

## Komplexní rekonstrukce předpřehradní krajiny v údolí Vltavy s využitím pokročilých geoinformatických metod

doc. Ing. Jan Pacina, Ph.D.,  
prof. Ing. Jiří Cajthaml, Ph.D.,  
Ing. Jakub Vynikal, Ing. Dominik Brétt,  
Ing. Jiří Krejčí, Ing. Tomáš Janata, Ph.D.,  
Ing. Pavel Tobiáš, Ph.D., Ing. Vojtěch Cehák,  
Ing. Darina Kratochvílová, Ph.D.  
Fakulta stavební  
České vysoké učení technické v Praze

### Abstrakt

Vltava, jedna z nejdelsích českých řek, byla ve 20. století přetvořena soustavou devíti přehrad tzv. Vltavské kaskády, která zatopila původní údolí. Tento příspěvek představuje komplexní rekonstrukci zaniklé krajiny s využitím starých map, archivních leteckých snímků a pokročilých geoinformatických metod včetně strojového a hlubokého učení. K dokumentaci dna nádrží jsou využívány batymetrické metody. Výsledky jsou prezentovány jako interaktivní 3D model obsahující rekonstruovaný reliéf, krajinný pokryv i 3D modely zaniklých objektů, přístupný online i jako fyzický model.

### Comprehensive Reconstruction of the Pre-dam Landscape in the Vltava River Valley Using Advanced Geoinformatics Methods

### Abstract

Vltava, one of the longest rivers in the Czech Republic, was transformed in the 20th century by the construction of nine reservoirs known as the Vltava Cascade, which flooded the original valley. This paper presents a comprehensive reconstruction of the pre-dam landscape using historical maps, archival aerial photographs, and advanced geoinformatics methods including machine and deep learning. The current reservoir beds are mapped using bathymetric techniques. The resulting model is presented as an interactive 3D visualization featuring reconstructed topography, land cover and detailed 3D models of lost structures – available both online and as a physical 3D model.

**Keywords:** historical cartography, archival aerial imagery, contour extraction, deep learning, bathymetric mapping, 3D geovisualization, cultural heritage preservation

## 1. Úvod

Změny krajiny jsou nedílnou součástí lidského prostředí. S postupující industrializací je vliv člověka na změny krajiny stále výraznější. Změny v krajině jsou způsobeny například těžební činností, růstem zástavby, zemědělskou činností, ale i výstavbou vodních nádrží s ohledem na zvyšující se poptávku po vodě a její spotřebě. Ty jsou vybudovány tak, aby zadržovaly vodu pro průmysl, zavlažování, výrobu energie nebo pitnou vodu. Ač to nemusí být na první pohled patrné, výstavba nádrží ovlivňuje jak změnu krajiny, tak změnu tvaru krajiny (topografie).

S výstavbou nádrží tak dochází nejen k zaplavení krajiny a tím i ke zničení sídel a významného kulturního dědictví, ale také k vysídlení obyvatelstva – což přímo souvisí se ztrátou paměti krajiny. Současné možnosti geoinformatiky umožňují s využitím archivních datových zdrojů uchovat kulturní dědictví a paměť krajiny u těchto zatopených územích pro budoucí generace.

V článku se autoři zaměřili na rekonstrukci údolí řeky Vltavy od jejího pramene až po soutok s řekou Berouňkou (cca na hranici Prahy). Na tomto přibližně 300 km dlouhém úseku vodního toku vznikla v minulosti tzv. Vltavská kaskáda – soubor devíti nádrží, které slouží k výrobě energie, protipovodňové prevenci a rekreačnímu využití. Předkládaná rekonstrukce krajiny je zaměřena na rekonstrukci původního předzátopového reliéfu, rekonstrukci původního krajinného pokryvu, ale také na 3D rekonstrukci původních budov s využitím archivních datových zdrojů.

Archivní (prostorové) zdroje dat jsou velmi důležitou součástí rekonstrukce krajiny a s rozvojem geoinformatiky a digitální kartografie v posledních třech desetiletích jsou již běžně využívány pro rekonstrukce zaniklých krajin (např. [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7]).

Pro rekonstrukci krajiny se nejčastěji využívají informace obsažené ve starých mapách a archivních leteckých měřicích snímcích (LMS) [8], [9], [4], [7]. Pro rekonstrukci krajiny je důležitá volba vhodných datových zdrojů – rekonstrukce nadmořské výšky (topografie) tak vyžaduje archivní mapy, které obsahují nadmořskou výšku ideálně ve formě vrstevnic. U archivních LMS pak musíme hledat snímky s dostatečnou vizuální kvalitou a potřebným překrytím [10], [11], [12], [9], [13], [14].

Archivní LMS jsou v současné době k dispozici v národních repozitářích [15], [16], [17], [18] a mají výraznou a nezastupitelnou roli při rekonstrukci krajiny. Jejich zpracování má jasně definovanou metodiku, a to jak s využitím klasických fotogrammetrických metod, tak s využitím metod Structure from Motion (SfM) [15], [12], [14]. U archivních LMS s dostatečným překrytím lze odvodit digitální model povrchu (DMP), jehož kvalita je silně závislá na kvalitě vstupních fotografií [18].

Staré mapy patří v dnešní době k jakémusi standardu, který se již používá při rekonstrukcích krajiny. Při rekonstrukci výškopisu (pokud klademe nároky na přesnost) je však nutná určitá obezřetnost při volbě vhodných mapových podkladů a pozornost by měla být věnována i metodice jejich zpracování [13], [18]. Při rekonstrukci výškopisu

je pak nutné z těchto map extrahovat vrstevnice – toho lze dosáhnout pomocí automatické nebo poloautomatické vektorizace [19], [20], [21], [22]. Velkou výzvou je použití metod hlubokého učení pro automatickou extrakci vrstevnic [23].

Cílem výzkumu je rekonstruovat topografii údolí před výstavbou přehrad v celkové délce téměř 300 km. To vyžaduje buď zpracování značného počtu archivních leteckých snímků, nebo georeferencování velkého souboru starých map a následnou digitalizaci vrstevnic. Údolí řeky Vltavy před výstavbou Vltavské kaskády je poté vizualizováno v trojrozměrné (3D) online scéně s využitím staré mapy jako textury včetně 3D modelů budov a dalších objektů (zaniklých i dosud existujících) spolu s vegetací. Vybrané části údolí řeky (v současné době zatopené nádržemi Lipno, Slapy a Orlík) byly vytištěny jako velké fyzické 3D modely.

## 2. Data a metody

### 2.1 Vltavská kaskáda

Řeka Vltava se pyšní titulem nejdelší vodní cesty v České republice. Vltavská kaskáda se skládá z řady devíti přehrad vybudovaných podél horního a středního toku řeky, které se klenou v úseku mezi Prahou a pramenem Vltavy. Stavba první přehrady, která byla zahájena ve 30. letech 20. století, znamenala začátek tohoto projektu, přičemž celá Vltavská kaskáda byla dokončena v 90. letech 20. století.

Řeka Vltava, pramenící na Šumavě u obce Černý Kříž, vzniká sloučením řek Teplé Vltavy a Studené Vltavy. Její tok se vine přes významná města jako Český Krumlov, České Budějovice, Týn nad Vltavou a Praha, až se v Mělníku vlevo zleva do Labe. Na **obr. 1** je znázorněn tok řeky Vltavy.

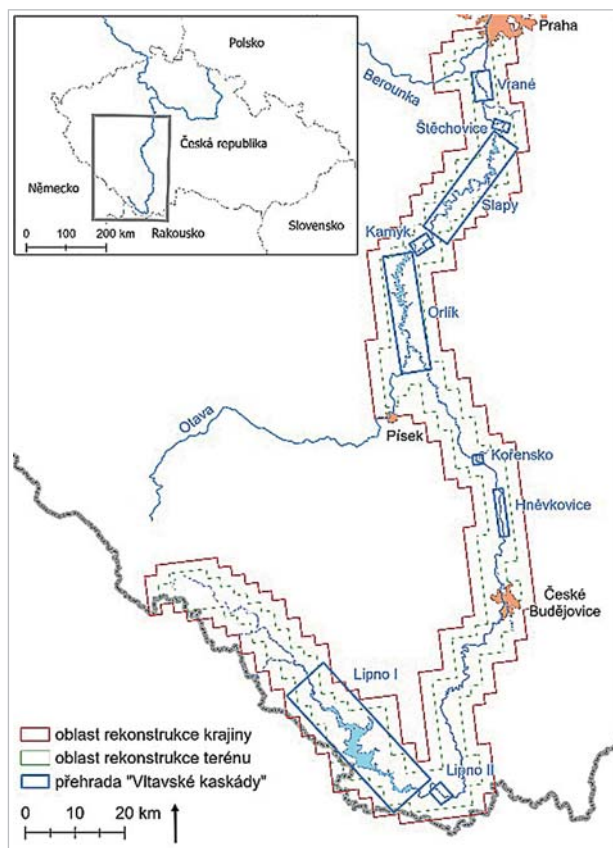
Oblast našeho zájmu zahrnuje horní tři čtvrtiny řeky, a to od jejího pramene až po místo, kde se sbíhá s řekou Berounkou u Prahy. V zájmové oblasti se nachází všech devět přehrad Vltavské kaskády. Mezi nádržemi vyniká vodní nádrž Orlík, která zadržuje největší objem vody mezi českými nádržemi (a přibližně pětinu veškeré zadržené vody v českých nádržích), a Lipenská nádrž, která se pyšní největší rozlohou. Vodní elektrárny v rámci kaskádových přehrad společně generují elektrický výkon až 750 MW.

