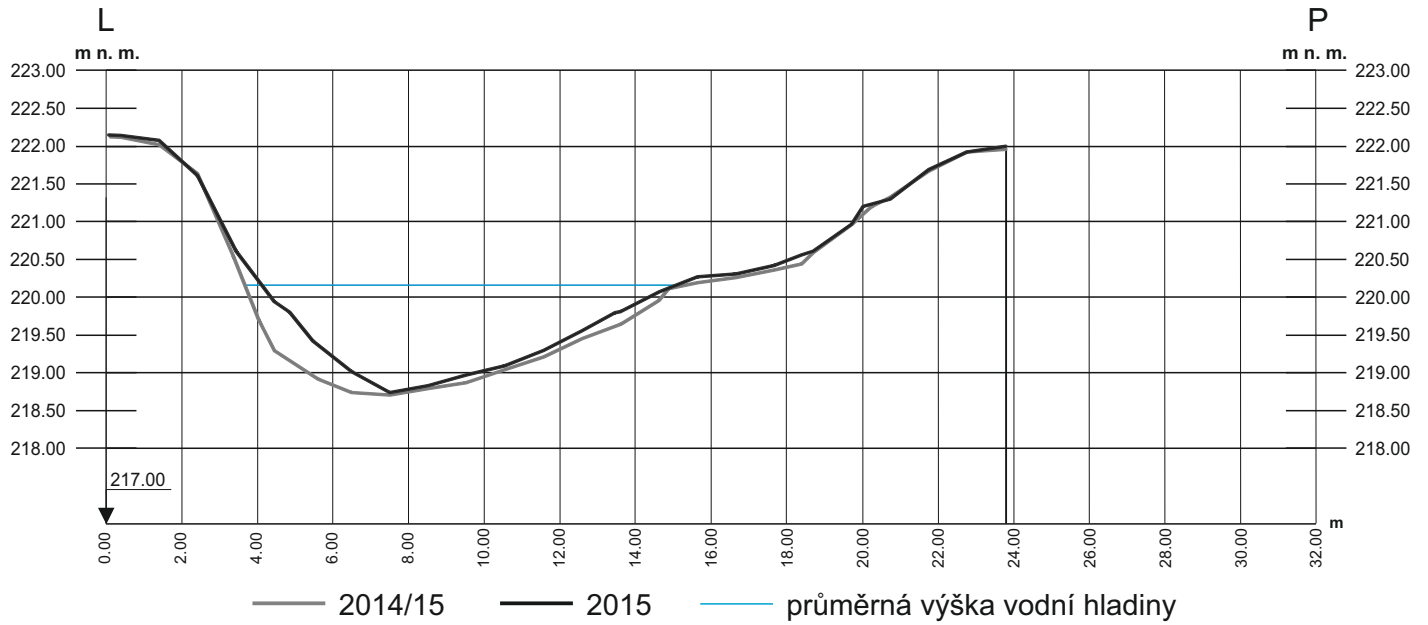
PROFIL č. 6

etapa 2014/15 a 2015



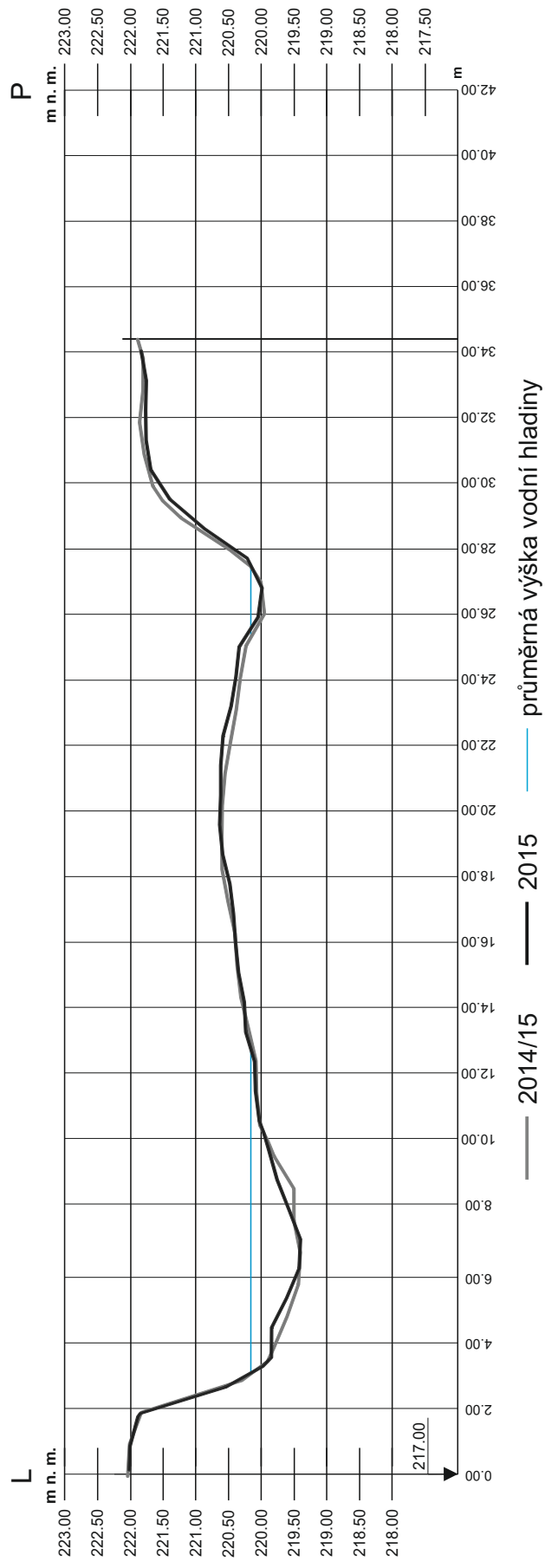
PROFIL č. 7

