

DIGITALIZACE HISTORICKÉHO ZVONU Z ROKU 1606: INTEGRACE RUČNÍHO 3D SKENOVÁNÍ, FOTOGRAFIE, ZVUKU A AI ANALÝZY TEXTU

Adam Kábrt, Radek Boháč, Lubomír Slavík a Jan Koprnický

Sekce – STROJÍRENSTVÍ

Fakulta strojní, 3. ročník

Bakalářský studijní program – STROJÍRENSTVÍ

Abstrakt: Tento příspěvek se zabývá procesem tvorby digitálního dvojčete historického zvonu z roku 1606, umístěného v kostele Nanebevzetí Panny Marie v Novém Boru, a jeho následnou aditivní výrobou. Hlavním cílem práce je prezentovat metodiku in-situ digitalizace pomocí ručního 3D skeneru EinScan v nestandardních podmínkách kostelní věže. Kritickým faktorem měření byla nevhodná orientace zvonu (natočení o 90°) a omezený manipulační prostor, což vyžadovalo specifický přístup k registraci mračen bodů a postprocessingu. Získaná prostorová data byla následně využita pro tvorbu fyzického modelu pomocí technologie 3D tisku. Významnou částí práce je aplikace metod umělé inteligence pro automatizovanou extrakci a analýzu nápisů na povrchu zvonu z 2D fotografií. V závěrečné fázi byla provedena akustická analýza zvuku s cílem verifikovat dominantní frekvence a ověřit shodu se jmenovitým tónem d^1 . Výsledek práce představuje ucelený mechatronický rámec pro reverzní inženýrství a dokumentaci technického kulturního dědictví, kombinující precizní metrologii s pokročilým počítačovým viděním.

Klíčová slova: 3D skenování, EinScan, aditivní výroba, počítačové vidění, umělá inteligence, akustická analýza, reverzní inženýrství, digitální dvojče.

1 Úvod

Ochrana a dokumentace kulturního dědictví dnes čím dál častěji spoléhá na metody reverzního inženýrství a bezkontaktní metrologie. Digitální dvojčata historických artefaktů umožňují nejen jejich přesné zachování pro budoucí generace, ale otevírají také nové možnosti pro jejich strukturní, akustickou a vizuální analýzu bez rizika poškození originálu. Mezi nejnáročnější objekty z hlediska digitalizace patří historické kostelní zvony. Tyto specifické mechanicko-akustické zářiče v sobě spojují komplexní geometrii (tzv. žebro zvonu) [7], metalurgickou jedinečnost a historickou hodnotu, která je často reprezentována reliéfní výzdobou a nápisy na jejich povrchu.

Digitalizace *in-situ*, tedy přímo v prostředí kostelních věží, však naráží na řadu technických a prostorových limitů. Příkladem je historický zvon z roku 1606, umístěný v kostele Nanebevzetí Panny Marie v Novém Boru [1, str. 45 a 46], který je předmětem této práce. Hlavní technickou výzvou zde představovala kombinace stísněných prostorových podmínek věže a nestandardní orientace zvonu, který byl v době měření natočen o 90° oproti své původní provozní poloze. Důvod tohoto natočení, jenž na funkci nemá vliv, je otázkou spekulací. Tyto faktory prakticky znemožnily standardní trajektorie ručního 3D skenování a zamezily přímé viditelnosti některých kritických partií těla zvonu. Poslední výzvou byla interpretace historických nápisů na plášti zvonu. Přestože jsou nápisy psané verzálkami fyzicky zachovalé, jejich okamžitá čitelnost je komplikována použitím staročeštiny a specifického historického fontu, což vyžadovalo netradiční přístup k digitalizaci a textové analýze.

Tento příspěvek prezentuje ucelenou mezioborovou metodiku, která tyto limity překonává integrací multimodálního sběru dat, aditivní výroby a metod umělé inteligence. V práci je detailně popsán proces optického 3D skenování pomocí ručního skeneru EinScan za ztížených podmínek, včetně následné pokročilé registrace mračen bodů. Pro rekonstrukci nečitelných textových prvků z 2D obrazových dat byly nasazeny algoritmy počítačového vidění a hlubokého učení. Geometrická přesnost výsledného digitálního dvojčete byla verifikována jeho materiálovou replikací pomocí aditivní výroby (3D tisku). K doplnění všech informací o zvonu, byla provedena bezkontaktní akustická analýza frekvenčního spektra (FFT) z dostupného audiosignálu s cílem ověřit jeho jmenovité ladění d^1 .