### 2.2 Staré mapy a automatická digitalizace vrstevnic

V rámci „projektu Vltava“ bylo použito mnoho typů starých map [24]. V souvislosti s rekonstrukcí předpřehradního údolí a 3D vizualizací byly využity dva nejvýznamnější mapové podklady – Státní mapa odvozená 1 : 5 000 (SMO-5) a Císařské povinné otisky map stabilního katastru.

#### 2.2.1 Císařské povinné otisky map stabilního katastru

Císařské povinné otisky map stabilního katastru byly vytvořeny pro území Českých zemí (které byly v té době součástí Habsburské monarchie) v první polovině 19. století. Cassini-Soldnerovo nekonformní příčné válcové promítání bylo zvoleno jako matematický základ pro nové mapové dílo. V rámci Habsburské monarchie se používalo celkem



Obr. 1 Zájmové území a vymezené zpracované plochy podle [18]

11 souřadnicových systémů, včetně jednotlivých korunních zemí a oddělených jejich hranicemi. Pro dnešní území České republiky existovaly dva systémy: pro Čechy Gusterberg (počátek v trigonometrickém bodě Gusterberg v Horním Rakousku) a pro Moravu a Slezsko tzv. sv. Štěpán (počátek ve středu věže kostela sv. Štěpána ve Vídni).

Mapy byly pořizovány v měřítku 1 : 2 880, ve městech i v měřítku dvojnásobném, výjimečně čtyřnásobném. Tyto mapy, nebo zejména aršíky císařských povinných otisků, dnes představují cenný a pozicně velmi přesný pramen pro studium krajiny poloviny 19. století.

V rámci projektu Vltava byly tyto mapy georeferencovány a sloučeny do souvislé mapy. Výsledná mapa slouží jako podklad pro tvorbu 3D modelů budov a jako textura celkového – digitálního i fyzického 3D modelu.

#### 2.2.2 Státní mapa odvozená 1 : 5 000

Mapové dílo, které původně pokrývalo celé bývalé Československo (včetně vrstevnic), je známé jako SMO-5. První vydání SMO-5 proběhlo v letech 1950 až 1959. Termín „odvozená“ se používá, protože topografické údaje byly extrahovány z katastrálních map, zatímco údaje o nadmořské výšce byly získány z jiných různorodých datových sad. Interval vrstevnic v těchto mapách se pohybují od 1 m do 20 m, v závislosti na konkrétním použitém zdroji dat.

Mapové listy SMO-5 jsou generovány v rámci souřadnicového systému S-JTSK, který odpovídá české národní souřadnicové síti. Každý mapový list pokrývá oblast 2,5 × 2 km a je zarovnán se souřadnicovými osami. Z toho vyplývá,

že souřadnice rohů mapových listů jsou přesně definovány v rámci systému S-JTSK. S využitím těchto informací je proces georeferencování pro mapové listy SMO-5 relativně přímočarý. Použitím metod projektivní transformace a využitím známých souřadnic rohů mapového listu je každý mapový list transformován do dokonale pravoúhlého tvaru v rámci mřížky S-JTSK.

### 2.2.3 Automatická vektorizace vrstevnic

Přístup k poloautomatické vektorizaci byl podrobně popsán v [18]. Pro automatickou konverzi vrstevnic z georeferencovaných mapových listů SMO-5 do vektorového formátu bylo využito rozšíření ArcGIS 10.5 ArcScan. Následná ruční editace a přidávání atributů, konkrétně údajů o nadmořské výšce, probíhaly v rámci prostředí ArcMap. Omezení této metody spočívá především v nezbytném manuálním předzpracování mapových listů, následném „čištění“ vektorových linií a ručním přiřazování výškových atributů. Aby bylo možné zefektivnit metodu automatické vektorizace, bylo na proces automatické extrakce vrstevnic ze starých map aplikováno použití metod hlubokého učení, implementovaných v ArcGIS Pro. Byly použity tři neuronové sítě, Holistically Edge Detector (HED), Bi-Directional Cascade Network for Perceptual Edge Detection (BDCN) a UNET.

### 2.3 Letecké měřické snímky

V Československu bylo první použití letecké fotogrammetrie testováno ve 20. letech 20. století. Od té doby byly v roce 1936 zahájeny systematické fotogrammetrické kampaně. Surové archivní LMS jsou uloženy Vojenským geografickým a hydrometeorologickým ústavem v Dobrušce (VGHMÚř) a Ústředním archívem zeměměřičství a katastru (ÚAZK) Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního (ČÚZK). Tyto instituce poskytují profesionálně naskenované digitální kopie požadovaných LMS. ČÚZK dále nabízí zpracovaná archivní ortofota jako vrstvy prohlížečské služby WMS na Geoportálu ČÚZK. V roce 1938 bylo provedeno rozsáhlé letecké mapování Československa, přičemž v letech 1947 až 1954 bylo fotogrammetricky dokumentováno téměř celé území dnešní České republiky. Tyto datové sady slouží jako cenný archivní materiál pro analýzu změn krajiny.

V [25] byla posuzována kvalita modelů DMP odvozených z českých archivních LMS. Dvě sady LMS z let 1938 a 1953 prošly standardním fotogrammetrickým zpracováním s využitím metod SfM. Výsledné DMP byly porovnány s referenčními body změřenými pomocí metody RTK (kinematika v reálném čase) globálních navigačních družicových systémů (GNSS). Studie dospěla k závěru, že SfM modelování, konkrétně s využitím Agisoft Photoscan, se ukázalo jako vhodnější metoda pro zpracování archivních LMS. Problematika využití archivních LMS pro rekonstrukci topografie před stavbou přehrad je dále diskutována v [18].

Zpracování archivních LMS představuje několik výzev. Parametry vnitřní orientace jsou často nedostupné a problémem je absence katalogu pozemních vlčivacích bodů. Vlčivací body použité při zpracování musí být identifikovány jak na archivních LMS, tak na současných ortofotech. Údaje o nadmořské výšce pro vlčivací bod musí pocházet z relevantních datových sad nebo je potřeba přímého měření. Identifikace vlčivacích bodů se stává obzvláště náročnou v oblastech s významnými změnami krajiny, jako je povrchová těžba a probíhající rekultivace. Kvalita archiv-

ních LMS je ovlivněna faktory, jako je kvalita fotografického materiálu (např. šum), podmínky dlouhodobého skladování (vedoucí ke zkreslení a degradaci barevného podání) a potenciální poškození v důsledku neopatrného zacházení (např. poškrábání).

V rámci výzkumu se autoři snaží najít metody předzpracování archivních LMS, aby eliminovali vliv těchto problematických faktorů na výslednou kvalitu odvozeného DMP.

### 2.4 Batymetrické mapování dna vodních nádrží

Sonarový průzkum byl proveden pomocí zařízení Humminbird Helix 7 CHIRP DI GPS G2 vybaveného standardní GPS (Humminbird, Eufaula, AL) namontovaného na nafukovacím člunu s pevným dnem vybaveném malým spalovacím motorem. Naměřená data byla získána jako souřadnice bodů [X, Y, relativní hloubka] pomocí softwaru Humminbird PC (Humminbird, Eufaula, AL) (viz obr. 2). Aktuální nadmořská výška vodní hladiny byla převzata z webové služby poskytované správcem vodního toku (Povodí Vltavy, s. p.). Sonar byl umístěn na experimentální konstrukci tak, aby bylo možné na nafukovací člun umístit jak sonar, tak sondu, a také tablet, na kterém se zobrazuje mapová aplikace s původní krajinou, topografií a zajímavostmi z doby před výstavbou přehrad. Metodika rekonstrukce předpřehradní topografie dna vodní nádrže na základě dat ze sonaru je podrobně popsána v [13].

Cílem využití batymetrických dat je podvodní mapování významných zaplavených lokalit v oblasti stavby vodního díla Vltavská kaskáda.

### 2.5 3D modelování původního údolí řeky Vltavy

#### 2.5.1 Digitální 3D model údolí Vltavy

3D model se skládá ze dvou hlavních částí – rekonstruovaného předpřehradního reliéfu a rekonstruovaných budov.



Obr. 2 Sonar umístěný na člunu spolu s tabletem pro zobrazení polohy člunu na archivním LMS

Předpřehradní reliéf je rekonstruován na základě výškových informací obsažených v archivních zdrojích prostorových dat. Pro digitální rekonstrukci budov byly použity dvě metody – procedurální modelování a ruční detailní modelování na bázi CAD.

