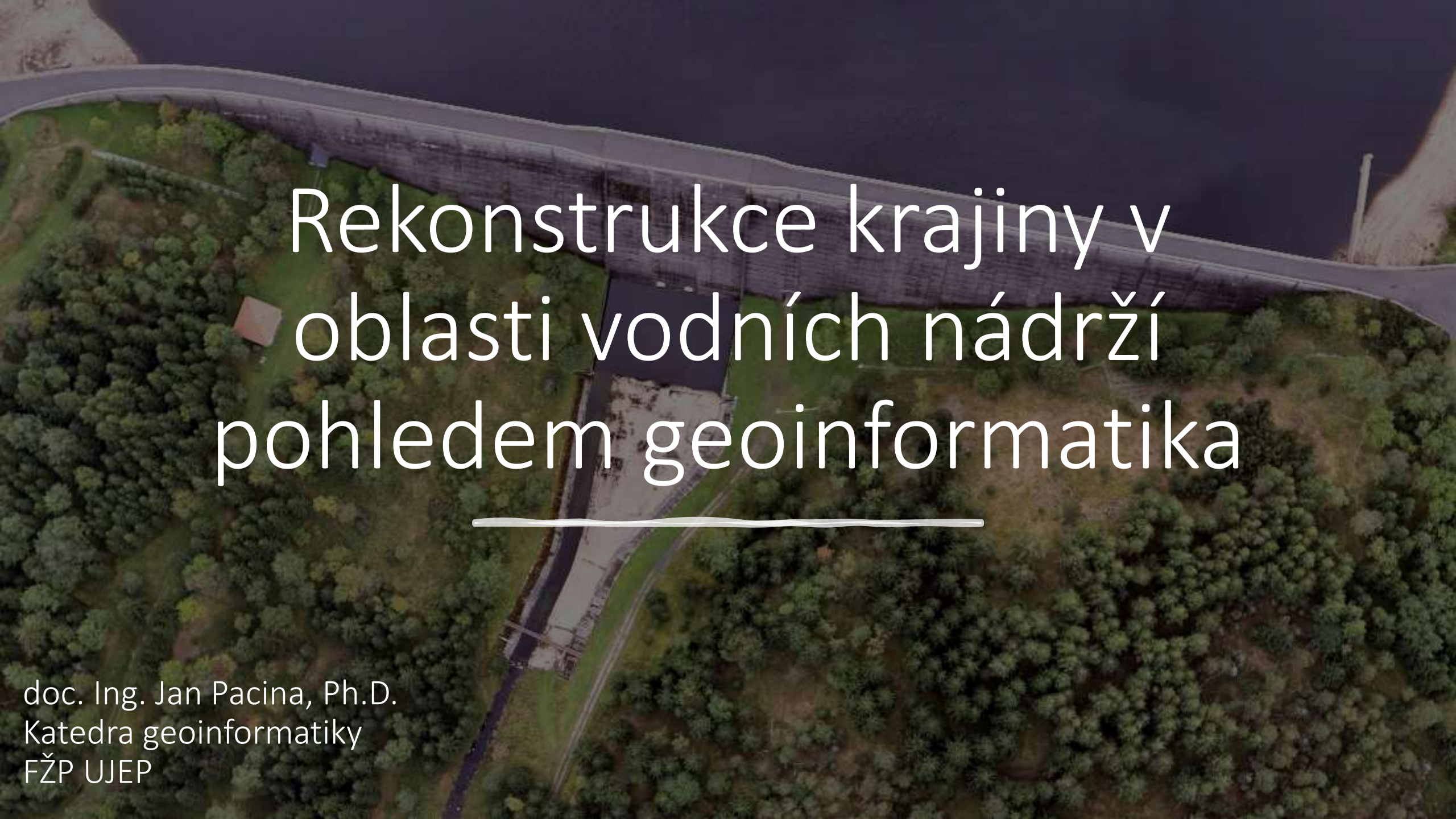


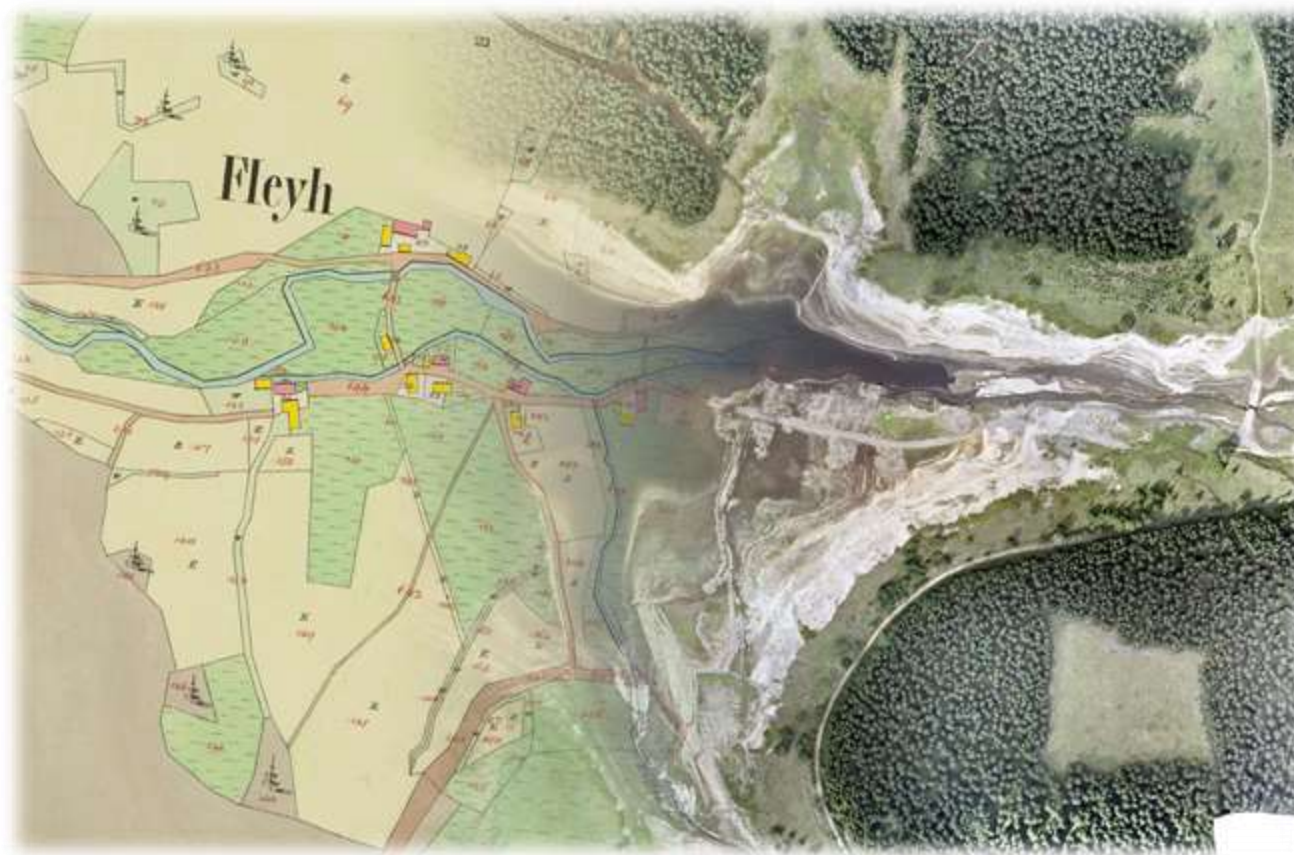
An aerial photograph of a large dam and reservoir. The reservoir is a dark, calm body of water at the top of the frame. The dam is a long, grey concrete structure curving across the middle. Below the dam, there's a smaller pool of water and some industrial or construction structures. The surrounding area is covered in dense green forest. The text is overlaid in white, sans-serif font, centered on the image.

Rekonstrukce krajiny v oblasti vodních nádrží pohledem geoinformatika

doc. Ing. Jan Pacina, Ph.D.
Katedra geoinformatiky
FŽP UJEP

Motivace k rekonstrukci krajiny v oblasti vodních nádrží

- změny krajiny jsou součástí našeho každodenního života
- tyto změny probíhají přirozeně ale také s ohledem k lidské činnosti
- na změny krajiny můžeme nahlížet z různých úhlů a s využitím mnoha vědních oborů – v rámci přednášky bude představena problematika rekonstrukce zaniklé i současné krajiny v oblastech vodních nádrží pohledem geoinformatika



Centrum bývalé obce Fláje (1848 – současnost)

Proč právě krajina v oblasti vodních nádrží?

V České republice, ale i ve světě v minulosti vznikla celá řada vodních nádrží, přičemž v krajině plní důležité funkce:

- mohou sloužit jako zásobárny pitné (případně průmyslové) vody,
- v mnoha případech jsou vodní nádrže využívány jako ochrana před povodňovými jevy (např. Vltavská kaskáda), a zároveň plní funkci pro volnočasové využití,
- ekologicky šetrná výroba elektrické energie.

Známé jsou však i negativní dopady, které vodní nádrže v krajině přináší.

- Při studiu těchto dopadů v rámci vodních nádrží je vhodné (a v mnoha případech klíčové) využívat nástrojů geoinformatiky.
- V návaznosti na řešení projektů GA ČR, NAKI, SGS - potřeba rekonstruovat krajinu v oblasti vodních nádrží.

V rámci výzkumu řešena problematika spojená s vodními nádržemi:

- zanášení nádrží sedimentem (snížení retenční schopnosti),
- usazování kontaminantů (těžké kovy, chemikálie, rezidua léčiv),
- hrozba uvolnění kontaminantů při manipulaci se sedimentem a jejich následný transport níže po proudu,
- změna ve využívání krajiny (destrukce sídel, přesídlení obyvatel, zaplavení orné půdy),
➡ navázaná ztráta paměti krajiny, destrukce kulturního dědictví.