Tabulka 1: Technické parametry historického zvonu z roku 1606 [1].

Jméno zvonu	Ladění	Výrobce	Rok výroby	Průměr	Hmotnost
Velký	d^1	Daniel Tapineus Praha-Nové Město	1606	130 cm	cca 1200 kg

2 3D skenování a zpracování dat

2.1 Podmínky měření

Pro digitalizaci historického zvonu byl použit ruční 3D skener EinScan Pro 2X Plus v režimu *Handheld Rapid Scan* [5]. Tento režim představoval vhodný kompromis mezi přesností měření, rychlostí snímání a velikostí výsledných dat. Přestože skener umožňuje také režim *Handheld HD Scan*, jeho použití by bylo vzhledem k rozměrům zvonu a datové náročnosti následného zpracování nepraktické.

Měření probíhalo přímo ve věži kostela Nanebevzetí Panny Marie v Novém Boru. Zvon o hmotnosti přibližně 1,2 t [1] nebylo možné demontovat ani přesunout do laboratorních podmínek. Největší komplikací byla jeho orientace, protože byl natočen o 90° oproti původní pozici, ve které bil v kostele sv. Lazara v Praze než byl převezen koncem 18. století na věž v Novém Boru. Reliéfní části a historické nápisy se tak nacházely v těsné blízkosti nosných sloupů a trámů konstrukce. Na obrázku 1 je patrný stísněný prostor kolem zvonu.



Obrázek 1: Omezený manipulační prostor v okolí zvonu během skenování

2.2 Průběh skenování

Skenování nebylo možné provést v jednom souvislém průchodu. Jednotlivé části zvonu proto byly snímány samostatně z několika různých pozic za využití žebříku a omezeného prostoru mezi konstrukčními prvky věže. Problematické byly zejména oblasti s reliéfy, kde bylo nutné dodržet vhodnou pracovní vzdálenost skeneru od povrchu.

Jako počáteční referenční oblast byl zvolen reliéf ještěřky nacházející se v dolní části zvonu na obrázku 2. Během měření se však ukázalo, že geometricky podobné části povrchu způsobují problémy při registraci skenů. Z tohoto důvodu byly na povrch doplněny referenční značky (markery) usnadňující orientaci skeneru a následné spojování dat.

Pro zvýraznění jemných detailů byl na vybraných částech aplikován dočasný skenovací sprej AESUB Blue, který zlepšil kontrast reliéfních prvků a stabilitu skenování.