Procedurální modelování je technologie, která umožňuje automatizované generování 3D modelů na základě mapových dat, která určují umístění výsledných modelů, a sady pravidel, která definují vzhled výsledku. V našem projektu jsme se rozhodli využít tvarovou gramatiku Computer Generated Architecture (CGA), protože tvarové gramatiky jsou popisovány jako *v současné době nejpokročilejší, nejpoužívanější a nejkompaktnější metody pro reprezentaci budov*. Tato technologie je hojně využívána při historických vizualizacích na základě mapových podkladů, kde lze využít i archivní plánovací dokumentaci a historické ikonografické podklady pro lepší určení a úpravu jednotlivých parametrů modelování. Jako základní mapové podklady sloužily Císařské povinné otisky map stabilního katastru v měřítku 1 : 2 880. Mapové listy byly v dřívějších fázích projektu georeferencovány a vektorizovány, což je činní vhodnými pro procedurální modelování, zejména v oblastech v blízkosti řeky Vltavy. Nejdůležitější byly půdorysy budov rozlišené podle typu stavby (např. kostely, významné stavby, zdivo – nehořlavé, roubené – hořlavé) a polygony krajinného pokryvu rozlišené podle typu (např. listnaté lesy, jehličnaté lesy, smíšené lesy, sady, zahrady), které sloužily jako hlavní parametry vstupující do procedurálního modelování. Po přípravě podkladových dat byl definován nejdůležitější vstup pro procedurální modelování – soubory gramatických pravidel tvaru CGA. Pro naše potřeby byla použita implementace této tvarové gramatiky v programu ArcGIS CityEngine. Vzhled výsledku byl dále zpřesněn ruční změnou atributů jednotlivých budov, zejména těch, které jsou viditelné na archivních fotografiích a pohlednicích, aby lépe odpovídaly svým reálným protějškům.

Kromě procedurálního modelu běžných budov, který byl vygenerován pro celé zájmové území, byly vytvořeny i detailnější modely významných objektů v CAD softwaru. Vzhledem k tomu, že detailní ruční 3D modelování je výrazně časově náročnější, byly pečlivě vybírány konkrétní objekty určené k modelování (církve, stavby, historické objekty, hrady, zámky).

Je zřejmé, že detailní 3D modelování vyžaduje výrazně přesnější podkladová data. Proto bylo nutné provést pečlivý archivní průzkum a nalézt kromě historických fotografií a pohlednic i existující kresby a případně i písemné prameny, jako jsou textové části stavebně-historických průzkumů. Všechny vstupní výkresy musely být pečlivě zpracovány pomocí moderních metod digitální kartografie. Podkladové papírové materiály musely být naskenovány s dostatečným rozlišením a poté georeferencovány alespoň v místním souřadnicovém systému. Modelování bylo provedeno v jednoduchém 3D CAD softwaru. Náš modelovací tým používal především Trimble SketchUp – což je 3D modelovací software.

Výsledné 3D modely jsou k dispozici v prostředí webové mapové aplikace. Zde byla využita platforma Esri pro zpřístupnění 3D scény v ArcGIS Online.

### 2.5.2 Fyzický 3D model

Vltavská krajina před výstavbou přehrad byla geomorfologicky poměrně členitá. Napuštění celé Vltavské kaskády

v průběhu druhé poloviny 20. století zásadně změnilo vzhled této krajiny. Za účelem modelování a prezentace původní historické krajiny byly vytvořeny velkoplošné 3D fyzické modely okolí tří největších přehrad – Lipenské, Orlické a Slapské nádrže. Cílem bylo zachytit původní předindustriální říční krajinu a její širší okolí, včetně rozsahu současných nádrží, a ilustrovat tak změny v krajině. Modely byly vytvořeny na základě výškových dat odvozených z map SMO-5 a jako textura byla použita vektorová data odvozená z Císařských povinných otisků map stabilního katastru. Pro lepší orientaci bylo na modelech kromě standardních popisů jednotlivých lokalit (sídel) použito i interaktivní světelné zvýraznění významných objektů a lokalit. Záměrem bylo vytvořit exponáty, které by bylo možné opakovaně vystavovat v různých výstavních prostorách.

## 3. Výsledky

### 3.1 Rekonstrukce předpřehradního údolí Vltavy

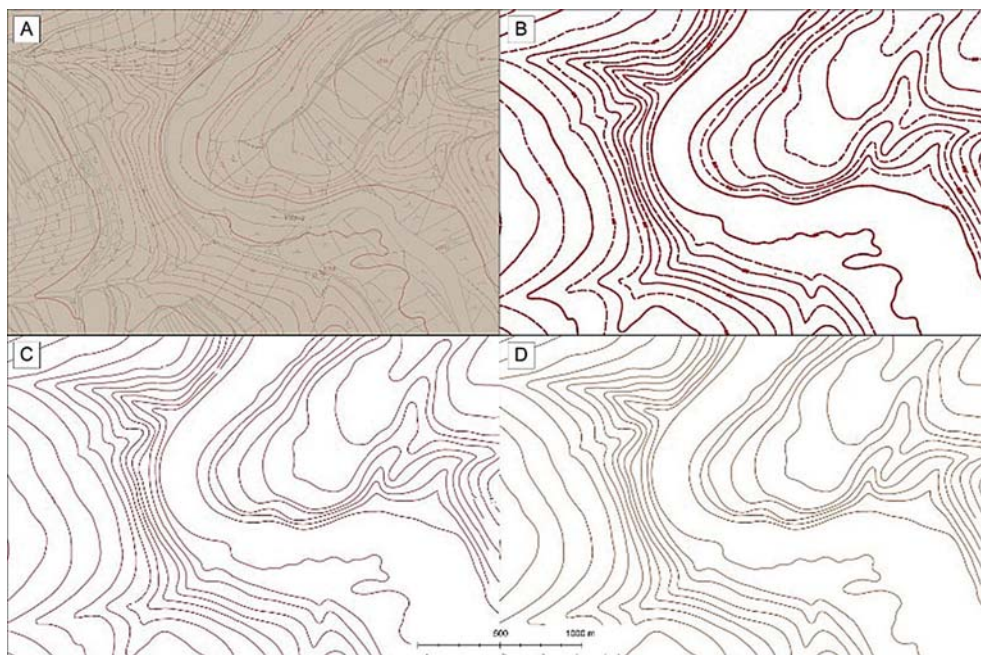
V tomto výzkumu je předpřehradní topografie rekonstruována pomocí různých metod. V textu jsou představeny možnosti rekonstrukce s využitím starých map (SMO-5) a archivních LMS. Pomocí batymetrických mapovacích metod je pak dokumentován současný stav topografie dna nádrží.

#### 3.1.1 Rekonstrukce s využitím starých map

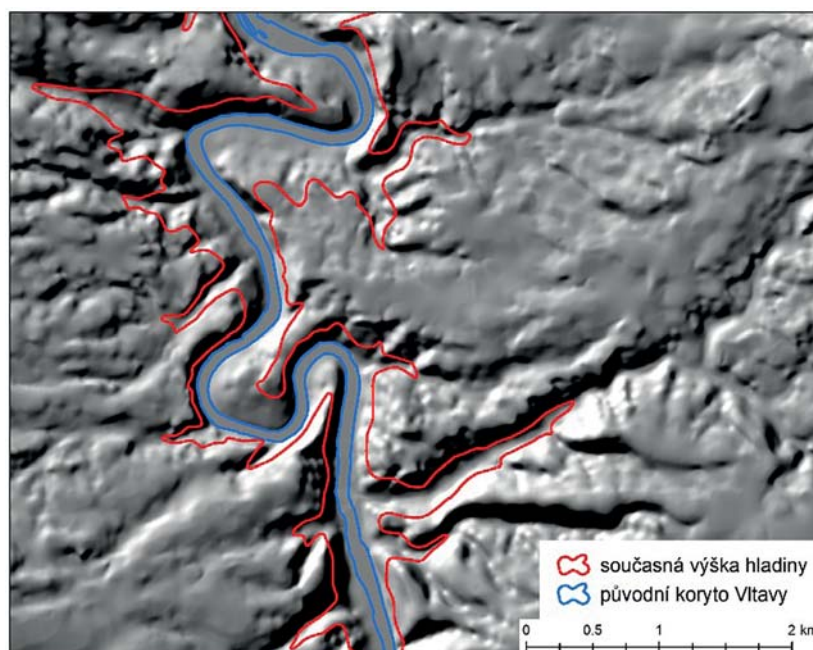
V rámci předchozího výzkumu [18] byla provedena komplexní rekonstrukce výškopisu s cílem odvodit topografii před výstavbou přehrad pomocí prvního SMO-5. Celkem bylo georeferencováno 637 mapových listů pokrývajících vymezené území v okolí řeky Vltavy pomocí projektivní transformace. Z těchto georeferencovaných listů SMO-5 bylo vybráno 334 pro rekonstrukci topografie území před výstavbou přehrad (viz **obr. 1**).