Projekty řešící problematiku rekonstrukce krajiny v oblasti vodních nádrží:

2015 – 2018 Využití metod geoinformatiky pro sledování změn krajiny, IGA UJEP

2017 – 2019 Vývoj sedimentace v přehradních nádržích jako antropogenních bariérách v říčních systémech: od materiálové bilance po osud polutantů, GA ČR

2019 – 2021 Bezkontaktní metody sběru prostorových dat jako nástroj pro modelování a sledování životního prostředí člověka, SGS UJEP

2018 – 2022 Vltava – proměny historické krajiny v důsledku povodní, stavby přehrad a změn ve využití území s vazbami na kulturní a společenské aktivity v okolí řeky, MK ČR (NAKI)

Metody rekonstrukce před-přehradní topografie s využitím archivních dat (staré mapy, letecké snímky)

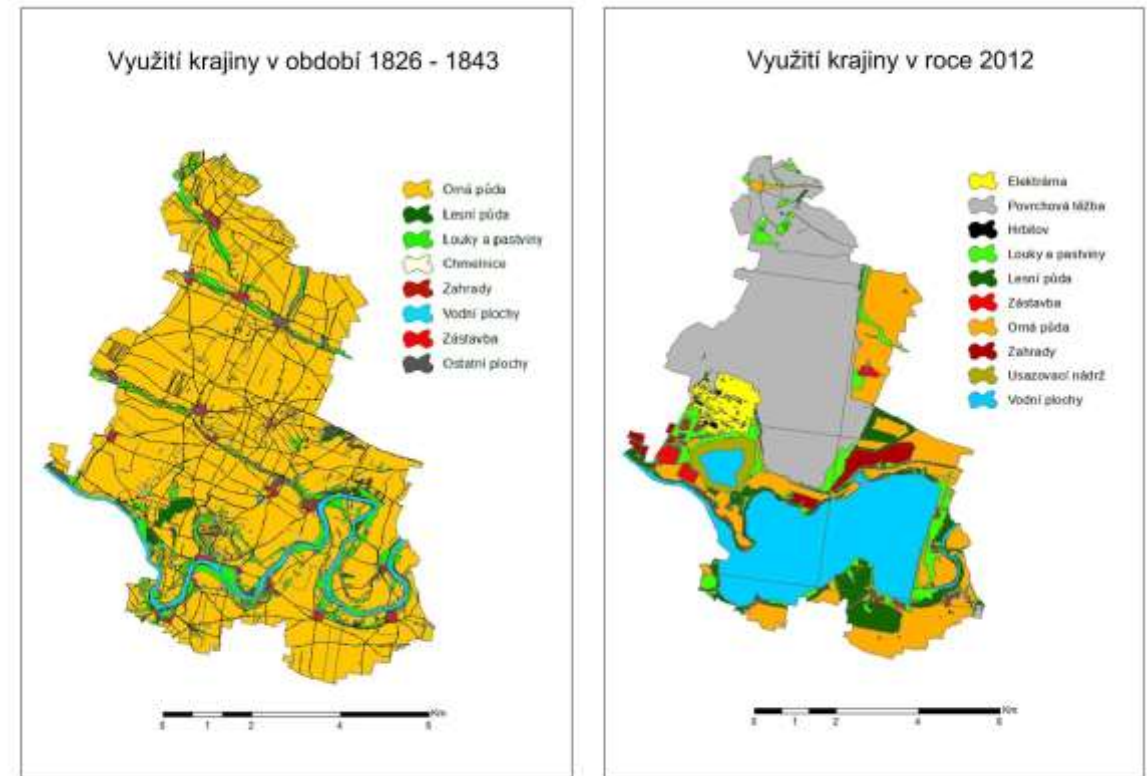
Na rekonstrukci krajiny s využitím prostorových dat a metod geoinformatiky můžeme nahlížet dvěma způsoby: **rekonstrukce krajiny zaměřená na**

změny krajinného krytu

odvození reliéfu (topografie)

1. Změny krajinného krytu

- Původní krajinu (resp. krajinný kryt) lze rekonstruovat na základě topografických informací obsažených ve zpracovaných starých mapách nebo archivních leteckých snímcích.
- Principem rekonstrukce krajinného krytu ve většině případů spočívá ve vektorizaci (interpretaci) zpracovaných dat do připravené vektorové datové struktury.



Změna krajiny v okolí v. n. Nechranice

Metody rekonstrukce před-přehradní topografie s využitím archivních dat (staré mapy, letecké snímky)

2. rekonstrukce zaměřená na odvození topografie (reliéfu)

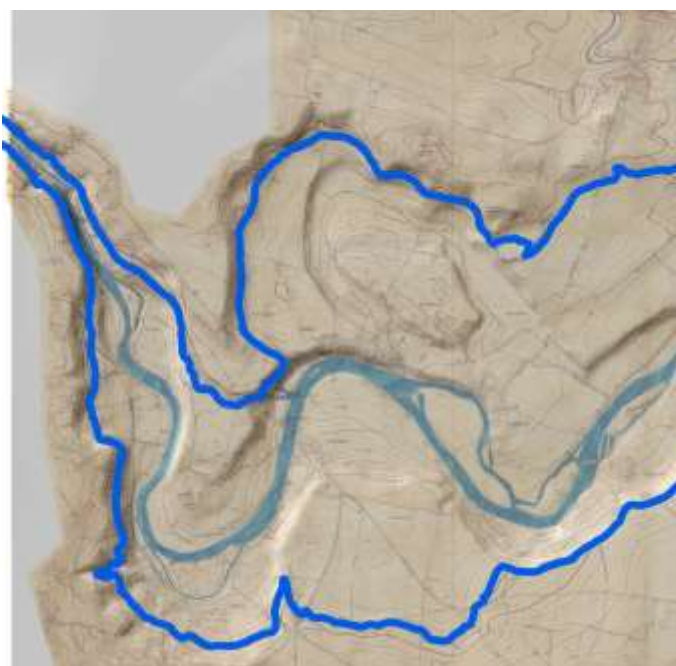
Rekonstrukci reliéfu v oblasti vodní nádrže můžeme provádět za účelem:

a) odvození před-přehradní topografie

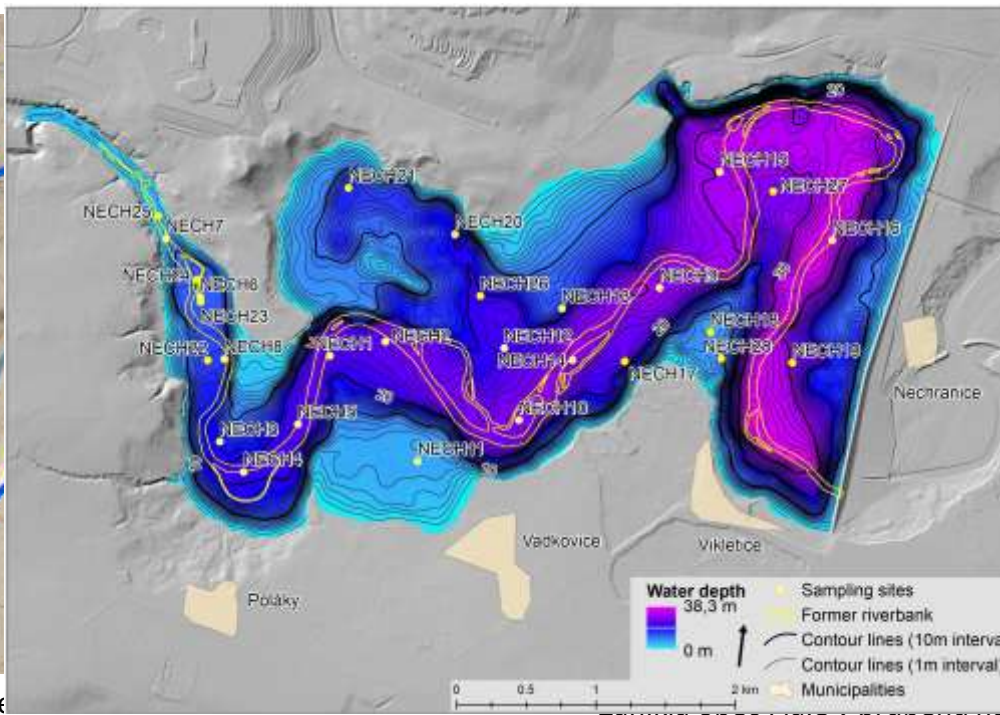
- Před-přehradní reliéf je rekonstruovaný z výškopisných informací obsažených v archivních zdrojích prostorových dat.
 - mapy obsahující výškopisné informace v podobě vrstevnic (a výškových bodů)
 - archivní letecké měřické snímky s dostatečným překrytem

b) tvorby digitálního modelu reliéfu (DMR) současného dna.

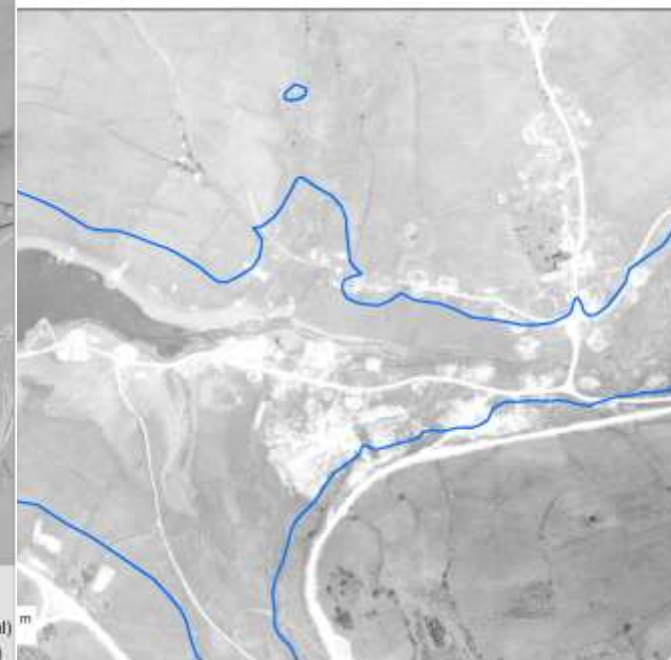
- Současný tvar dna vodní nádrže je možný rekonstruovat na základě dat získaných pomocí batymetrického mapování



Původní údolí Ohře v místě v. n. Ne



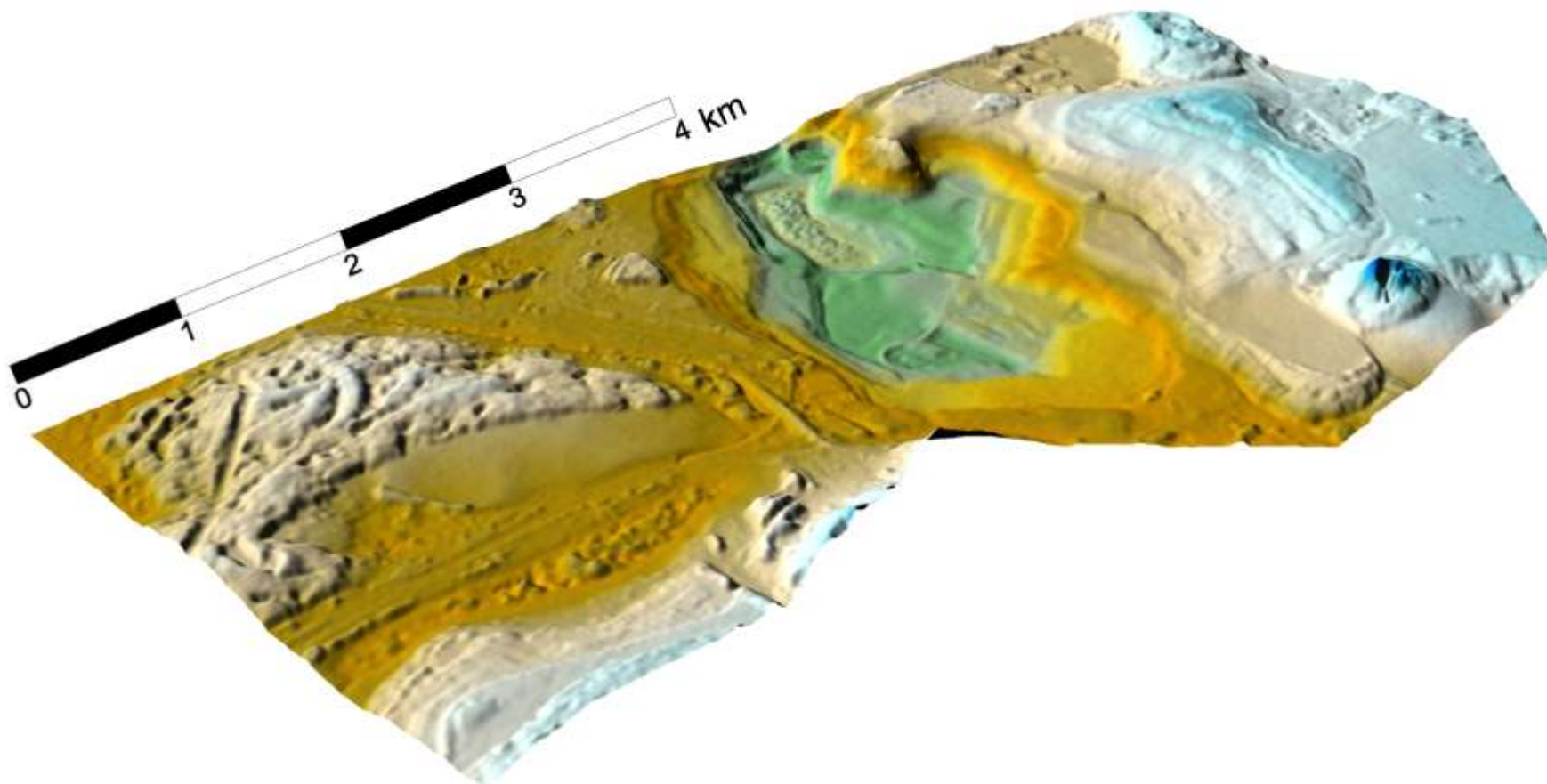
Batymetrická mapa v. n. Nechanice s vyznačenými odběry vzorků sedimentu