etapa 2014/15 a 2015



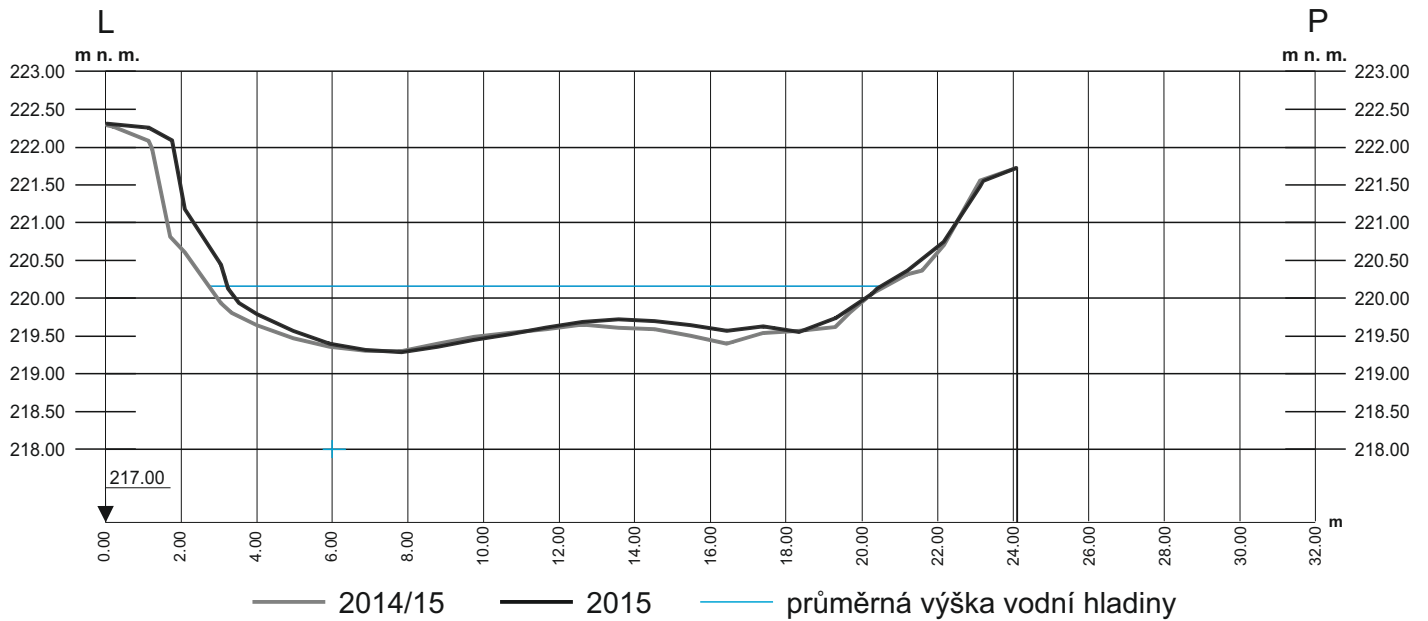
PROFIL Č. 8

etapa 2014/15 a 2015



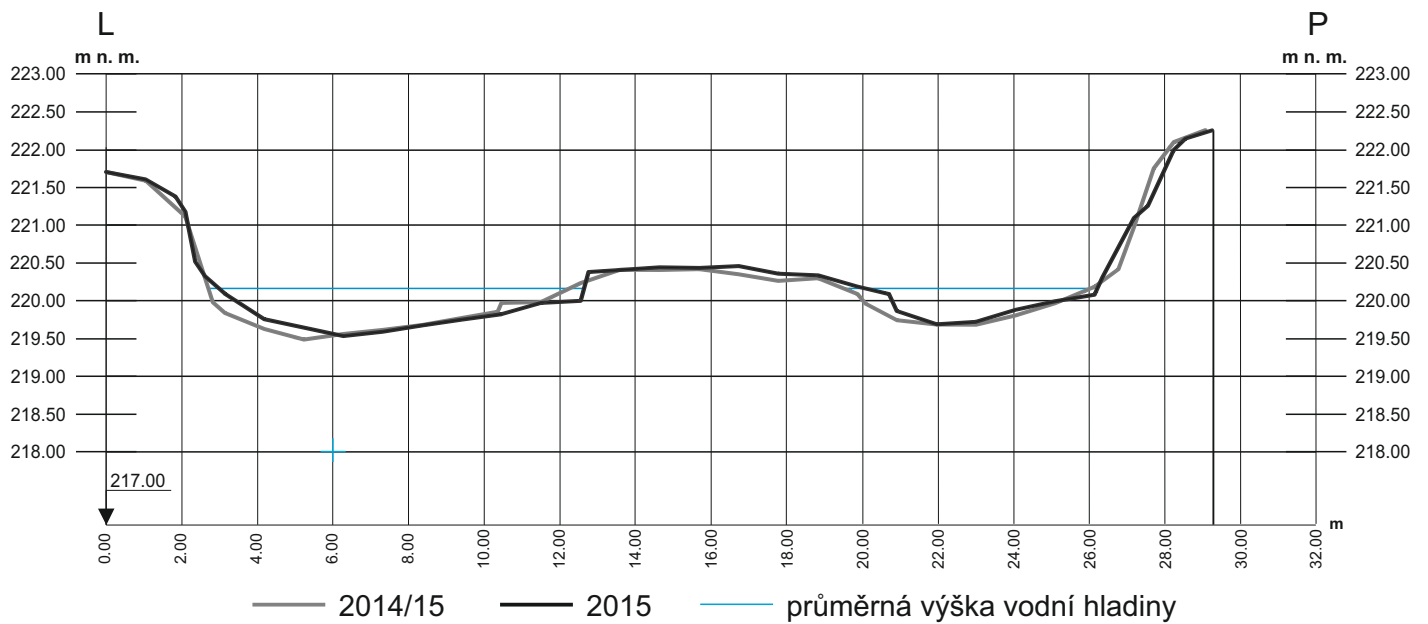