Vektorizace vrstevnic byla provedena pomocí poloautomatické vektorizace s využitím rozšíření ArcGIS – ArcScan, přičemž byla ověřena výšková přesnost vrstevnic obsažených v mapách SMO-5 (viz příklad na **obr. 3**). Výsledky ukázaly, že mapy SMO-5 pokrývají celou oblast, ale na některých místech s velmi problematickou přesností. V našem současném výzkumu se tedy hledají další datové sady a pokročilé metody zpracování, které by mohly vést ke zvýšení kvality rekonstruované topografie před přehradou. Příklad rekonstruované topografie založené na vrstevnicích SMO-5 je uveden na **obr. 4**.

V průběhu roku 2023 byla provedena rozsáhlá rešerše dostupných archivních map, na jejichž základě by bylo možné odvodit přesnější předzátopovou topografii v měřítku celého vltavského úseku v rámci sledovaného území. Výsledkem je soubor vojenských topografických map v Souřadnicovém systému 1942 (S-42) v měřítku 1 : 10 000 a 1 : 25 000. Tyto mapy jsou však graficky složitější (obsahují více topografických prvků) než mapy SMO-5 použité v předchozím výzkumu a identifikace vrstevnic pomocí metody poloautomatické vektorizace není efektivně proveditelná (viz **obr. 5**). S ohledem na tuto skutečnost je na těchto mapových dílech aktuálně realizován výzkum a testování metod pro extrakci vrstevnic pomo-



Obr. 3 Poloaufomatická vektorizace vrstevnic [18]; A – vstupní mapa, B – rastr převedený na dvě barvy a upravený v prostředí ArcScan, C – surová vektorová data, D – ručně vyčištěná vektorová data



Obr. 4 Příklad topografické rekonstrukce na základě SMO-5

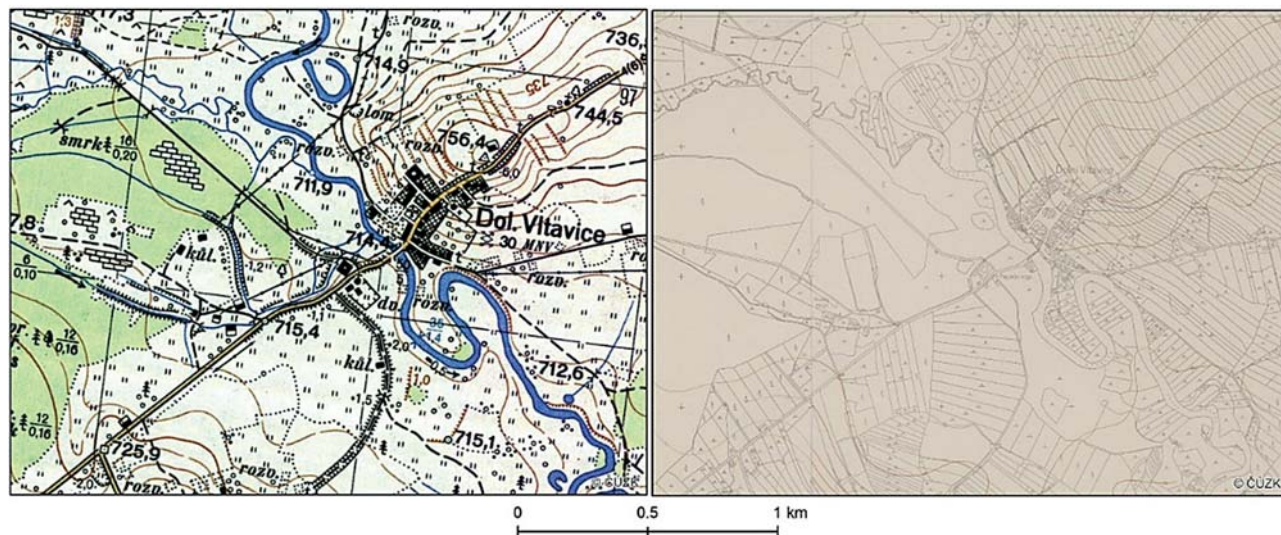
cí strojového učení a metod hlubokého učení v prostředí jazyka Python.

K vytvoření trénovacích dat byly použity vrstevnice z předchozího výzkumu. Ty byly použity k vytvoření nárazníkové zóny široké jeden metr na každé straně. Tyto polygony byly poté rasterizovány a exportovány jako obrázky  $500 \times 500$  pixelů s 50 % překrytím a variabilním otočením o  $180^\circ$ . Trénovací sada se vždy skládá z dvojice obrázků se stejným georeferencováním, jeden původní rastr, druhý binární rastr 1/0 (je obrys / není obrys). Tato data byla vytvořena z 39 mapových listů, výsledkem je 33 954 trénova-

cích obrázků ve formátu JPG, příklady jsou znázorněny na obr. 6.

Byly natrénovány tři neuronové sítě, HED, BDCN a UNET. Pro validaci bylo použito 10 % trénovací sady, VGG16 byl použit jako páteří model. Trénování modelu trvalo 6 hodin na identickém hardwaru používaném v případě HED, 44 hodin v případě BDCN a 12 hodin při použití UNET.

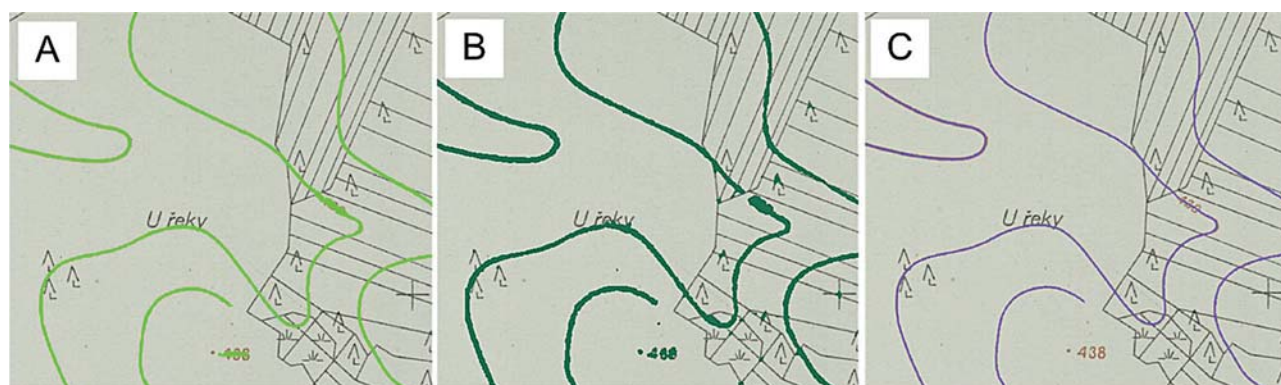
Inference modelu byla provedena na všech dostupných datech, což je proces, který obvykle trvá asi 10 minut. V tomto bodě se v podstatě jedná o sémantickou segmentaci mapy. Jako nejlepší model se jeví model BDCN,



Obr. 5 Porovnání obsahu Vojenské topografické mapy v měřítku 1 : 25 000 a mapy SMO-5



Obr. 6 Příklady trénovacích obrázků a jim odpovídajících binárních map



Obr. 7 Vrstevnice segmentované algoritmy hlubokého učení; A – neuronová síť BDCN; B – síť HED; C – síť UNET

který velmi dobře zobecňoval nová data a dokázal si poradit s obrysovými anotacemi (obr. 4). Problémem byly často pouze nesouvislé obrysy hustě naskládané vedle sebe. Model HED si vedl výrazně hůře s velkými mezerami. Model UNET fungoval dobře, ale s mezerami na neočekávaných místech (viz obr. 7).

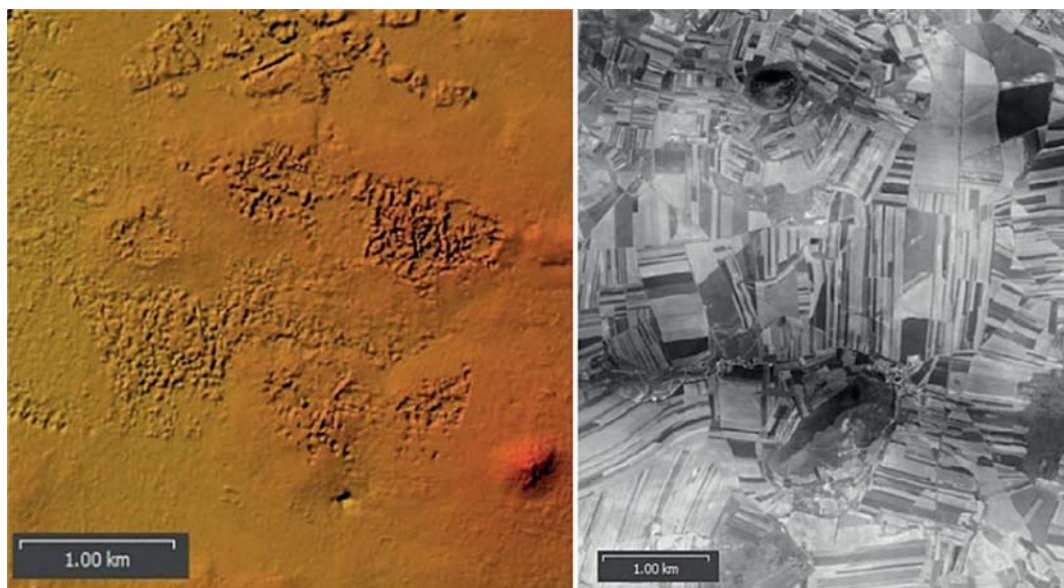
Výsledný binární rastr lze ztenčit na čáry o velikosti jednoho pixelu a poté převést do vektorové podoby. Některé nedostatky jsou patrné na okrajích listů mapy a v místech, kde se vrstevnice dotýkají. Topologie výsledných čar také není dokonalá – některé falešné detekce vrstevnic je třeba odstranit a vrstevnice se stejnou výškou je třeba sloučit do jedné.