puštění přehradu na leteckém snímku z roku 1963

Odvození před-přehradní topografie z archivních leteckých měřických snímků

- Letecké měřické snímkování (fotogrammetrie) se na našem území provádí kontinuálně od roku 1936 (nyní každé 2 roky)
- Archivní letecké snímky dostupné v datových archivech (ČÚZK, VGHMÚř Dobruška)
- Nutné pro zpracování – podélný překryt snímků 60%, příčný 30%
- Výsledek zpracování – ortofoto (rozlišení přibližně desítky cm), ale také „tvar krajiny“ – Digitální Model Povrchu



Původní letecký měřický snímek z roku 1953, který byl zpracován do Digitálního Modelu Povrchu (DSM) v. n. Nechanice

Zpracování archivních leteckých měřických snímků (LMS)

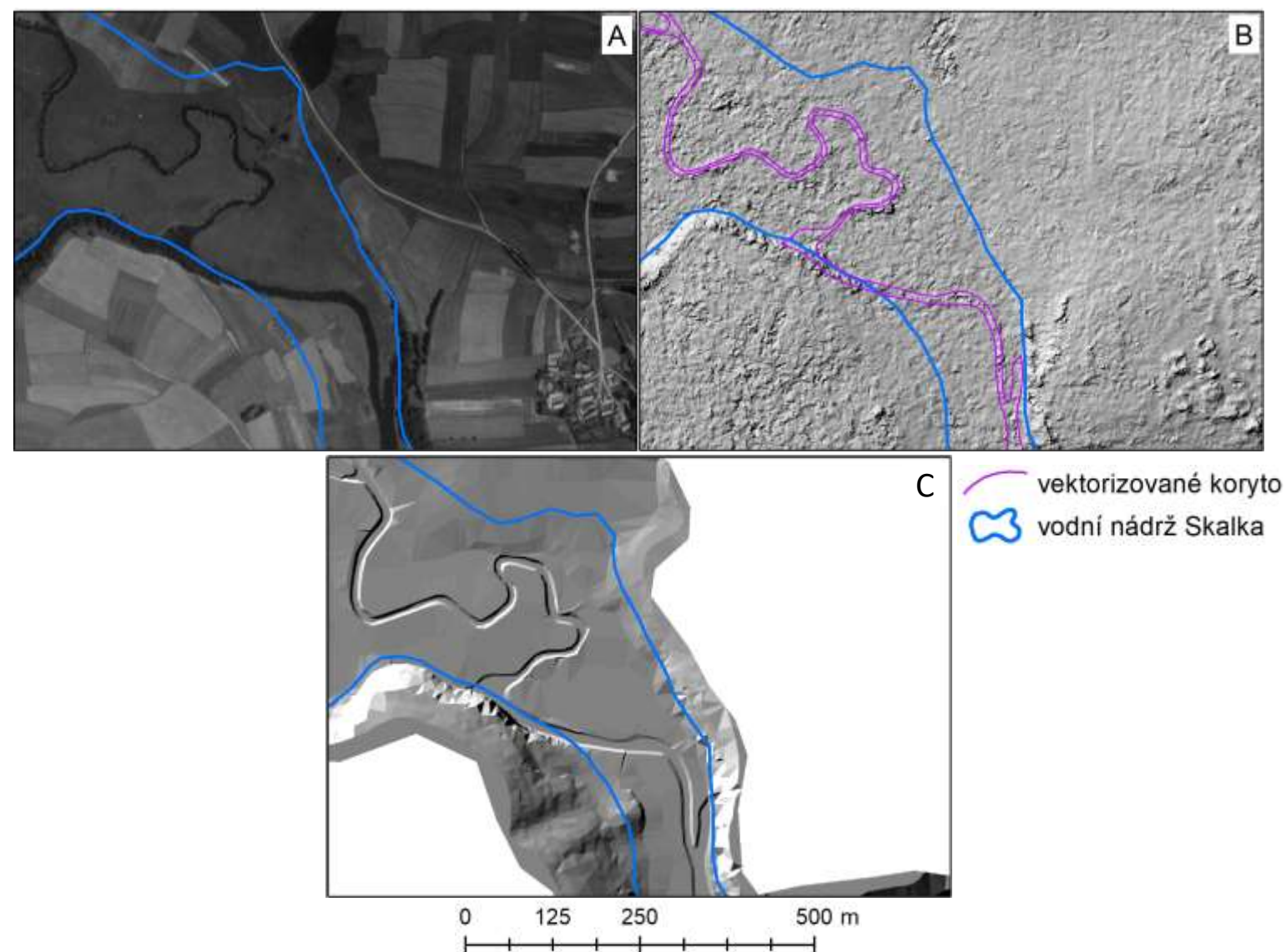
- Fotogrammetrické zpracování LMS má jasně definovanou metodiku
 - Umožňuje zpracování rozsáhlých oblastí
- ➡ odvození před-přehradního DMR s využitím archivních LMS se nabízí jako „jasná volba“

Zpracování archivních LMS s odpovídající kvalitou je složitější než zpracování současných LMS:

- parametry vnitřní orientace snímků nejsou obvykle k dispozici,
- nejčastějším problémem je chybějící katalog vlčovacích bodů (Ground Control Point - GCP):
 - GCP je nutné identifikovat na archivních LMS a současném ortofoto,
 - Identifikace GCP je problematická v oblastech s velkými změnami krajiny – důležité je rovnoměrné rozložení v rámci celé oblasti,
- kvalita archivních leteckých snímků je navíc ovlivněna použitým fotomateriálem (šum zrna na snímcích), dlouhodobým skladováním (zkreslení) a možným nešetrným zacházením (škrábance na snímcích).



Zpracování archivních leteckých měřických snímků (LMS)

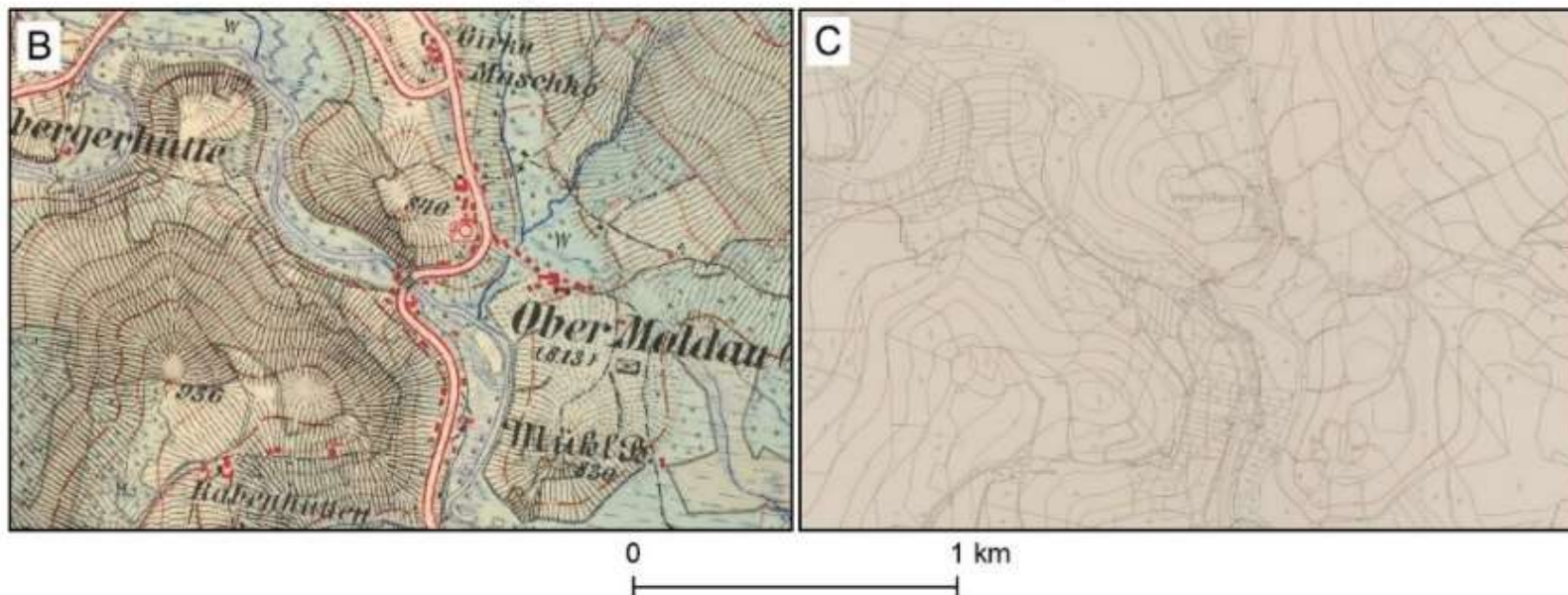
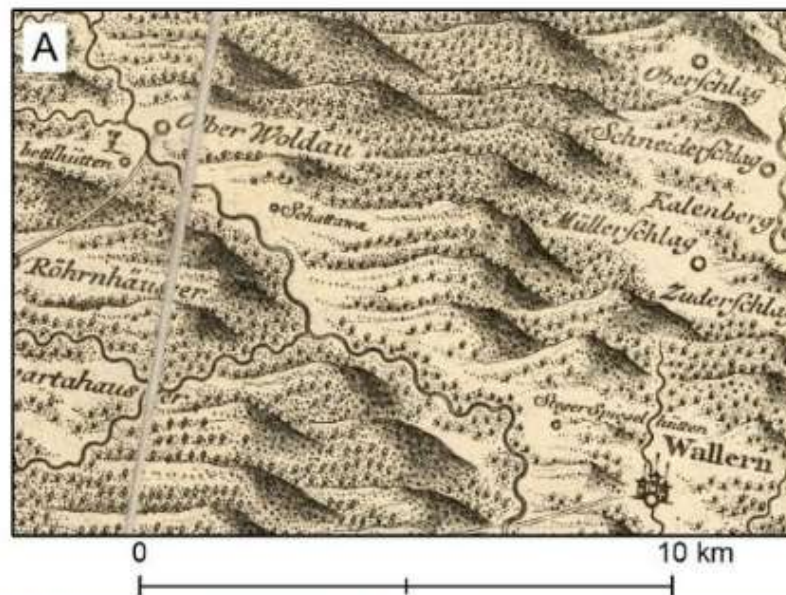


Ukázka odvození před-přehradního reliéfu z archivních LMS v oblast vodní nádrže Skalka (A, B) a srovnání s DMR odvozeným z vrstevnic ve starých mapách (C):

- výsledný DMP vystihuje charakter krajiny, ale obsahuje velké množství šumu,
- při rekonstrukci před-přehradního reliéfu je nutné pracovat s daty s ověřenou přesností a o vysoké kvalitě.