PROFIL č. 9

etapa 2014/15 a 2015



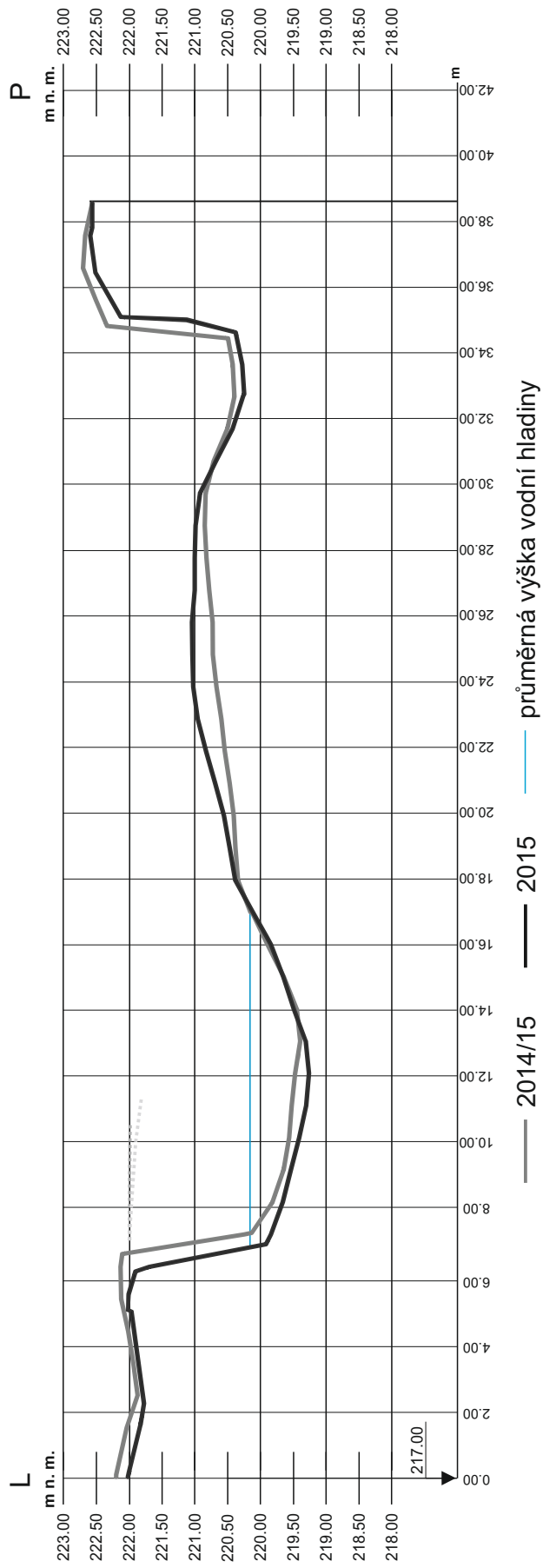
PROFIL č. 10

etapa 2014/15 a 2015