Obrázek 2: Detailní pohled na reliéf ještěřky u spodní hrany zvonu

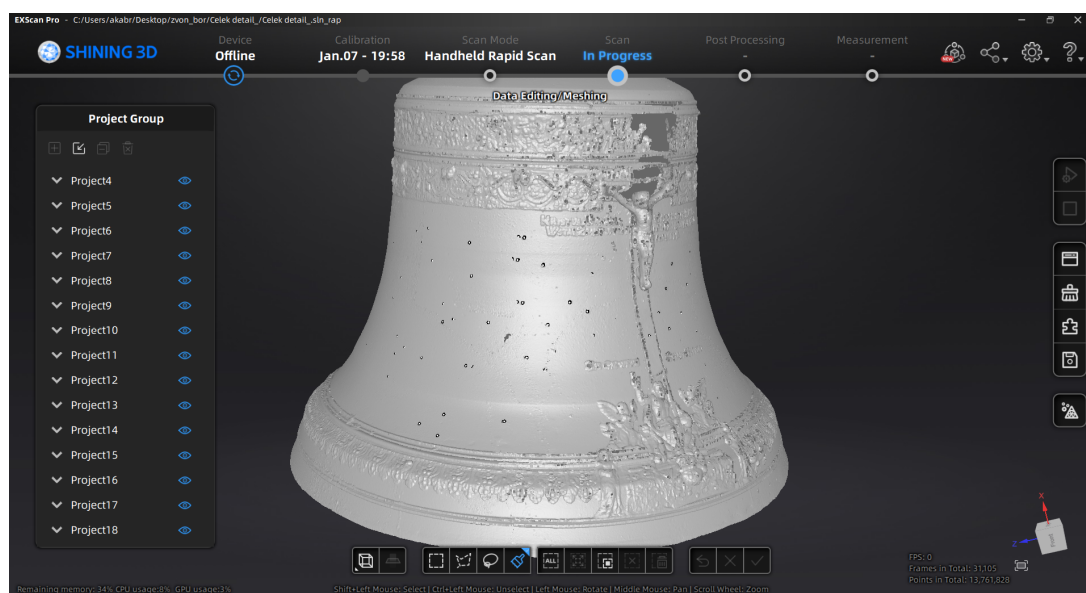
2.3 Zpracování dat

Celkem bylo pořízeno přibližně 20 samostatných skenů. Po každé části měření byla data průběžně kontrolována a v případě nedostatečného překryvu bylo nutné některé oblasti znovu přeměřit. Jednotlivé skeny byly následně spojeny v programu EXScan Pro pomocí funkce *Align*.

Celkový objem dat dosahoval přibližně 87 GB, což výrazně zvyšovalo nároky na výpočetní techniku i následný postprocessing. Podle doporučení výrobce skeneru EinScan má výkon procesoru vliv na rychlost zpracování dat, větší kapacita operační paměti umožňuje práci s rozsáhlejšími datovými soubory a pro provoz softwaru je vyžadována grafická karta NVIDIA s podporou CUDA jader [6]. Tyto nároky se projeví zejména při registraci většího počtu skenů, čištění dat a tvorbě výsledné polygonální sítě.

Přestože se podařilo zdigitalizovat převážnou část pláště zvonu, dvě lokalizované oblasti zůstaly z důvodu geometrického stínění pro skener nezachyceny. Tento deficit lze potenciálně řešit mechanickým otiskem reliéfu a jeho laboratorním naskenováním, případně fyzickým pootočením zvonu o 90° do původní provozní polohy ze 17. a 18. století (což by však vyžadovalo zhodnocení rizik s ohledem na stabilitu historické stolice).

Z hlediska celkové geometrie zatím zůstává nenasnímána vnitřní dutina zvonu včetně srdce. Pro další analýzy by bylo nezbytné tyto plochy nasnímat, abychom získali plně digitální dvojče.



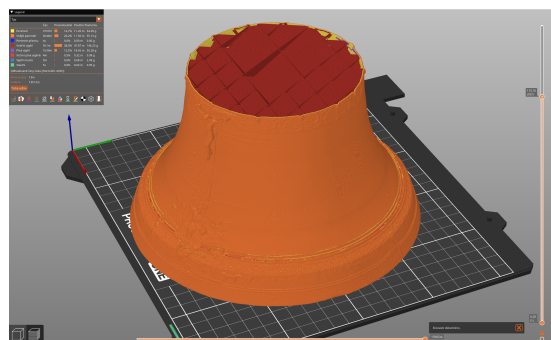
Obrázek 3: Registrace jednotlivých skenů a tvorba výsledného modelu v softwaru EXScan Pro

2.4 Realizace 3D tištěné zmenšeniny zvonu

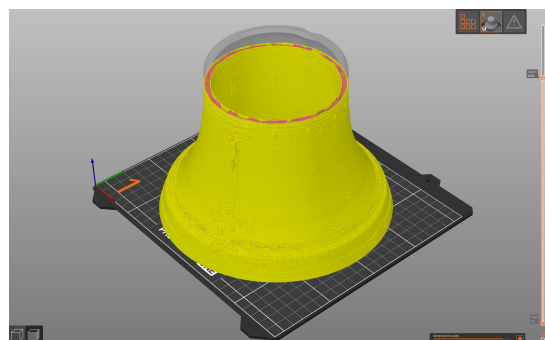
Po dokončení 3D skenování a základních opravách výsledného STL modelu byl digitální model dále využit pro tvorbu fyzické zmenšeniny zvonu. Původním záměrem nebyla pouze výroba prezentačního modelu, ale také návrh prakticky využitelného předmětu, který by mohl být umístěn přímo v prostoru kostela. Z tohoto důvodu byla zvolena podoba zmenšeného zvonu sloužícího zároveň jako *kasička*.