Odvození před-přehradní topografie ze starých map

- Staré mapy mohou obsahovat výškopisné informace reprezentované různými způsoby.
- Rozhodujícím faktorem pro rekonstrukci georeliéfu na základě starých map je přítomnost přesných vrstevnic a výškových bodů.
- Nejstarší mapové dílo, které kompletně pokrývá celou Českou republiku a obsahuje výškopis ve formě vrstevnic a výškových kót je 1. vydání Státní mapy odvozené 1:5 000 (SMO-5) z padesátých let 20. století (mapy vydané mezi roky 1950 až 1959).

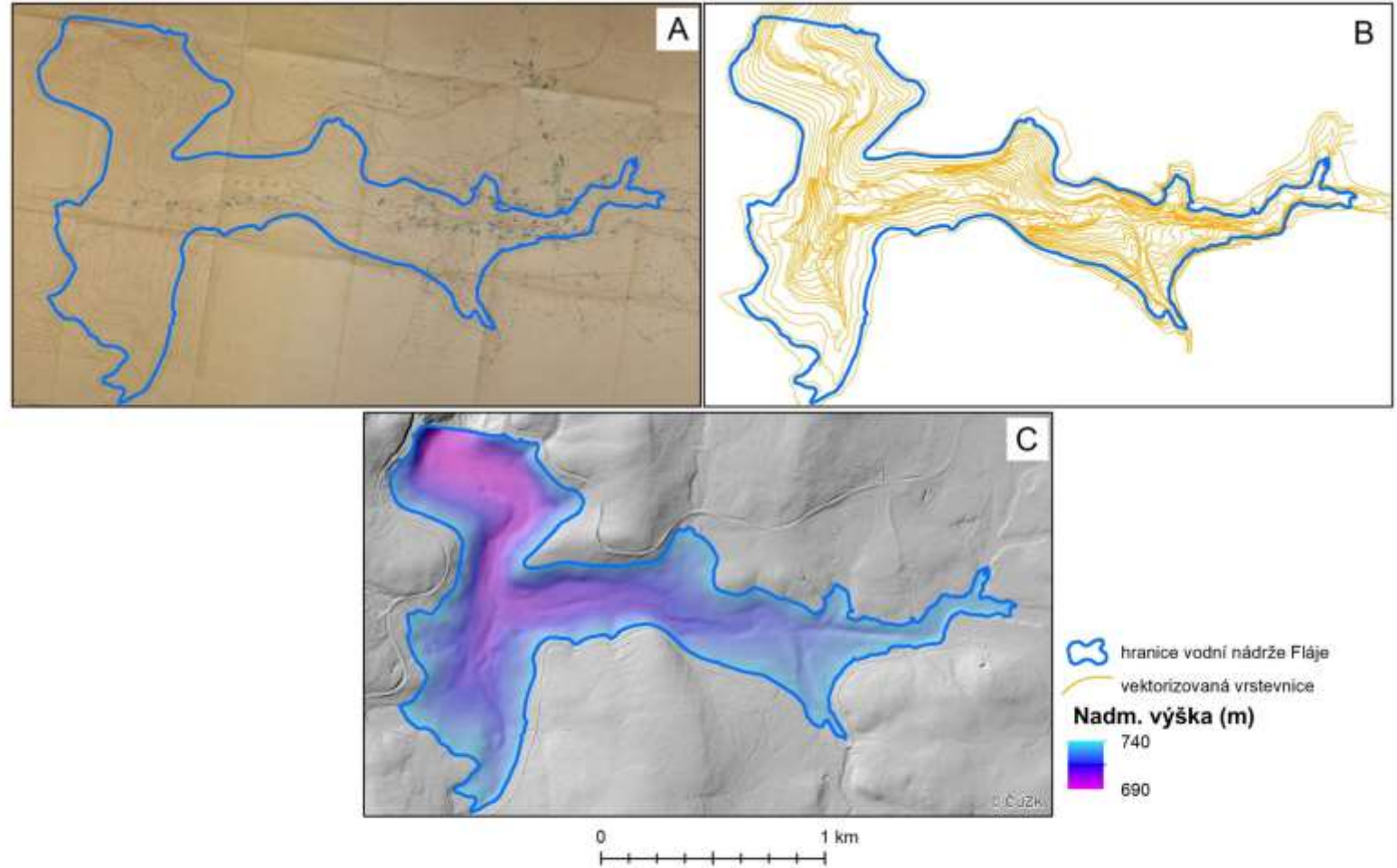


Postup zpracování starých map

Zpracování starých map má standardizovaný postup.

Ve většině případů se jedná o následující kroky:

1. skenování originálních map s využitím speciálního mapového skeneru,
2. georeferencování mapových listů v prostředí Geografického Informačního Systému (GIS),
3. vektorizace vrstevnic (a případně výškových bodů), včetně uložení informace o jejich nadmořské výšce do připravené datové struktury,
4. interpolace výškových dat do podoby DMR.

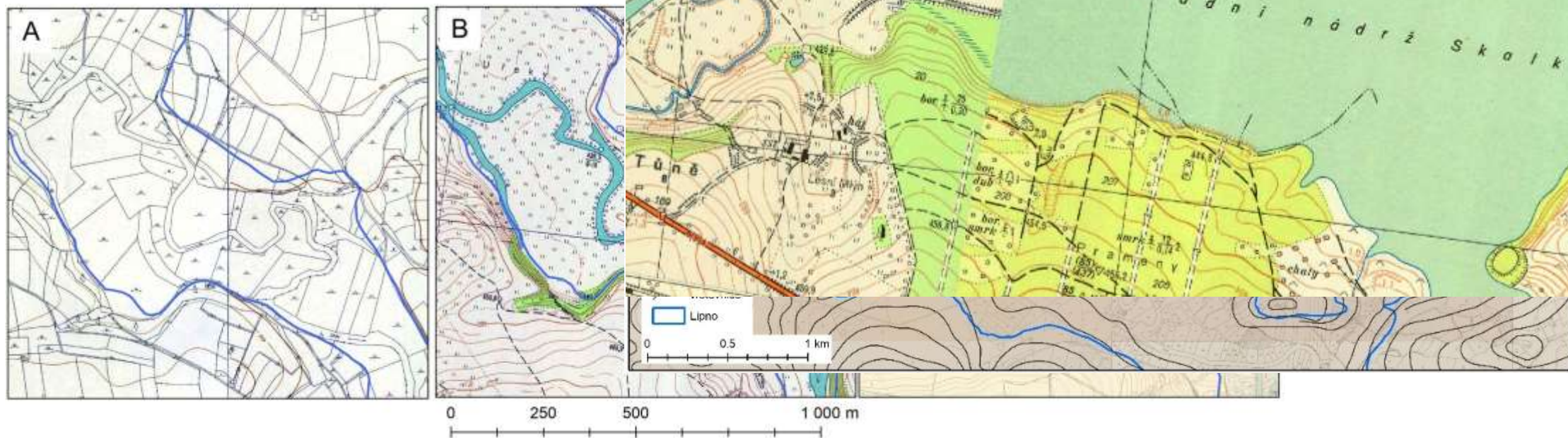


Problematické aspekty využití starých map při rekonstrukci před-přehradní topografie

- Metodika odvození DMR z archivních map je pro potřeby rekonstrukce „běžné“ krajiny s nízkými požadavky na přesnost ověřená a přímočará.
- V případě vodních nádrží, kdy je zapotřebí pracovat ve velkém měřítku a s daty o vyšší přesnosti, se v mnoha případech dostáváme do obtížné situace.

Identifikované problémové aspekty můžeme rozdělit do následujících čtyř skupin:

1. u dostupných map nevhodný interval vrstevnic,
2. diskutabilní kvalita výškopisu,
3. v rámci jednoho mapového díla (resp. jedná řady) jsou dostupné mapy o různém stáří a aktualizaci,
4. obtížné získávání map z archivů.



Ověření kvality výškopisu použitých archivních map

- Důležitou součástí pracovního postupu je ověření kvality výškopisu starých map.
 - Ověření se provádí s využitím tzv. kontrolních bodů.
 - Referenční data - přímé měření s využitím GNSS, data leteckého laserového skenování.
 - V případě rekonstrukce před-přehradního reliéfu jsme omezeni pouze na oblasti mimo současnou vodní plochu a s vyloučením míst, kde došlo k dalším možným změnám krajiny.
-
- První vydání map SMO-5 je nejstarší mapové dílo, které souvisle pokrývá celé území České republiky a obsahuje výškopis
 - Tyto mapy jsou často využívány pro rekonstrukci krajinného krytu i georeliéfu.
 - V případě větších oblastí, neexistují alternativní archivní data (mimo archivní LMS).
 - V rámci projektu *NAKI Vltava** provedeno hodnocení kvality – použito více než 4 milióny bodů.

S využitím metod geostatistiky byla hodnocena celkem 3 kritéria:

- chyby by neměly být prostorově autokorelované (měly by být náhodně rozmístěny),
- chyby by měly mít normální (nebo alespoň symetrické) rozdělení se střední hodnotou 0,
- chyby by neměly být závislé na nadmořské výšce.

Výsledky mohou být shrnuty tak, že byla porušena všechna hodnocená kritéria.

**Vltava – proměny historické krajiny v důsledku povodní, stavby přehrad a změn ve využití území s vazbami na kulturní a společenské aktivity v okolí řeky, MK ČR (NAKI)*

Rekonstrukce dna na základě měřených dat - batymetrie

- Cílem batymetrie je stanovit a kartograficky zaznamenat výškový rozdíl mezi hladinou a dnem vodní plochy.
- Pro batymetrické mapování se v současnosti využívají sonary (echoloty) a v mělkých vodách s průzračnou vodou i metody DPZ (LiDAR, družicové snímky).



Rekonstrukce dna na základě měřených dat

- batymetrie s využitím sonaru – loď, platforma, autonomní loď
- GPR (ground penetrating radar) TerraSirch 3000
- sub-bottom profiler SES-2000

Metody mapování „suchozemské“ topografie:

- letecké laserové skenování (LiDAR)
- fotogrammetrie



Proč LiDAR a fotogrammetrie?