### 3.1.2 Rekonstrukce s využitím archivních leteckých měřičkých snímků

Další možností rekonstrukce reliéfu je extrakce DMP z archivních LMS. Zpracování archivních LMS v odpovídající kvalitě je složitější než zpracování současných LMS. Vlčovací body používané pro zpracování dat proto musí být identifikovány na LMS a aktuálním (nebo jinak časově vhodným) zpracovaném ortofotu. Informace o nadmořské výšce pro každý vlčovací bod musí být získány z příslušného zdroje dat o nadmořské výšce nebo přímo zaměřeny v terénu. Identifikace vlčovacích bodů je problematická v oblastech s velkými změnami krajiny (např.



Obr. 8 Příklady zjištěných nedostatků obrazu



Obr. 9 Příklady neupravených obrazových výstupů – šum ovlivňující DMP (vlevo), kolísání jasu (vpravo)

povrchová těžba, výstavba nádrží). Kvalitu archivních LMS navíc ovlivňuje použitý fotografický materiál (zrnitý šum na snímcích), dlouhodobé skladování (zkreslení) a případné hrubší zacházení (škrábance na snímcích).

LMS jsou již několikátou generací kopií a původní originály již nelze dohledat (vzhledem k vysoce hořlavému materiálu již nejsou archivovány). Tyto kopie obsahují naskenované mechanické nečistoty, které již nelze opravit novými skenovacími postupy a moderními skenery (viz obr. 8). Obsahují rovněž vodoznaky, které také nejsou při zpracování potřeba.

Pro testování a hodnocení kvality zpracování archivních LMS byla pro první fázi vybrána testovací lokalita v Českém středohoří. Tato oblast je známá svou stepní vegetací a prostorově dynamickým (velmi variabilním) reliéfem, který se v průběhu času měnil jen nepatrně. Tato testovací lokalita je pokryta stejnou časovou řadou LMS jako oblast Vltavy. Cílem tohoto testovacího území je zjistit co nejlepší parametry při zpracování archivních LMS – v této oblasti jsme schopni (na rozdíl od oblasti Vltavy, kde došlo k zásadním změnám krajiny) ověřovat výsledky zpracování přímo v terénu.

Zpracování archivních LMS je odzkoušeno v rámci několika softwarů. Snímky z testovací lokality (1938) byly zpracovány „klasickou“ metodou za použití softwaru ERDAS Imagine, v nadstavbě pro zpracování leteckého průřezu. Zde v rámci zpracované časové řady (rok 1938) nebyl vzhledem k nízkému bočnímu překryvu DMP odvozen jako jednotná datová sada.

Pozitivních výsledků bylo dosaženo zpracováním v softwaru Agisoft Metashape, kde bylo možné sloučit i původní snímky bez úprav kontrastu, jasu atd. Při bližší kontrole bylo zjištěno, že Agisoft Metashape nesprávně rozpoznal senzor, pomocí kterého byla oblast fotografována, a detekoval přítomnost 5 senzorů místo jednoho (kvůli různému rozlišení zkoumaných snímků). Příklad modelů obsahujících šumy a barevné nestálosti je na obr. 9.

Problematika zpracování LMS v odpovídající kvalitě se ukázala být v českém národním prostředí velmi komplikovaná. V současné době se testují následující postupy, které by měly vést ke zlepšení kvality výsledných DMP:

- sjednocení rozlišení snímků,
- sjednocení kontrastu a jasu snímků,
- použití metod hlubokého učení k odstranění šumu ve snímcích.

### 3.1.3 Rekonstrukce dna vodních nádrží pomocí batymetrického mapování

Experimentální sonarové mapování bylo provedeno v roce 2023 v oblasti Živohoště na Slapské nádrži. Pro mapování byl vybrán objekt mlýna Borákov u Živohoště. Borákov stál na samotě nedaleko Ostromeče. Mlýn se zastavil v roce 1941, kdy led zničil jez a mlýn zůstal bez vody. Budova mlýna zanikla po roce 1953, kdy byla vybudována Slapská přehrada. Mlýn i hráz jsou zcela zatopeny v hloubce 28 m. Oblast původního umístění mlýna byla identifikována pomo-



Obr. 10 Mobilní aplikace zobrazující krajinu před stavbou přehrady, body zájmu a aktuální polohu plavidla (vlevo); vrstevnice odvozené z batymetrického zaměření překrývajícího SMO-5 z roku 1950 a reálná data použitá pro odvození vrstevnic (vpravo)



Obr. 11 Srdce Vltavy a šumavské krajiny – před napuštěním Lipenské přehrady i dnes; Museum Fotoateliér Seidel, archiv Vojtěcha Pavelčíka



Obr. 12 Srdce řeky Vltavy; A – vizualizace naměřených batymetrických dat; B – ortofoto z počátku 50. let 20. století (zdroj: Ministerstvo obrany ČR); C – Císařský povinný otisk map stabilního katastru (zdroj: ÚAZK)

cí webové aplikace vytvořené v rámci projektu, která zobrazuje původní budovy, které byly ztraceny při stavbě Vltavské kaskády. Webová aplikace byla zobrazena na mobilním zařízení se zobrazenou aktuální polohou (viz obr. 10).

Data pro batymetrické mapování byla získána pomocí sonaru Humminbird Helix 8 a následně zpracována v programu ArcGIS Pro. Sonar ukládá data (souřadnice odezvy sonaru) jako textový soubor, který je pak třeba vhodně předzpracovat – před vlastním importem do prostředí ArcGIS. Zpracované body byly interpolovány do výškového rastru a z něj byly následně odvozeny vrstevnice reprezentující topografii před zhroutilím. Zpracovaná oblast a výsledné vrstevnice jsou znázorněny na obr. 10.

Dno Lipenské přehrady je pod vodou od roku 1958. Voda v té době zaplavila nejen budovy nebo železnici, ale i přírodní útvary. Asi nejvýznamnější z nich je tzv. Srdce Vltavy – meandr ve tvaru srdce u Horní Plané. Tento často fotografovaný symbol šumavské části Vltavy leží již 64 let přibližně čtyři metry pod vodní hladinou (obr. 11). Cílem výzkumu bylo zjistit, zda je meandr pod vodou stále viditelný, nebo zda byl v průběhu desetiletí zanesen sedimenty.

Porovnání zpracovaných naměřených dat, Císařských povinných otisků map stabilního katastru a ortofoto z 50. let 20. století (viz obr. 12) ukázala, že ve studovaném území nedošlo k žádnému významnému ukládání sedimentů a tvar a detaily meandru jsou stále jasně viditelné. S nad-

sázkou lze tedy konstatovat, že srdce Vltavy stále bije, i když pod vodou.

#### 4. Výstupy z 3D modelování

Trojrozměrný přístup umožňuje zajímavý pohled na krajinu a rozšiřuje možnosti pochopení souvislostí v krajině. Proto vznikl trojrozměrný model rekonstrukce vltavské krajiny v polovině 19. století – jak v digitálním prostředí, tak jako fyzický model (pro vybrané vodní nádrže).

##### 4.1 Online 3D aplikace znázorňující Vltavské údolí v 19. století

Vizualizace 3D dat je oproti jakékoli 2D vizualizaci náročnější na přenos dat a hardware serveru i koncového uživatele. Pro vizualizaci bylo zvoleno prostředí ArcGIS Online. Pro tvorbu uživatelského výstupu v rámci aplikace ArcGIS Online. Metoda je tedy vhodná i pro 3D scény velkých ploch kulturní krajiny, jako je tomu v našem případě, kdy zájmové území pro trojrozměrné modelování zabírá přibližně 1 670 km<sup>2</sup>. V rámci projektu byly vyhotoveny 2 hlavní aplikace, jedna 2D a jedna 3D, a dodatková porovnávací aplikace zobrazující souběžně synchronizované zobrazení 2D a 3D scén. 2D scéna se zaměřuje především na poskytování georeferencovaných dobových fotografií přímo na mapě (tab. 1).