Výchozí STL model byl importován do softwaru PrusaSlicer, kde byly provedeny úpravy potřebné pro 3D tisk. Původní model představoval plné těleso, které by bylo z hlediska spotřeby materiálu i doby tisku nevhodné. Proto byla využita funkce pro vytvoření dutého modelu, běžně dostupná v režimu přípravy SLA tisku. Pomocí této funkce byl model převeden na dutou skořepinu s definovanou tloušťkou stěny [4]. Tím vznikl vnitřní prostor potřebný pro funkci kasičky a současně došlo ke snížení materiálové náročnosti tisku. Následně byl model zvětšen na maximální možný rozměr odpovídající tiskovému prostoru tiskárny Prusa CORE One.

Po vytvoření duté varianty bylo třeba model doplnit o funkční prvky odpovídající zamýšlenému využití. Do horní části modelu byl vytvořen otvor pro vkládání mincí. Současně bylo



(a) Původní plný model zvonu v prostředí PrusaSlicer



(b) Dutý model zvonu připravený pro funkci kasičky

Obrázek 4: Porovnání původního plného modelu a upravené duté varianty pro 3D tisk

nutné navrhnout způsob, jak bude možné obsah kasičky později vybrat, aniž by došlo k poškození vytištěného modelu. Proto bylo ve spodní části zkonstruováno uzavíratelné víčko se závitem.

Závitové víčko bylo vymodelováno v prostředí Fusion 360. Vytvořená geometrie byla následně využita jako negativní objem pro úpravu těla zvonu v PrusaSliceru. Díky tomu vzniklo ve spodní části modelu závitové uložení, do kterého bylo možné víčko našroubovat. Po vytištění těla zvonu byla provedena kontrola vzájemného sesazení obou částí. Na základě této zkoušky byla následně upravena velikost závitu na víčku tak, aby spoj lépe odpovídal skutečně vytištěnému otvoru v těle kasičky.

Finální víčko v těle zvonu drží velmi pevně a jeho uvolnění vyžaduje použití speciálního otvíracího přípravku. Toto řešení omezuje riziko samovolného otevření a zároveň umožňuje opakované vybrání obsahu kasičky. Výsledkem je funkční zmenšenina historického zvonu, která propojuje digitální dokumentaci kulturního dědictví s praktickým využitím 3D tisku.

Tento postup ukazuje, že data získaná 3D skenováním mohou být využita nejen pro archivaci a odbornou dokumentaci, ale také pro tvorbu fyzických modelů s prezentační a popularizační funkcí. V případě historického zvonu umožňuje 3D tištěná zmenšenina přiblížit tvar, proporce a reliéfní výzdobu objektu veřejnosti bez nutnosti manipulace s originálem.



Obrázek 5: Vytištěná zmenšenina historického zvonu upravená do podoby kasičky

3 Ověření možností AI při analýze nápisů a symbolů

Vedle 3D digitalizace zvonu bylo provedeno také orientační ověření možností využití umělé inteligence při čtení nápisů a interpretaci reliéfní výzdoby. Tato část měla experimentální charakter a nebyla zamýšlena jako náhrada odborného epigrafického nebo historického posouzení, které bylo provedeno například v práci [1]. Cílem bylo ověřit, zda může AI agent pomoci při prvotní orientaci ve fotografickém materiálu, při vyhledání čitelných částí nápisu a při formulaci pracovních hypotéz.

3.1 Použitý postup a vstupní data

Pro tento účel bylo využito AI prostředí Codex (ChatGPT 5.5 Pro) od společnosti OpenAI [3]. Do složky projektu byly nahrány pouze fotografie zvonu, zejména snímky nápisových polí, reliéfů a detailů výzdoby. Agent měl možnost s těmito soubory pracovat jako s projektovým materiálem, porovnávat jednotlivé snímky mezi sebou a současně využívat dostupné internetové zdroje pro dohledání širšího historického nebo ikonografického kontextu. Nebyly poskytnuty žádné informace o umístění zvonu a o daném kostele. Výsledkem byl pracovní text, který obsahoval pokus o předběžné čtení nápisu, určení vybraných symbolů a formulaci několika historických hypotéz.