Nechranice, listopad 2018



Skalka, listopad 2019

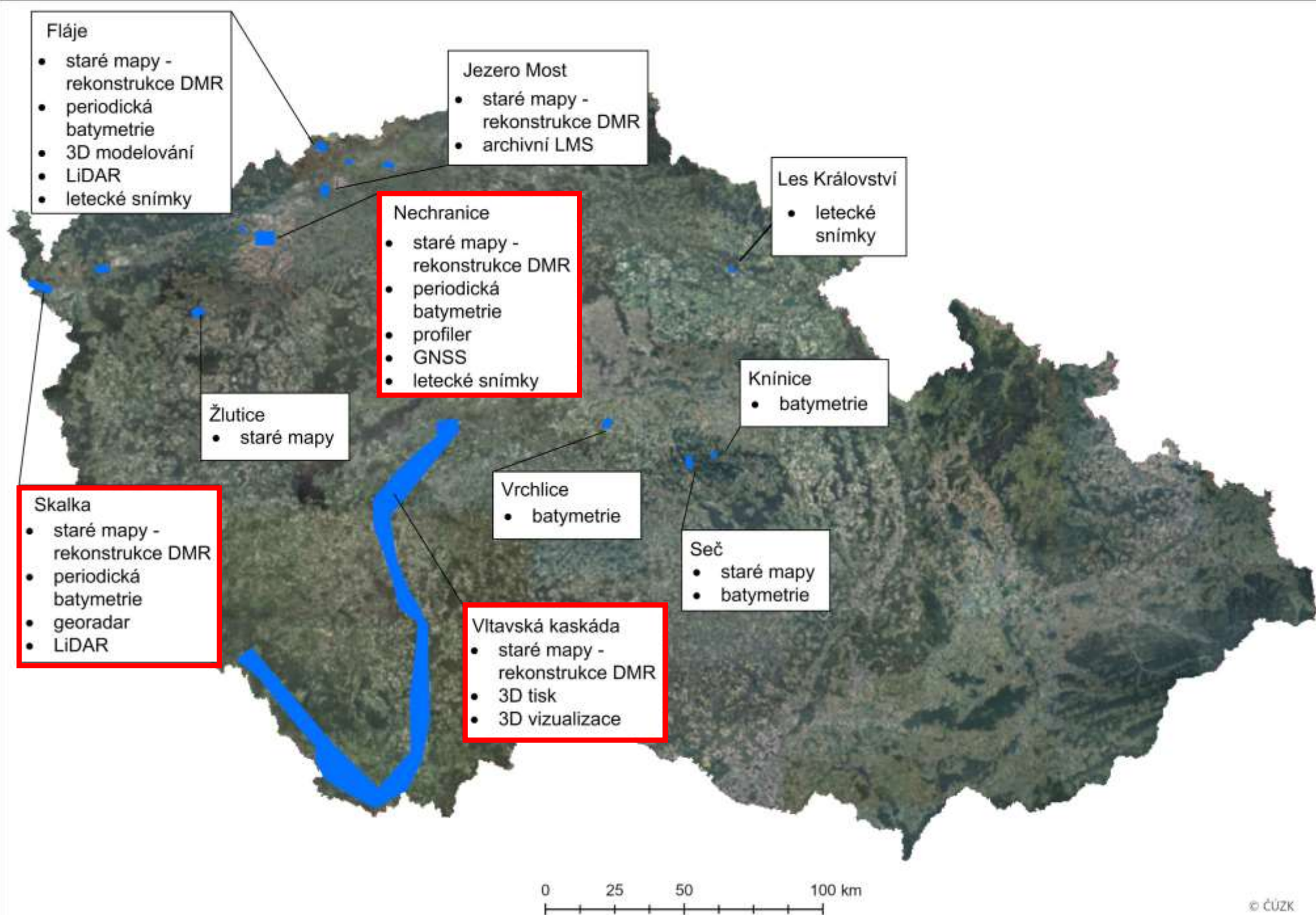


Fláje, září 2015

Ověření kvality měřených dat

- Ověřování kvality prostorových dat získaných bezkontaktním měřením, používaných pro modelování dna vodní nádrží je problematické, ale potřebné.
- Kvalitu dat získaných s využitím sonarovým batymetrickým mapováním lze hodnotit v laboratorních podmínkách nebo porovnáním s přímo měřenými profily (což je za standardních podmínek obtížně realizovatelné).
- Nízká hladina vody v kombinaci s netradičně aplikovaným sběrem topografických dat (fotogrammetrie, LiDAR) umožnila získání referenčních dat pro kontrolu kvality batymetrických dat.

Typ měření	Počet kontrolních bodů	RMSE výšek
Sonar	3 (měřené GPS-RTK)	9,5 cm
Sonar	1122 (všechny body z DMP)	69 cm
Sonar	34 (body na zpevněných površích)	24 cm
Georadar	254 (měřeno sonarem)	14 cm
Fotogrammetrie	16	4 cm
LiDAR – 2011	-	18 cm (definováno ČÚZK)
LiDAR – 2019	154	9,5 cm



Případové studie – vodní nádrž Skalka – dynamika dna horní části nádrže

- postavena v letech 1962 až 1964
- akumulace Hg z chemické továrny v Marktredwitz – zákaz konzumace ryb z nádrže
- kontaminace Zn, která několikanásobně překračuje limitní koncentrace

Použitá data a metody:

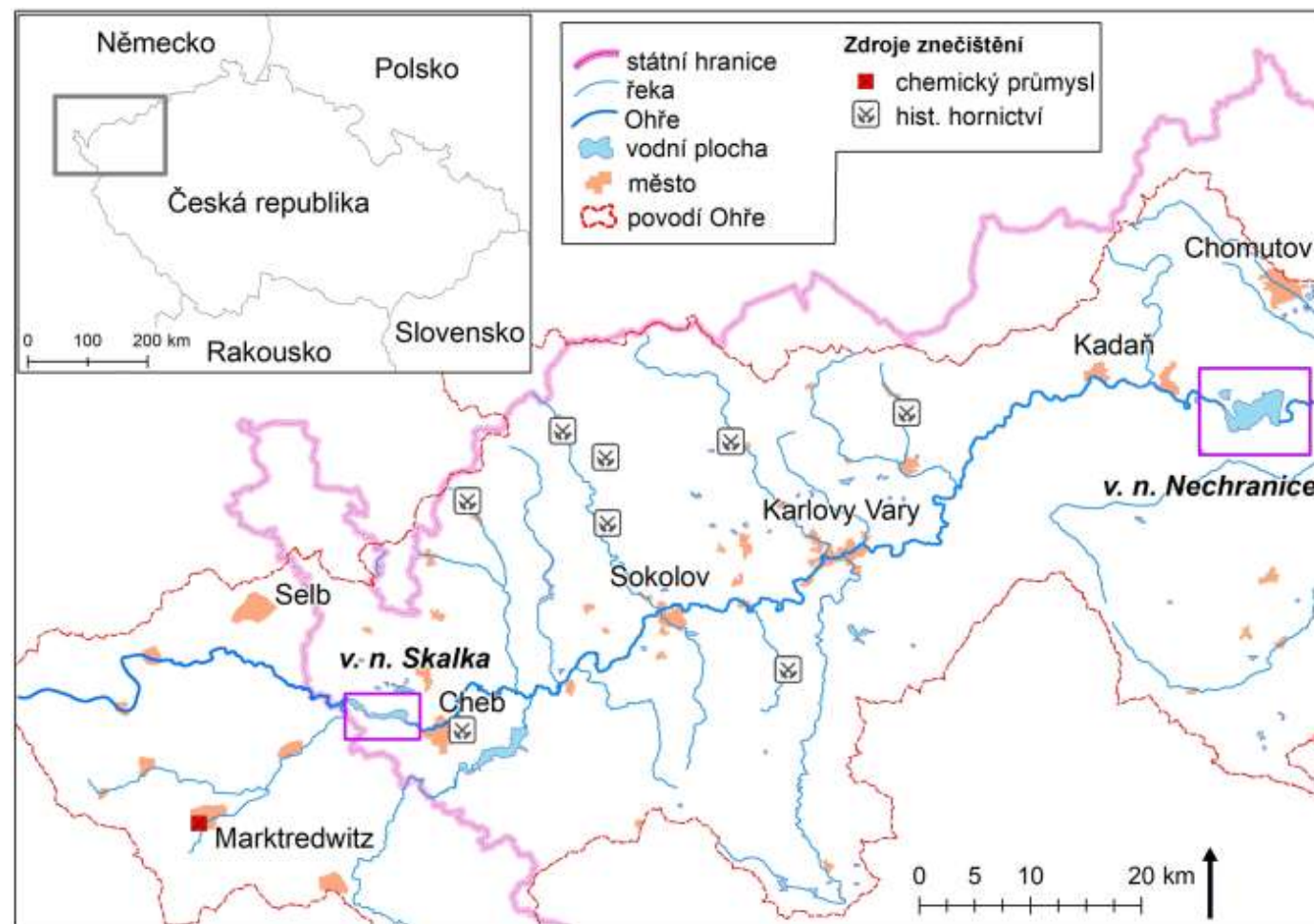
- mapa z roku 1960 (voj. topogr. 1:5 000)
- sonar - 2017, 2018, 2019
- georadar – 2018
- LiDAR - 2011 (ČÚZK), 2019 (vlastní)

Problematika řešena v rámci projektů:

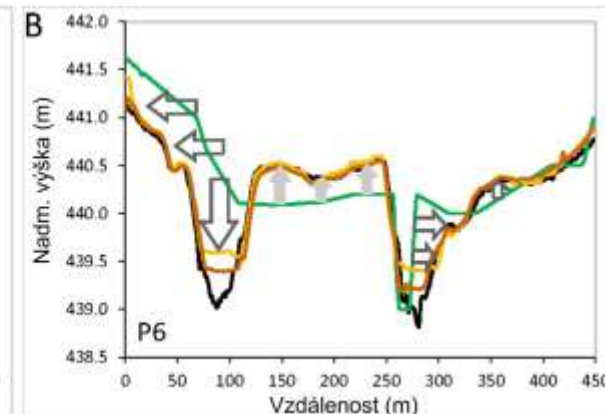
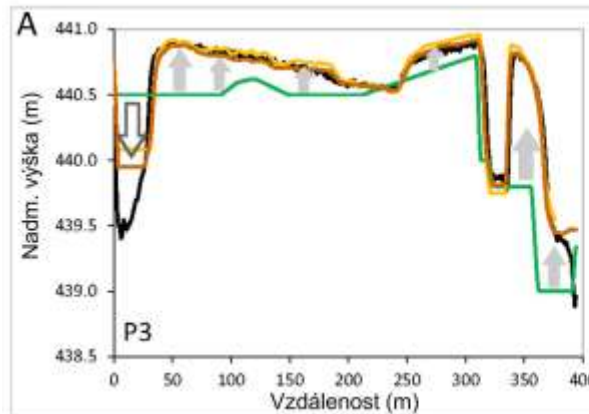
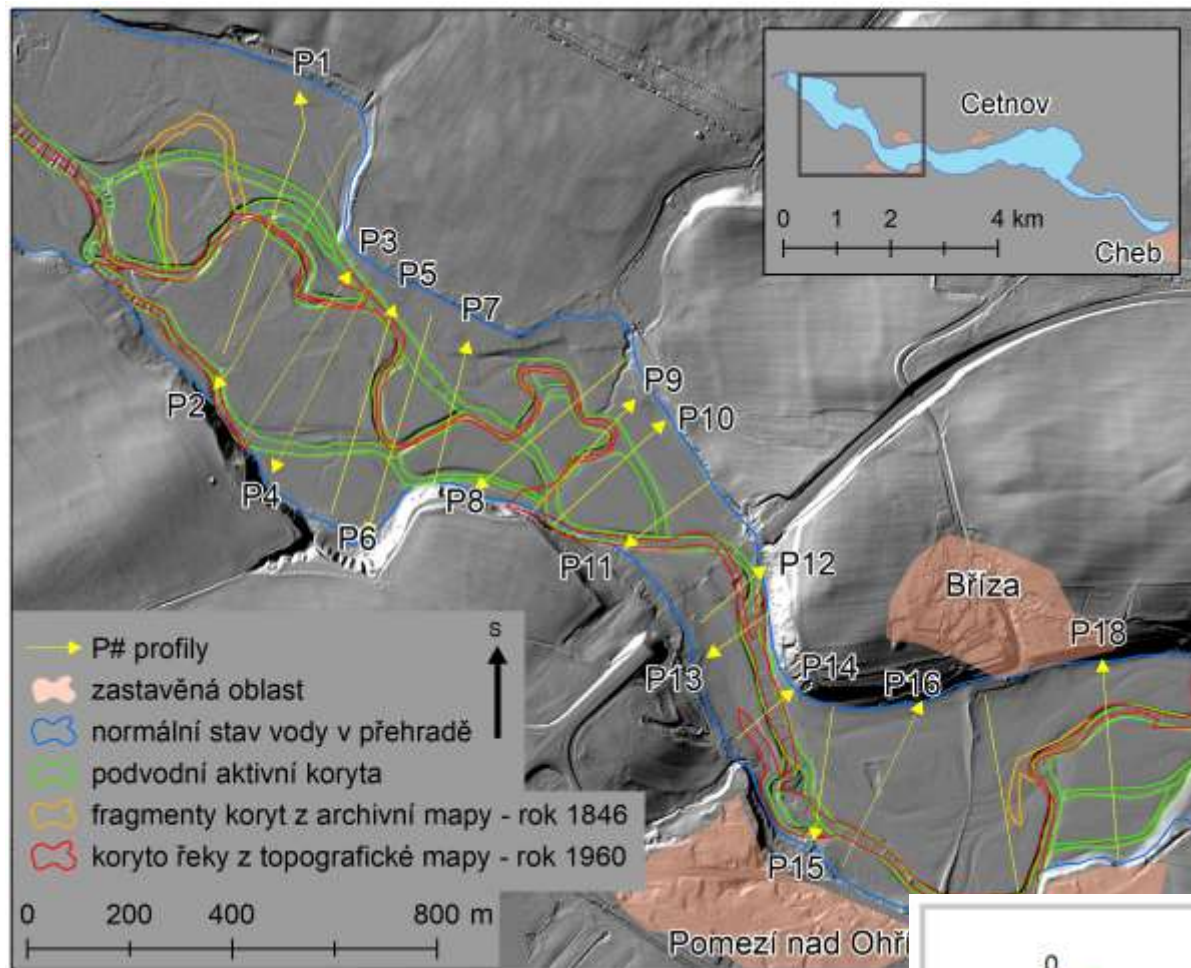
2017 – 2019 Vývoj sedimentace v přehradních nádržích jako antropogenních bariérách v říčních systémech: od materiálové bilance po osud polutantů, GA ČR
2019 – 2021 Bezkontaktní metody sběru prostorových dat jako nástroj pro modelování a sledování životního prostředí člověka, SGS UJEP

Publikované výsledky:

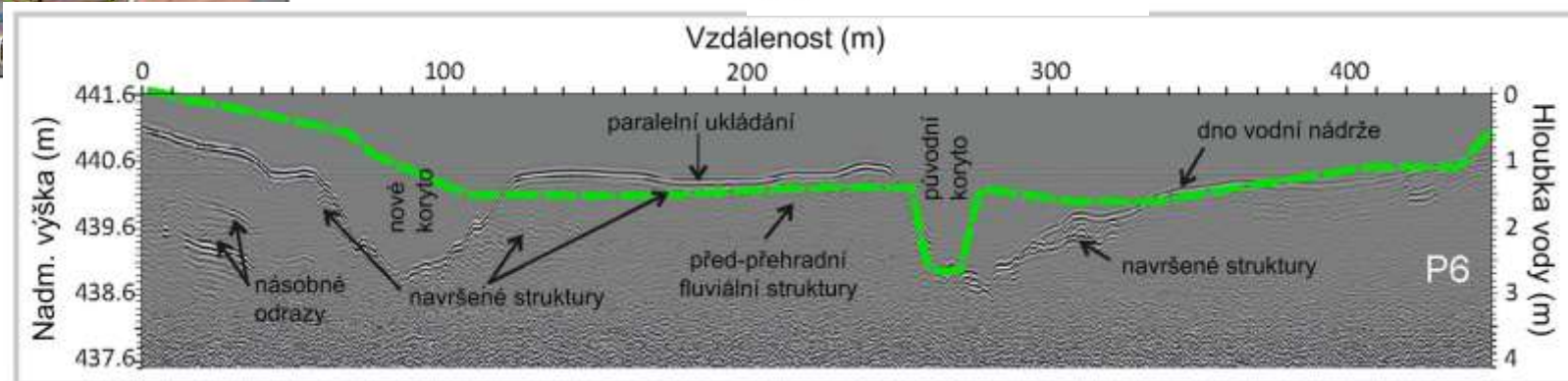
Dynamics of sediments in reservoir inflows: A case study of the Skalka and Nechranice reservoirs, Czech Republic (ISPRS International Journal of Geo-Information, 2020, podíl 33%), 8 citací
Separation of geochemical signals in fluvial sediments: New approaches to grain-size control and anthropogenic contamination (Applied Geochemistry, 2020, podíl 11%), 8 citací
Lessons Learnt from the Revitalisation of Chemical Factory in Marktredwitz and River Banks Downstream: When 'Renaturation' Can Be Harmful (Water, 2022, podíl 10%)



Případové studie – vodní nádrž Skalka – dynamika dna horní části nádrže



- 1960 před-přehradní topografie
- 2011 LiDAR (nízký stav)
- 2018 georadar (vysoký stav)
- 2019 LiDAR (nízký stav)



Případové studie – Vodní nádrž Nechranice – vývoj nátokové delty

- postavena v letech 1961-1968
- akumuluje znečištění rizikovými prvky (As, Cu, Pb, Zn) z historických těžebních lokalit rozmístěných zejména v Krušných horách
- odhalena značná tloušťka nátokové delty a její význam pro ukládání kontaminace

Použitá data a metody:

- mapa z roku 1955 (povodí Ohře s.p.)
- sonar - 2014, 2017, 2019
- profiler – 2019
- letecké snímky 2018

Problematika řešena v rámci projektů:

2015 – 2018 Využití metod geoinformatiky pro sledování změn krajiny, IGA UJEP

2017 – 2019 Vývoj sedimentace v přehradních nádržích jako antropogenních bariérách v říčních systémech: od materiálové bilance po osud polutantů, GA ČR

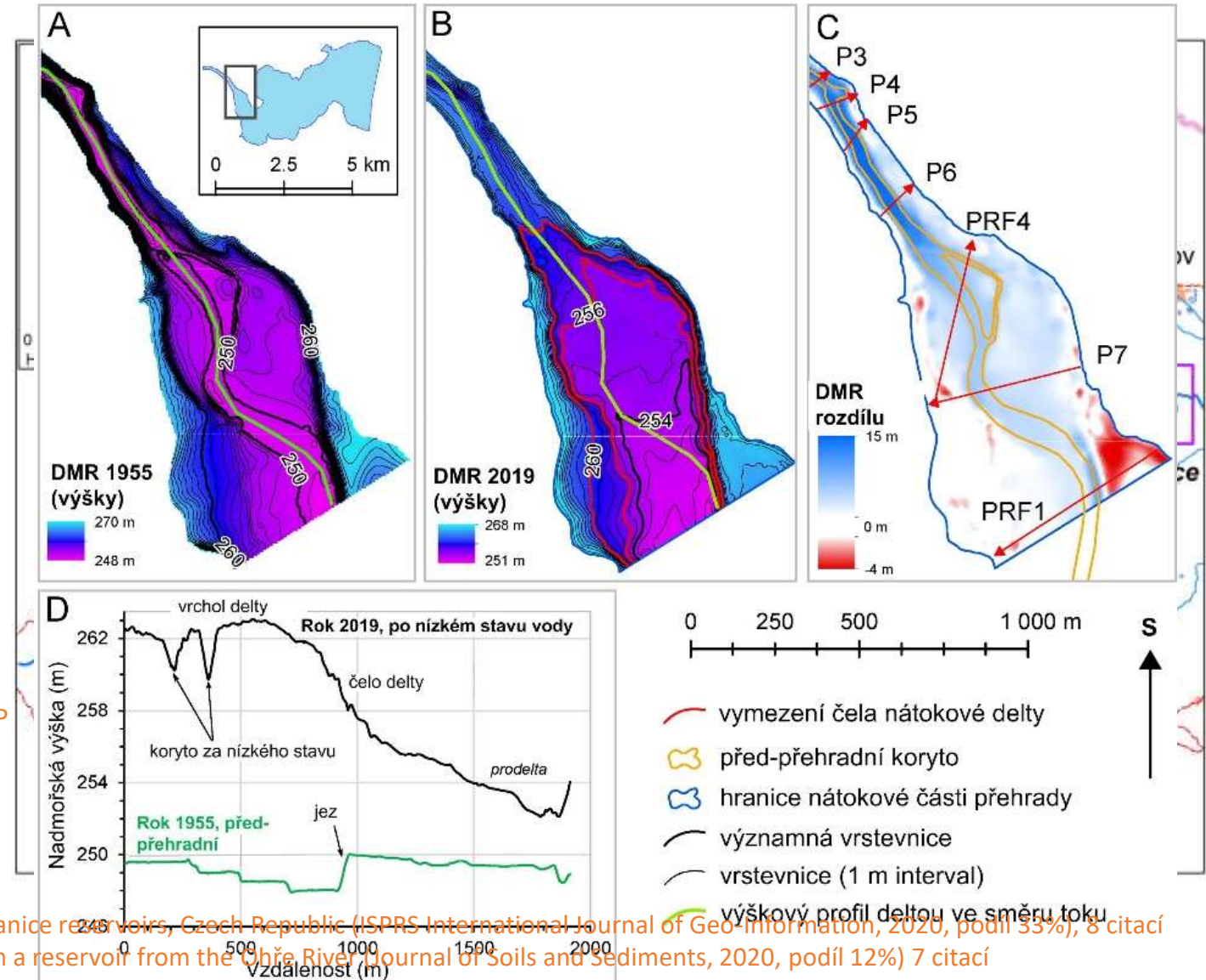
2019 – 2021 Bezkontaktní metody sběru prostorových dat jako nástroj pro modelování a sledování životního prostředí člověka, SGS UJEP

Publikované výsledky:

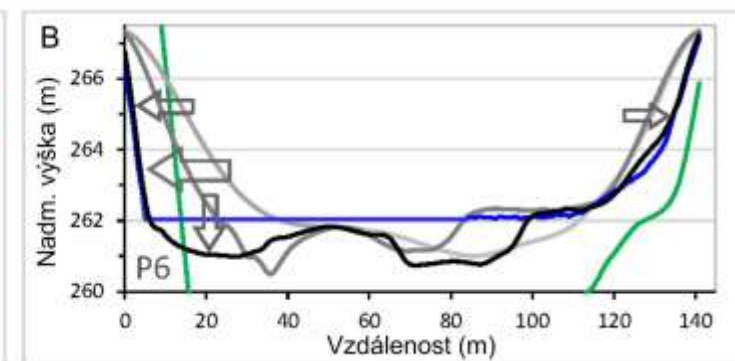
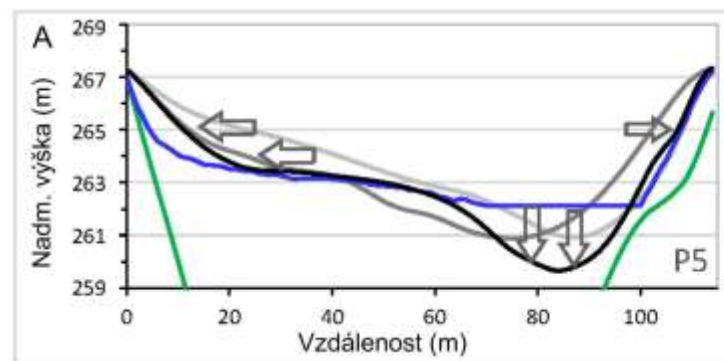
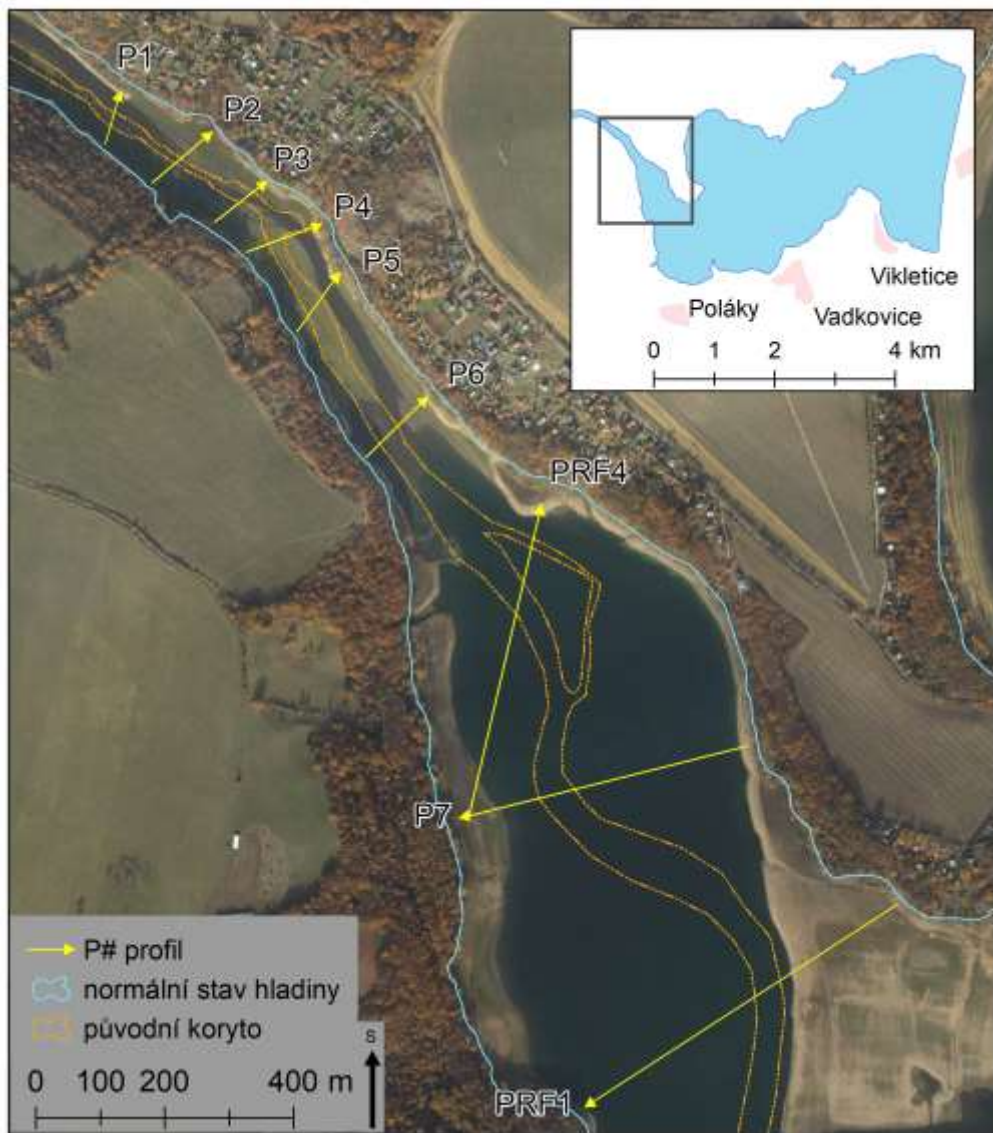
Dynamics of sediments in reservoir inflows: A case study of the Skalka and Nechranice reservoirs, Czech Republic (ISPRS International Journal of Geo-Information, 2020, podíl 33%), 8 citací

Segregation and retention of As, potentially toxic metals, and organic pollutants in a reservoir from the Ohře River (Journal of Soils and Sediments, 2020, podíl 12%) 7 citací

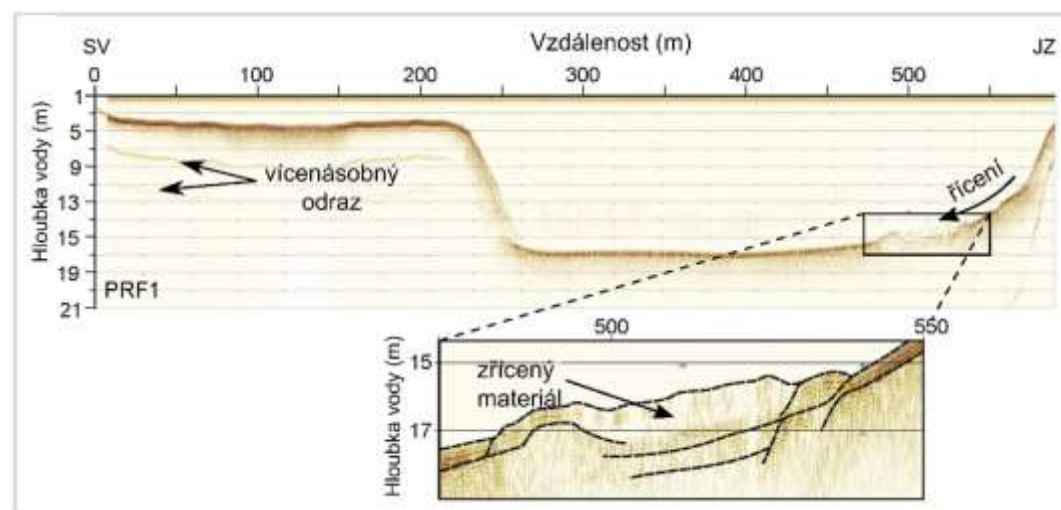
Separation of geochemical signals in fluvial sediments: New approaches to grain-size control and anthropogenic contamination (Applied Geochemistry, 2020, podíl 11%), 8 citací



Případové studie – Vodní nádrž Nechranice – vývoj nátokové delty



- 1955 před-přehradní topografie
- 2014 sonar
- 2017 sonar
- 2018 letecké snímky
- 2019 sonar
- boční eroze
- zhloubení

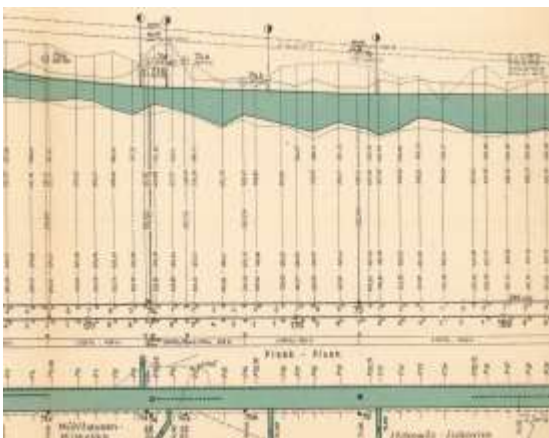


Případové studie – rekonstrukce původního údolí Vltavy

- uchování kulturního dědictví a paměti krajiny

Charakteristika zpracovávané oblasti:

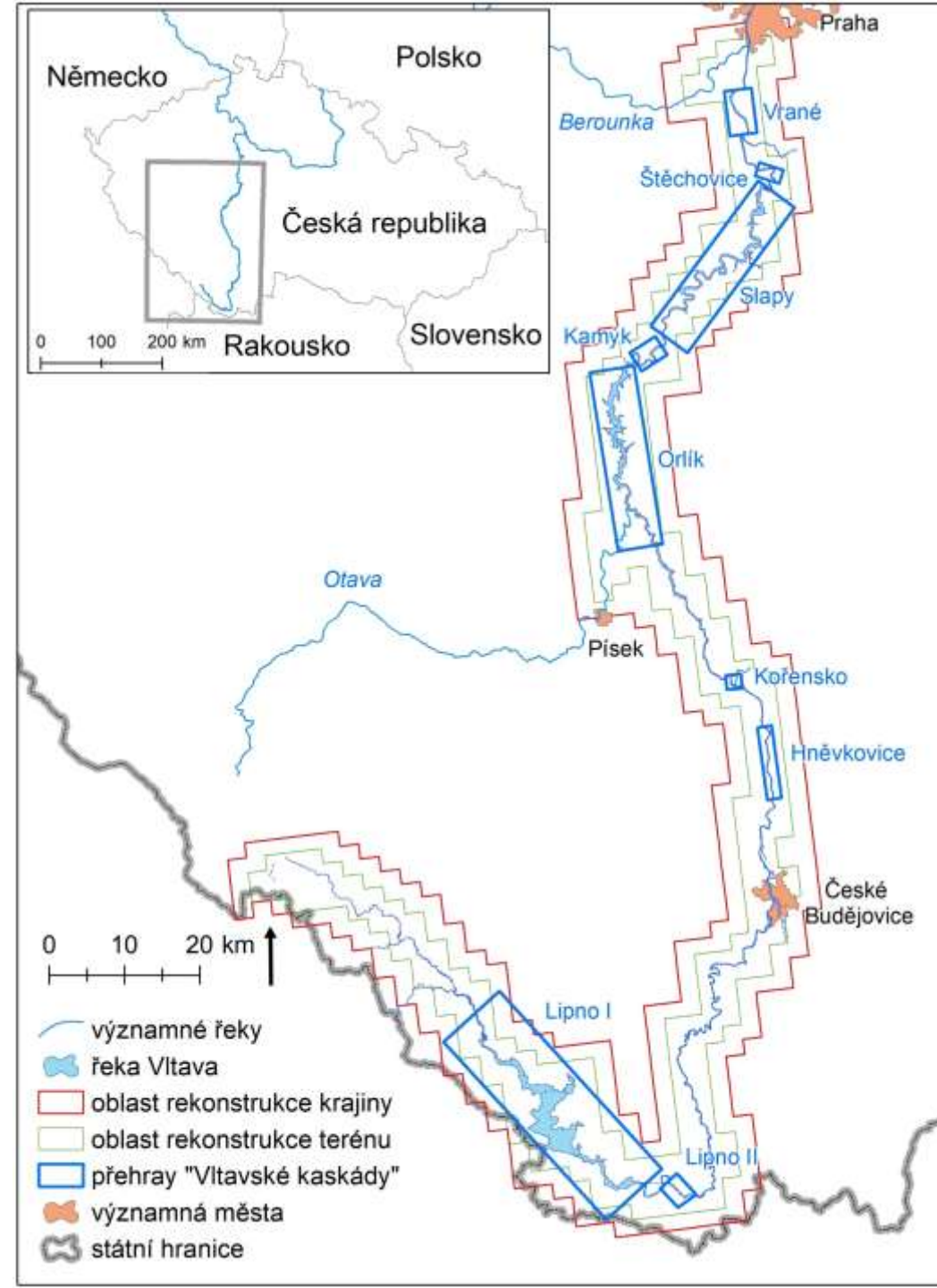
- délka od pramene k soutoku s Berounkou cca 300 km
- rozloha oblasti 1670 km²
- celkem georeferencováno 667 mapových listů SMO-5, z toho 334 použito pro rekonstrukci údolí
- vektorizováno více než 26 000 km vrstevnic
- požadavek na modelování „ploché“ vodní hladiny se sklonem odpovídajícím okolnímu terénu
- velkoplošný 3D tisk v.n. Lipno, Orlik a Slapy