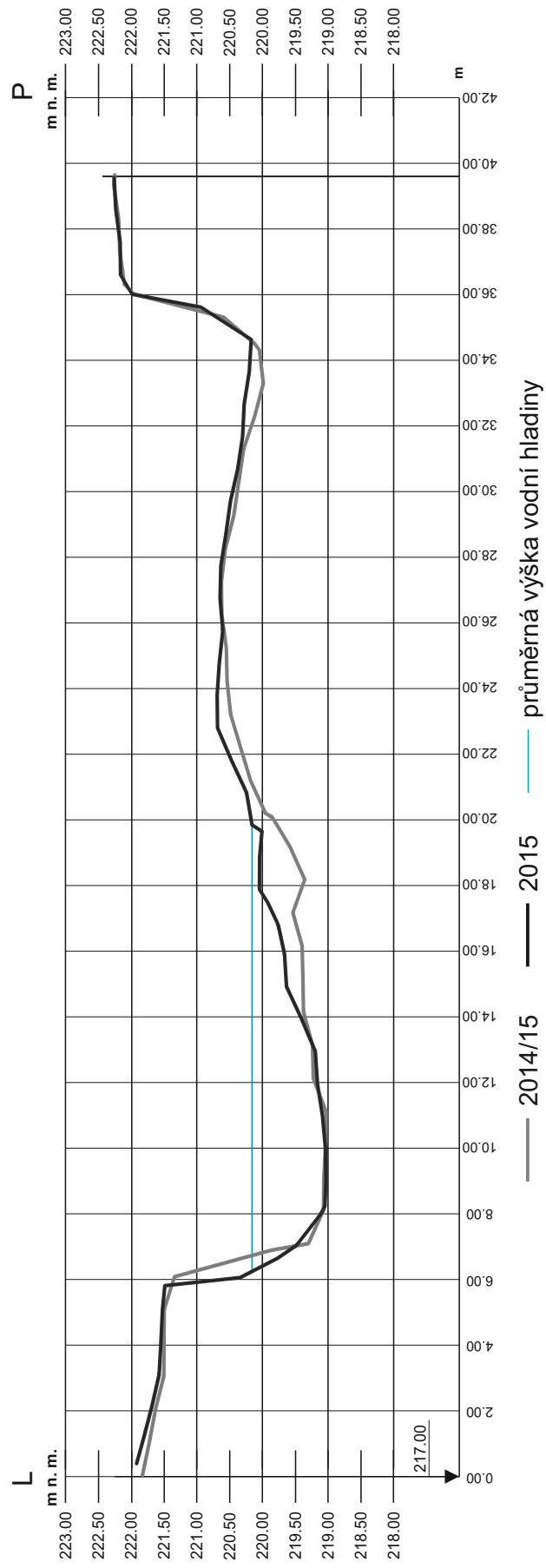
PROFIL č. 11

etapa 2014/15 a 2015



PROFIL Č. 12

etapa 2014/15 a 2105



PROFIL č. 13

etapa 2014/15 a 2015