Obrázek 6: Příklad pořízené fotografie hlavního nápisu

Při porovnání výstupu AI agenta se skutečným zněním nápisu se ukázalo, že agent správně rozpoznal některé základní informace. Určil dataci zvonu do roku 1606, český jazyk nápisu a starší pravopisné podoby, například užití znaku W ve významu dnešního V nebo zápis RZ pro hlásku Ř. Dále správně zachytil, že nápis souvisí s řeznickým pořádkem a pražským prostředím. To odpovídá skutečnému textu, podle něhož byl zvon slit a dokonán léta Božího 1606 „pro čest a chválu Boží“ a „pro zbuzení lidu poslouchání slova Božího“ vlastním nákladem poutivého řeznického pořádku Nového Města pražského pro kostel svatého Lazara.

Hlavní dochovaný nápis má toto znění [1, str. 45 a 46]:

*LETHA BOZIHO 1606 TENTO ZWON SLIT A DOKONAN GEST, PRO CZIEST
A CHWALV BOZI A PRO ZBVZENI LYDV POSLAVCHANI SLOWA BOZ[iho]
WLASTNIM NAKLADEM, POCZTIWEHO PORZADKV RZEZNICZKEHO NOWEHO
MIESTA PRAZSKEHO. KOSTELV S[vatého] LAZARA ZA PRZEDNICH SPRAWC-
ZVW TEHOZ PORZADKV ONDRZEGE KNOFLICZKA SRNOWCZE Z WARWA-
ZIOWA, YANA KLABY MATIEGE PRZYBISLAWSKIEHO MIKVLASSE HRVBSSE
A YANA PILATA. TOHO CZIASV PISARZE. BVDIZ PAN BVH POCHWALEN AZ NA-
WIEKY AMEN.*

V normalizovaném přepisu lze text číst takto:

Léta Božího 1606 tento zvon slit a dokonán jest pro čest a chválu Boží a pro zbuzení lidu k poslouchání slova Božího, vlastním nákladem poutivého pořádku řeznického Nového Města pražského, kostelu svatého Lazara, za předních správců téhož pořádku Ondřeje Knoflíčka, Srnovce z Varvažova, Jana Klaby, Matěje Přibislavského, Mikuláše Hrubše a Jana Piláta, toho času písaře. Budiž Pán Bůh pochválen až na věky. Amen.

3.2 Limity a chybné závěry AI agenta

Současně se však projeví významné limity tohoto postupu. Nejzásadnější chybou bylo nesprávné určení lokality. AI agent spojil zvon s chrámem Zvěstování Panny Marie ve Šternberku, ačkoli zkoumaný zvon se nachází v kostele Nanebevzetí Panny Marie v Novém Boru. Na základě tohoto chybného určení pak agent vytvořil další historické úvahy o vztahu zvonu ke šternberskému kostelu. Tyto závěry jsou proto nepoužitelné, i když samotný nápisový rozbor některých částí byl částečně správný.

Dalším omezením byla neúplnost čtení. AI agent zachytil pouze vybrané fragmenty nápisu, například části odpovídající slovům „tento zvon“, „vlastním nákladem“, „pořádku řeznického“ a „města pražského“. Nedokázal však rekonstruovat úplné znění textu, v němž jsou uvedeny také účel odlití zvonu, kostel svatého Lazara a jména představitelů řeznického pořádku. U ikonografických prvků navíc existuje riziko, že model doplňuje výklad podle obecného náboženského kontextu, nikoli výhradně podle bezpečně čitelných obrazových detailů.

3.3 Zhodnocení přínosu AI

Z provedení pokusu vyplývá, že AI může být v tomto typu úlohy přínosná především jako podpůrný nástroj pro prvotní průzkum. Dokáže rychle projít větší množství fotografií, upozornit na potenciálně čitelné části nápisu, navrhnout možné varianty čtení a dohledat související kontext. Její výstupy však musí být považovány pouze za pracovní hypotézy. Definitivní čtení nápisu musí vycházet z přímé kontroly fotografií, 3D modelu, případně odborného epigrafického posouzení a porovnání s ověřenými historickými zdroji.