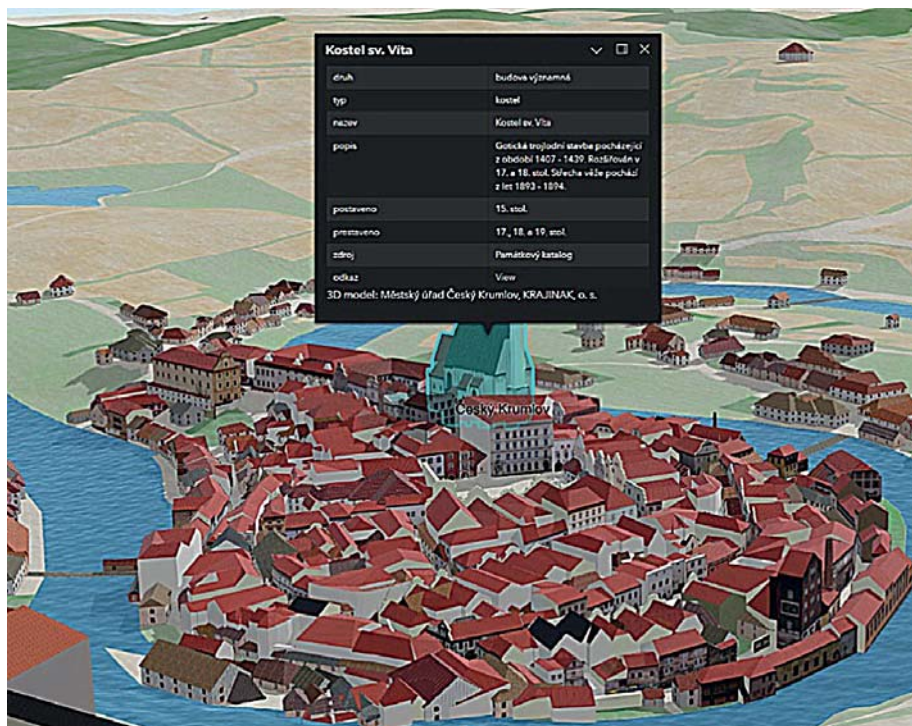
Modely budov byly vždy exportovány jako balíček 3D Object Scene Layer Package – SLPK. Modely významných budov, vytvořené podrobným ručním modelováním v softwaru CAD, byly ukládány jednotlivě, zatímco procedurálně

modelované běžné stavby byly exportovány jako jeden celek. Ačkoliv byl export takového celku (přes 28 000 modelů budov) velmi náročný z hlediska výpočetního výkonu, je výhodný z důvodu možnosti přehlednějšího zobrazení kompletního modelu společného vývoje jako jednoho celku. Následně byly všechny SLPK publikovány jako hostované služby na ArcGIS Online. Digitální model terénu zde byl publikován jako trojrozměrná mapová služba typu Image Service (výškový rastr). Vektorový model starých map byl pokryt nejednotvárnými barevnými texturami znázorňující jednotlivé druhy využití půdy dle Císařských povinných otisků map stabilního katastru (pole, lesy, louky, a další) a následně publikován ve formě rastrových dlaždic. Jednotlivé publikované vrstvy byly v online prostředí zkombinovány a vznikla tak výsledná 3D webová scéna (viz obr. 13).

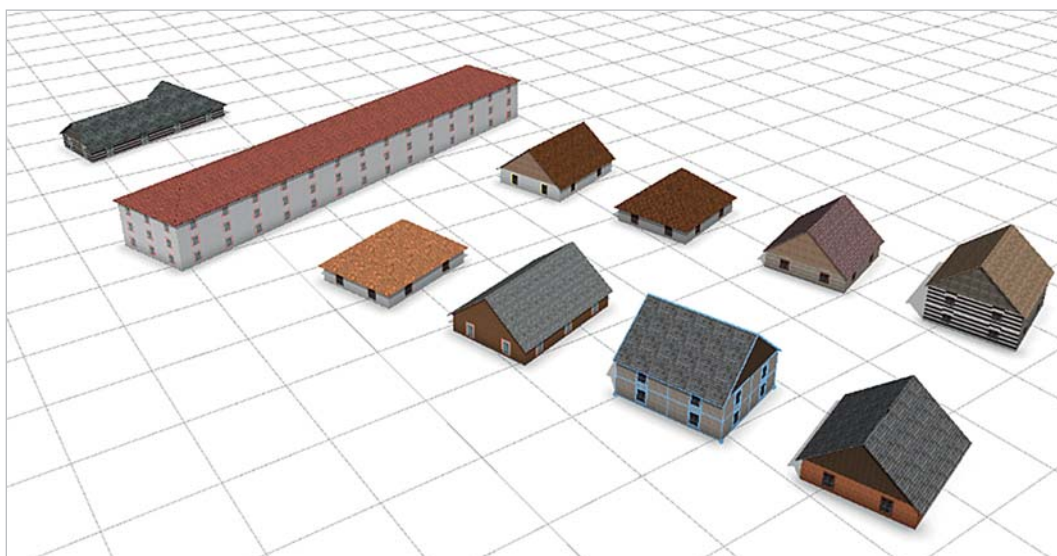
3D modely budov se postupně transformují do podoby, kterou lze použít v nové a pokročilejší 3D scéně. V praxi to znamená úpravu modelů od obecného přibližného vzhledu objektů na konci 19. století až po vzhled ve dvou vybraných časových úsecích. Zásadní úpravy musely být provedeny zejména pro rekonstrukci vzhledu v 1. polovině 19. století. Změny se týkaly např. úpravy střech věží některých církevních staveb, rozsáhlejších úprav pak došlo především na hradech Rožmberk a Zvíkov. Jako podklad pro 3D modelování byly použity nalezené archiválie, zejména historický ikonografický materiál, případně plánová dokumentace. Všechny upravené modely byly importovány do prostorové databáze v GIS, umístěny do souřadnic, opatřeny základními atributovými údaji (název, stručné informace o historii objektu...) a zkušebně publikovány tak, aby byly připraveny k prezentaci v rámci výsledné 3D webové scény (viz atributová tabulka na obr. 13).

Tab. 1 Vrstvy 3D online scény

Název	Typ	Popis
místní názvy – popisky	2D Marker	názvy obcí, měst a významných míst
hladiny hrází	3D objekty	hladiny řeky Vltavy po postavení dílčích hrází Vltavské kaskády
vegetace	3D symbolgie 2D bodové vrstvy	3D modely stromů (lesů)
významné objekty	3D objekty	3D modely významných objektů (kostely, zámky apod.)
hradby České Budějovice	3D objekt	procedurálně modelované hradby okolo Českých Budějovic
ostatní zástavba	3D objekty	procedurálně modelované budovy
podklad	2D rastry	na výběr mezi ortofotem a texturami dle Císařských povinných otisků map stabilního katastru
Český Krumlov	3D modely	modely budov Českého Krumlova s fotografickými texturami
vodstvo	2D vektor	zobrazení vodstva (řeka Vltava, vodní plochy)
komunikace	2D vektor	zobrazení mostů přes řeku Vltavu



Obr. 13 Ukázka části výsledné 3D webové scény – města Český Krumlov na břehu řeky Vltavy v přibližné podobě z 19. století; objekt kostela byl vybrán a jsou zobrazeny informace o jeho atributech



Obr. 14 Procedurální modely budov v CityEngine

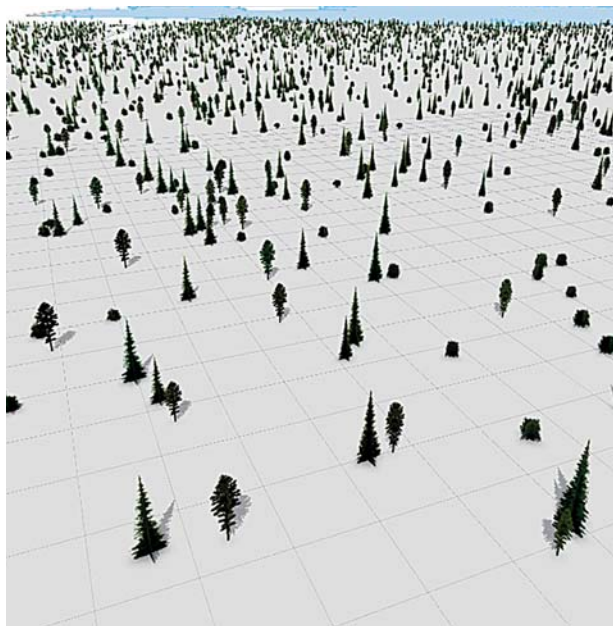
Pro tvorbu modelů 28 000 běžných budov a jejich reprezentaci ve webové scéně bylo využito metody procedurálního modelování. Zde dochází ke automatickému generování modelů na vektorizovaných půdorysech budov získaných z vektorizace map Císařských povinných otisků map stabilního katastru. Automatické generování modelů se řídí takzvaným souborem pravidel, který obsahuje statistické informace o budovách odvozených z dobových dokumentů, fotografií apod. (spád střechy, počet pater, výška patra, typ střechy a další), dále využívá geometrické informace (obvod a obsah půdorysu a jejich po-

měr) a údaje v atributové tabulce jednotlivých budov (typ budovy – spalná, nespalná, významná). Na základě všech těchto údajů dochází k přiřazení hodnot jednotlivých atributů, podle nichž je procedurálně vymodelován výsledný model každé jedné budovy (viz obr. 14).