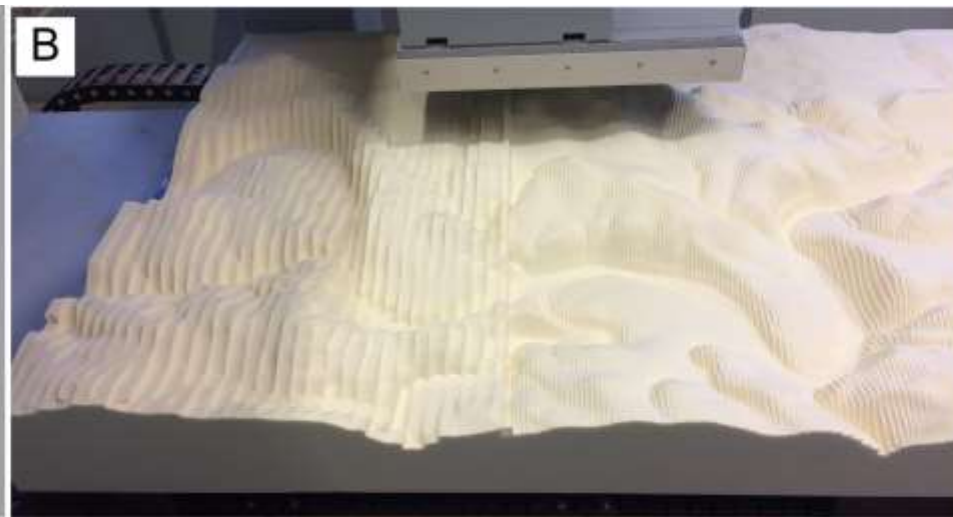
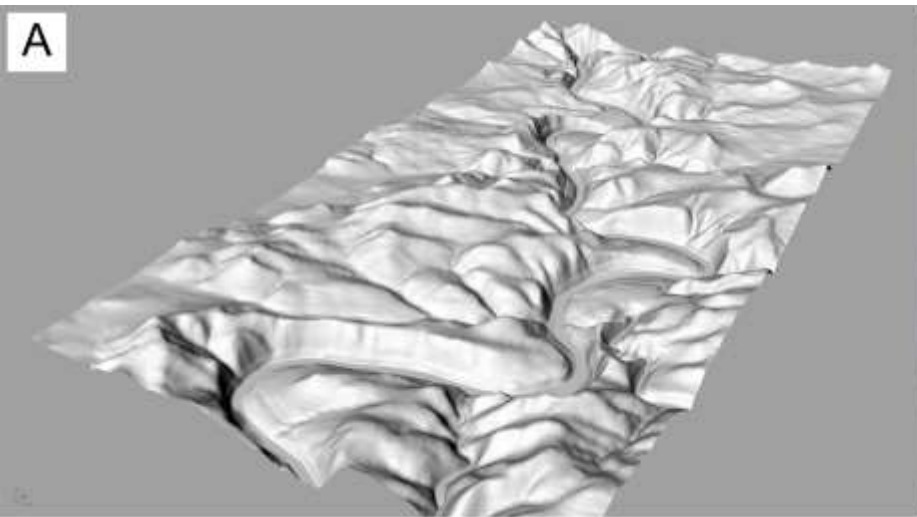
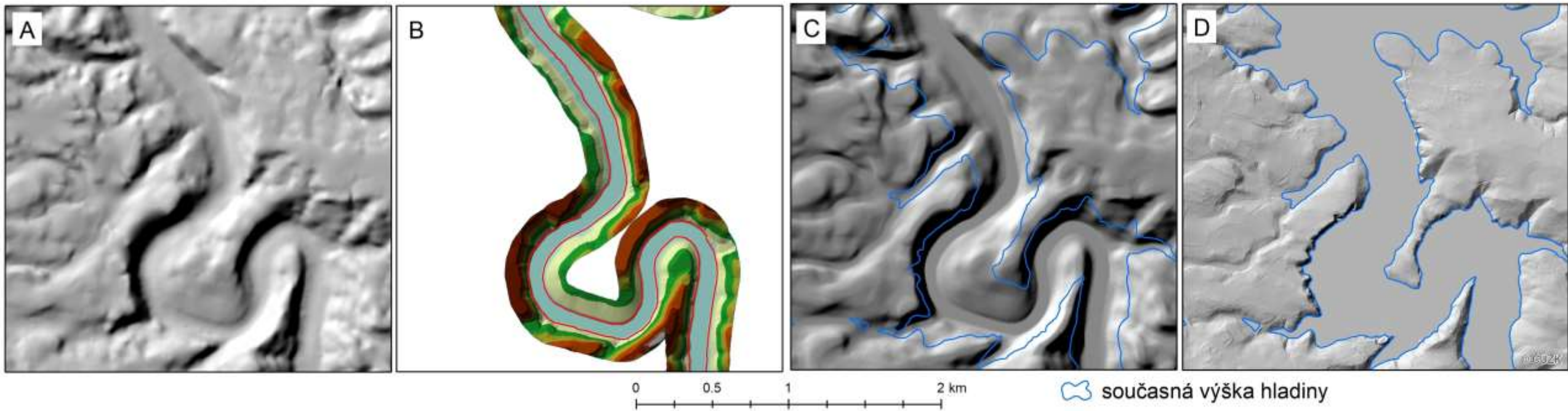
Řešený projekt a publikované výsledky:

2018 – 2022 Vltava – proměny historické krajiny v důsledku povodní, stavby přehrad a změn ve využití území s vazbami na kulturní a společenské aktivity v okolí řeky, MK ČR (NAKI)

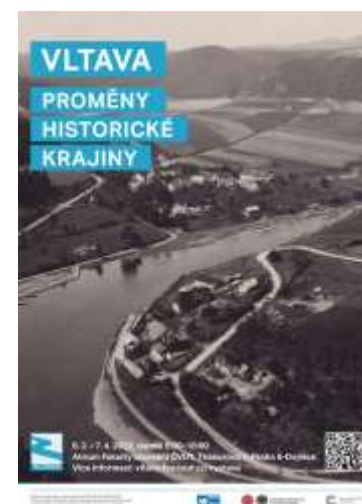
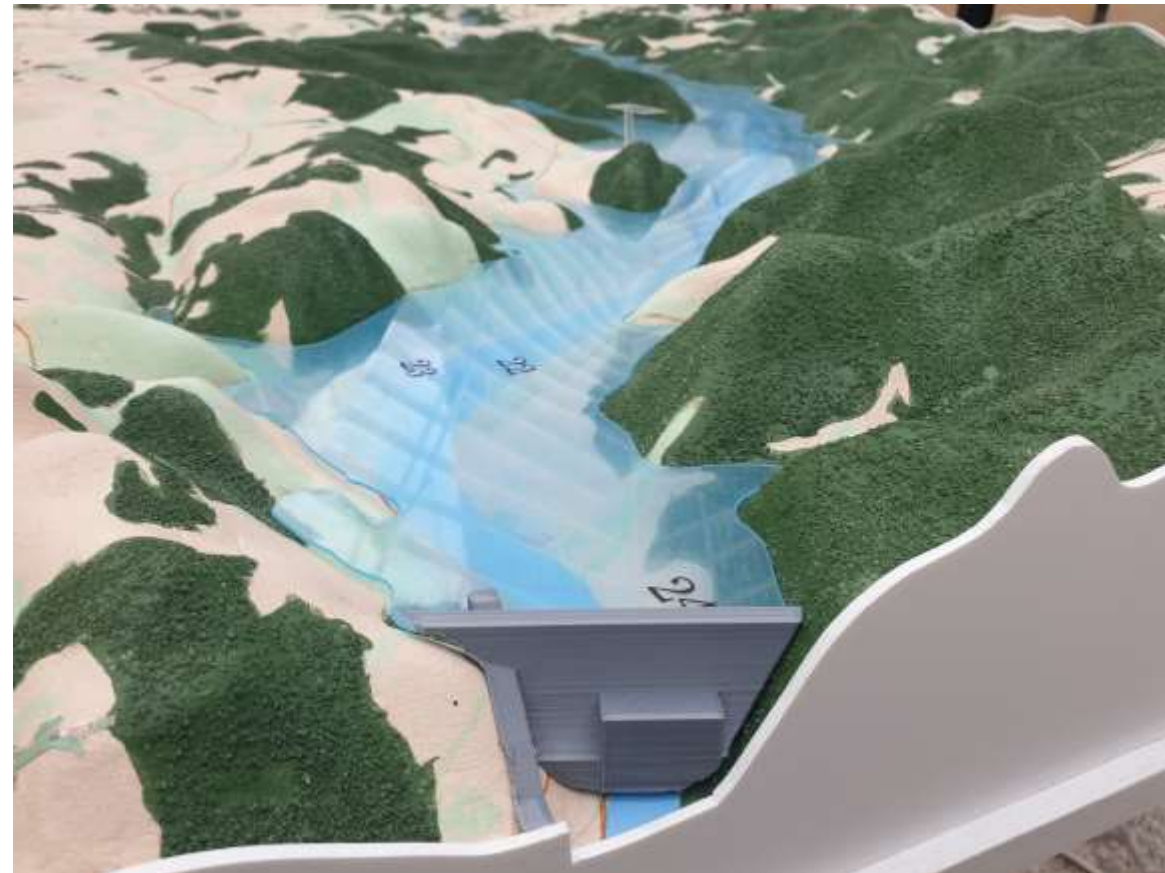
Pre-dam valley reconstruction based on archival spatial data sources: Methods, accuracy, and 3D printing possibilities (Transactions in GIS, 2022, podíl 75%), 2 citace



Případové studie – rekonstrukce původního údolí Vltavy



Případové studie – rekonstrukce původního údolí Vltavy



- výstava na FSV ČVUT
- aktuálně putovní výstava v okolí Vltavské kaskády





Protržená přehrada na Bílé Desné
Jizerské hory