Ve výsledku byly vytvořeny tři komplexní soubory pravidel, jeden pro modelování vesnic (a obecně „nevýznamných“ budov mimo velká města), jeden pro modelování městských hradeb, a jeden pro modelování měst. S oblastí o rozsahu 1 670 km<sup>2</sup> a s více jak 28 000 budov byly postupně objeveny nedostatky, které vedly k iterativním

úpravám a vylepšením nastavení a hodnot všech parametrů souborů pravidel tak, aby bylo dosaženo věrohodnějšího vzhledu výsledných modelů a přesnějšího výškového umístění na terénu.

Obdobným způsobem byla snaha vygenerovat vegetaci, konkrétně za pomoci procedurálního modelování vygenerovat lesy v CityEngine. Zde byly soubory pravidel rozděleny podle jednotlivých typů lesů (smíšené, listnaté, jehličnaté) a byl vytvořen hlavní soubor pravidel, který dle atributů polygonů lesů sám přiřadil a aplikoval jednotlivé soubory pravidel. Ačkoliv tato snaha byla zprvu úspěšná, vzhledem k rozloze a hustotě objektů docházelo ke generování desítek milionů objektů, což vedlo k dlouho trvajícímu generování (v rámci desítek hodin) jehož výsledkem byly soubory o stovkách GB dat. Takto obrovské soubory nebylo možné importovat do ArcGIS Online a ani výsledná kvalita vygenerovaných lesů nebyla dostatečná (viz obr. 15). Z těchto důvodů byla pro modelování vegetace zvolena možnost využití 3D symbologie přímo v ArcGIS Online, kde po nahrání obyčejné bodové vrstvy (poloha stromů) se k jednotlivým bodům přiřadí 3D model stromů (viz obr. 15).



Obr. 15 Procedurální modely vegetace v CityEngine

Vznikly tak modely vegetace a budov pro časový řez zachycující situaci v první polovině 19. století (obr. 16).

Mapové aplikace jsou k dispozici na adrese <https://vltava.fsv.cvut.cz/mapapp.html>.

#### 4.2 Rekonstrukce předpřehradního údolí Vltavy

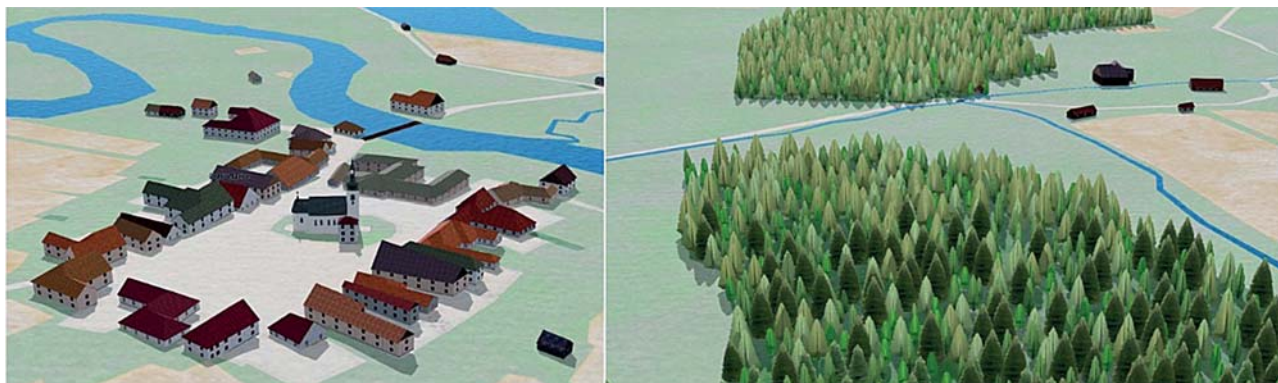
Fyzický 3D model reprezentující zaniklé údolí Vltavy byl vytvořen pro 3 vybrané vodní nádrže – Orlík, Slapy a Lipno.

Rozměry vycházely z maximální délky modelu 4 m a byly stanoveny na  $4 \times 1$  m (Orlík a Slapy) a  $4 \times 1,2$  m (Lipno). Vzhledem k měřítku a čitelnosti topografických podkladů byla měřítko modelů stanovena na 1 : 6 000 (Orlík a Slapy) a 1 : 8 000 (Lipno). Cílem bylo zobrazit plochu současných nádrží, ale vzhledem k rozsahu nebylo reálné pokrýt celou plochu stojaté vody nádrže. Modely však ukazují podstatnou většinu rozlohy nádrže včetně širšího okolí, což představuje plochu  $24 \times 6$  km pro Orlík a Slapy a  $32 \times 10$  km pro Lipno. Pro usnadnění přepravy se každý model skládá ze dvou částí.

Jako podklad pro tvorbu 3D modelů byl použit rekonstrukční digitální model reliéfu odvozený z map SMO-5, který byl představen na začátku této kapitoly. Modely zachycují velmi rozmanitou krajinu, hluboce zařiznutá údolí v rovinaté krajině a pozvolné údolí horního toku obklopené šumavským masivem. Převýšení musí působit přirozeně a zároveň dostatečně akcentovat morfologii krajiny. Pro všechny tři fyzické 3D modely byl zvolen elevační koeficient 2,5. Polohopisná složka původní zaniklé krajiny je reprezentována vektorovým modelem využití území podle Císařských povinných otisků map stabilního katastru. Vektorový model byl částečně zjednodušen sloučením stejných typů povrchů nebo odstraněním drobných ploch. Následně byla z dat vytvořena textura, zachycující zaniklou krajinu v polovině 19. století.

Původně se uvažovalo o moderním 3D tisku. Vzhledem k omezeným maximálním rozměrům výstupů běžně dostupných 3D tiskáren by však takto vytvořený model musel být složen z mnoha dlaždic, bylo by nutné řešit propojení jednotlivých dílů a vyhlazení povrchu. Jako vhodnější byl zvolen způsob frézování povrchu do desky z umělého dřeva Ebazell, které se používá mimo jiné pro architektonické modely. Po opakovaném a stále jemnějším frézování modelů byl povrch očištěn a vyhlazen ručně.

Tradiční metoda ručního překreslování se ukázala jako nejlepší řešení pro aplikaci textury. Pomocí dataprojektoru byla textura promítnuta na model a překreslena na fyzický model. Výsledný 3D model je prezentován na obr. 17.



Obr. 16 Procedurální modely budov a 3D symbologie lesů pro první polovinu 19. století



Obr. 17 Ukázka vytvořeného fyzického 3D modelu vodní nádrže Slapy

## 5. Závěr

V rámci našeho výzkumu je snahou co nejdříve rekonstruovat zaniklou krajinu v oblasti řeky Vltavy. Vrstevnice se v současné době jeví jako nejvhodnější zdroj dat pro rekonstrukci předzátopové topografie, ale s ohledem na rozsah zpracovávaného území a množství vrstevnic nutných pro vektorizaci z jiných datových zdrojů je nezbytný efektivní přístup k této metodě digitalizace. Použitelnost metod vektorizace pomocí metod hlubokého učení na datech SMO-5 potvrdila vhodnost této metody pro automatickou extrakci vrstevnic. V následujících letech projektu bude třeba trénovat neuronové sítě na mapových sadách vojenských map ve vybraných měřítkách. To může být problematické, protože kresba mapy je obecně složitější než v případě map SMO-5.

Na první pohled se může zdát, že využití archivních LMS je velmi efektivní způsob rekonstrukce topografie před vznikem přehrad. Současné zkušenosti však ukazují, že odvození DMP na základě archivních LMS odpovídající kvality bude vyžadovat velmi komplexní přístup k eliminaci mnoha faktorů, které zhoršují kvalitu výsledných odvozených dat.

Batymetrické mapování je standardní metoda pro tvorbu 3D modelu dna vodních nádrží. Dosavadní zkušenosti ukazují, že v současnosti používaný sonar, který zaznamenává data pouze bod po bodu, je méně vhodný pro mapování menších objektů pod hladinou – nebo je nutné pokrýt oblast vysokou hustotou bodů, které je třeba přizpůsobit rychlosti lodi. V budoucnu bude možné otestovat tzv. vícepaprskový sonar, který je schopen zaznamenat mračno bodů.

Tvorba velkoplošného 3D modelu řeky Vltavy s sebou nese různá technologická úskalí. V současné době existují v zásadě dvě možnosti, jak publikovat 3D modely z prostorové geodatabáze tak, aby byly přístupné širokému spektru zájemců ve standardním webovém prohlížeči. První alternativou je exportovat kompletní 3D scénu jako jeden fyzický soubor (formát 3WS) z ArcGIS CityEngine. Výhodou této možnosti je snadná manipulace a přenos jednoho souboru, ale nevýhody převažují. Aby bylo možné výslednou scénu zobrazit, je potřeba ji nahrát do paměti jako celek – načítání dat je ale poměrně pomalé. S tím souvisí i omezený rozsah zobrazované plochy. Kromě toho je export bohatě texturovaných modelů z ArcGIS CityEngine

vysoce nespolehlivý (náhodné chybějící nebo invertované textury). Nutné korektury a opakované exporty činí z tohoto způsobu publikování časově náročnou záležitostí. Z tohoto důvodu byla zvolena modernější metoda publikování výsledků jako 3D webové služby od ArcGIS Pro. Tato volba přináší dynamické načítání obsahu v závislosti na zobrazované oblasti stejným způsobem jako u 2D webových mapových aplikací. Dále byla dokončena vektorizace SMO-5. Výsledný vektorový model bude použit jako podklad pro procedurální modelování ve druhém časovém řezu – těsně před napuštěním vodních nádrží Vltavské kaskády. Jako textura digitálního modelu terénu pro toto období bude použita pseudorealistická symbolika odvozená z map SMO-5.

Komplexní rekonstrukce údolí řeky Vltavy je náročný proces, který vyžaduje širokou škálu technologií a odborných dovedností. S ohledem na rozvoj nových technologií umožňujících efektivní zpracování a vizualizaci prostorových dat je práce na tomto výzkumu neustálým procesem.

**Poděkování:** Publikace byla financována z prostředků Programu na podporu aplikovaného výzkumu v oblasti národní a kulturní identity na léta 2023 až 2030 (NAKI III) Ministerstva kultury ČR v rámci projektu Vltava II – proměny historické krajiny, řeka jako spojnice i bariéra (DH23P03OVV055)“.

## LITERATURA:

- [1] BOLTÍŽIAR, M.–BRŮNA, V.–KŘOVÁKOVÁ, K.: Potential of antique maps and aerial photographs for landscape changes assessment – an example of the High Tatra Mts. *Ekológia*, 2008, 27(1), p. 65–81.
- [2] BRŮNA, V.–KŘOVÁKOVÁ, K.: Stable cadaster as a source of information on landscape. *Historická geografie*, 2005, 33, p. 397–409.
- [3] SKALOŠ, J.–ENGSTOVÁ, B.: Methodology for mapping non-forest wood elements using historic cadastral maps and aerial photographs as a basis for management. *Journal of Environmental Management*, 2010, 91(4), p. 831–843. DOI: 10.1016/j.jenvman.2009.10.013.
- [4] SKALOŠ, J.–WEBER, M.–LIPSKÝ, Z. et al.: Using old military survey maps and orthophotograph maps to analyse long-term land cover changes. Case study (Czech Republic). *Applied Geography*, 2011, 31(2), p. 426–438.
- [5] SKĀNES, H.: Landscape Change and Grassland Dynamics – Retrospective Studies Based on Aerial Photographs and Old Cadastral Maps during 200 years in South Sweden. Stockholm: The Department of Physical Geography, Stockholm University, 1996. Dissertation Series, 8, Papers IeIV.
- [6] TRPÁK, P.–TRPÁKOVÁ, I.: Landscape function analysis based on evaluation of indicator maps and sketches of stable cadastre maps. In: *Krajina 2002: Od poznání k integraci*. 2002, p. 85–91 (in Czech).
- [7] VUORELA, N.–ALHO, P.–KALLIOLA, R.: Systematic Assessment of Maps as Source Information in Landscape-change Research. *Landscape Research*, 2002, 27(2), p. 141–166. DOI: 10.1080/014626390220128631.
- [8] BRŮNA, V.–PACINA, J.–PACINA, J.–VAJSOVÁ, E.: Modelling the extinct landscape and settlement for preservation of cultural heritage. *Città e Storia* [online]. 2014, 9(1), p. 131–153 [cit. 2025-08-06]. Dostupné z: <https://shorturl.at/kzH36>.
- [9] PACINA, J.–NOVÁK, K.–POPELKA, J.: Georelief transfiguration in areas affected by open-cast mining. *Transactions in GIS*, 2012. ISSN 1361-1682. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-9671.2012.01339.x/abstract> [cit. 2025-08-06].
- [10] HUGHES, M. L.–MCDOWELL, P. F.–MARCUS, W. A.: Accuracy assessment of georectified aerial photographs: Implications for measuring lateral channel movement in a GIS. *Geomorphology*, 2006, 74(1–4), p. 1–16. DOI: 10.1016/j.geomorph.2005.07.001.
- [11] LANE, S. N.–WESTAWAY, R. M.–HICKS, D. M.: Estimation of erosion and deposition volumes in a large, gravel-bed, braided river using synoptic remote sensing. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2003, 28(3), p. 249–271. DOI: 10.1002/esp.483.

- [12] PULIGHE, G.–FAVA, F.: DEM extraction from archive aerial photos: Accuracy assessment in areas of complex topography. *European Journal of Remote Sensing*, 2013, 46(1), p. 363–378. DOI: 10.5721/eujrs20134621.
- [13] PACINA, J.–LENDÁKOVÁ, Z.–ŠTOJDL, J. et al.: Dynamics of Sediments in Reservoir Inflows: A Case Study of the Skalka and Nechanice Reservoirs, Czech Republic. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2020, 9(4), 258. DOI: 10.3390/ijgi9040258.
- [14] SEVARA, C.–VERHOEVEN, G.–DONEUS, M.–DRAGANITS, E.: Surfaces from the Visual Past: Recovering High-Resolution Terrain Data from Historic Aerial Imagery for Multitemporal Landscape Analysis. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 2017, 25, p. 611–642. DOI: 10.1007/s10816-017-9348-9.
- [15] CANTORO, G.: Aerial Reconnaissance in Archaeology – from Archives to Digital Photogrammetry. In: *Best Practices of Geoinformatic Technologies for the Mapping of Archaeolandscape*. Oxford: Archaeopress Publishing, 2015, p. 103–114.
- [16] COWLEY, D. C.–STICHELBAUT, B. B.: Historic Aerial Photographic Archives for European Archaeology. *European Journal of Archaeology*, 2012, 15(2), p. 217–236. DOI: 10.1179/1461957112y.0000000010.
- [17] COWLEY, D. C.–FERGUSON, L.–WILLIAMS, A.: The aerial reconnaissance archives: a global aerial photographic collection. In: HANSON, W. S.–OLTEAN, I., eds. *Archaeology from historical aerial and satellite archives*. New York: Springer, 2013, p. 13–30.
- [18] PACINA, J.–CAJTHAML, J.–KRATOCHVÍLOVÁ, D. et al.: Pre-dam valley reconstruction based on archival spatial data sources: Methods, accuracy, and 3D printing possibilities. *Transactions in GIS*, 2022, 26(1), p. 385–420. DOI: 10.1111/tgis.12854.
- [19] IOSIFESCU, I.–TSORLINI, A.–HURNI, L.: Towards a comprehensive methodology for automatic vectorization of raster historical maps. *e-Perimetron* [online]. 2016, 11(2), p. 57–76 [cit. 2025-08-06]. Dostupné z: [http://www.e-perimetron.org/Vol\\_11\\_2/iosifescu\\_et\\_al.pdf](http://www.e-perimetron.org/Vol_11_2/iosifescu_et_al.pdf).
- [20] SALVATORE, S.–GUITTON, P.: Contour line recognition from scanned topographic maps. *Journal of WSCG* [online]. 2004, 12(1–3), p. 419–426 [cit. 2025-08-06]. Dostupné z: [http://wscg.zcu.cz/wscg2004/Papers\\_2004\\_Full/K13.pdf](http://wscg.zcu.cz/wscg2004/Papers_2004_Full/K13.pdf).
- [21] ABLAMEYKO, S.–BEREISHIK, V.–HOMENKO, M. et al.: Automatic/interactive interpretation of color map images. In: *Object Recognition Supported by User Interaction for Service Robots*, 2002, 3, p. 69–72. DOI: 10.1109/icpr.2002.1047797.
- [22] KRATOCHVÍLOVÁ, D.–CAJTHAML, J.: Using the automatic vectorization method in generating the vector altimetry of the historical Vltava river valley. *Acta Polytechnica*, 2020, 60(4), p. 303–312. DOI: 10.14311/AP.2020.60.0303.
- [23] MAXWELL, A.–BESTER, M.–GUILLEN, L. et al.: Semantic Segmentation Deep Learning for Extracting Surface Mine Extents from Historic Topographic Maps. *Remote Sensing*, 2020, 12(24). DOI: 10.3390/rs12244145.
- [24] CAJTHAML, J.–FIALOVÁ, D.–ZIMOVÁ, R.: *Vltava. Proměny historické krajiny*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2022. ISBN 978-80-01-07084-0.
- [25] PACINA, J.–POPELKA, J.: Accuracy of Digital Surface Models derived from archival aerial photographs. Case study for the Czech Republic. *Geoinformatics FCE CTU*, 2017, 16(1), p. 53–62. DOI: 10.14311/gi.16.1.3.

Do redakce došlo: 25. 2. 2025

**Lektoroval:**  
**Ing. Róbert Fencík, PhD.,**  
**Katedra globálnej geodézie a geoinformatiky**  
**Stavebná fakulta STU v Bratislave**