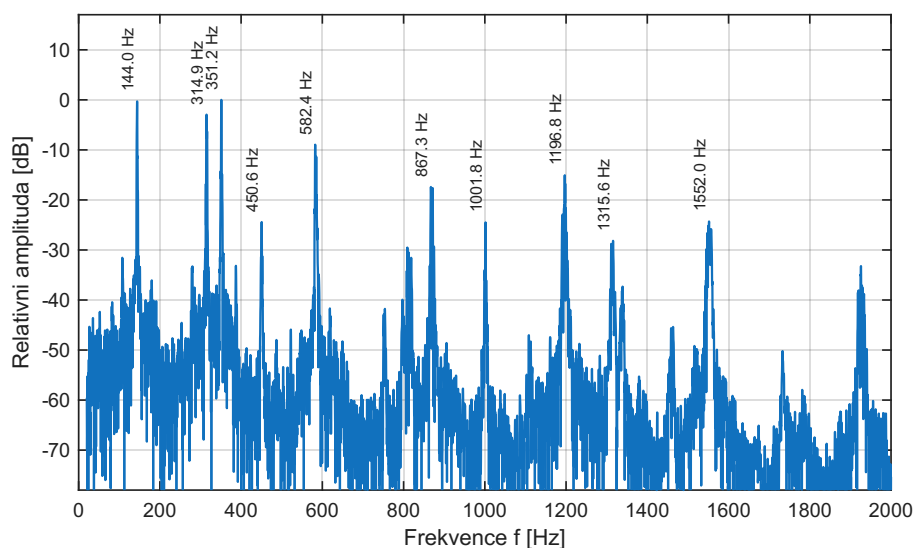
Využití AI agenta se tedy ukázalo jako užitečné nikoli proto, že by samo poskytlo spolehlivý přepis nápisu, ale proto, že pomohlo systematizovat materiál a urychlit formulaci otázek pro další ověřování. Zároveň tento pokus dobře ukazuje nutnost kritické kontroly: AI může správně rozpoznat dílčí fragmenty, ale při chybném kontextu z nich může odvodit nesprávný historický příběh.

4 Analýza zvuku

Součástí digitalizace historického zvonu byla také základní akustická analýza jeho zvuku. Cílem této části bylo ověřit, zda lze z dostupného zvukového záznamu určit hlavní frekvenční složky zvonu a porovnat je s uváděným laděním d^1 [1]. Analýza tak představuje doplňkový způsob ověření vlastností zvonu vedle jeho prostorové digitalizace a obrazové dokumentace.

Zvukový signál byl zpracován v prostředí MATLAB. Z původní nahrávky byl vybrán úsek odpovídající jednomu izolovanému úderu zvonu, aby do výsledného spektra nebyly výrazně promítnuty opakované údery, dozvuky předchozích úderů a případné amplitudové modulace. Vstupní signál byl převeden na mono stopu, normalizován a následně zpracován pomocí rychlé Fourierovy transformace (FFT) [8]. Před výpočtem spektra bylo použito Hannovo okno, které omezuje vliv ostrého oříznutí analyzovaného časového úseku. Výsledné spektrum na obrázku 7 bylo zobrazeno v relativních decibelech, přičemž nejsilnější detekovaná frekvenční složka byla normalizována na hodnotu 0 dB. Osa amplitudy tedy nevyjadřuje absolutní hladinu akustického tlaku, ale relativní úroveň jednotlivých frekvenčních složek vůči maximu spektra.

Ve spektru izolovaného úderu byly identifikovány dominantní frekvenční složky. Nejnižší výrazná složka byla zjištěna přibližně na frekvenci 144,0 Hz. Další významné složky se nacházejí především v oblasti přibližně 315 Hz, 351 Hz, 451 Hz, 582 Hz, 867 Hz, 1002 Hz, 1197 Hz a 1552 Hz. Tyto frekvence tvoří přesnou řadu celočíselných násobků základní frekvence, což odpovídá obvyklému neharmonickému charakteru zvonového spektra.



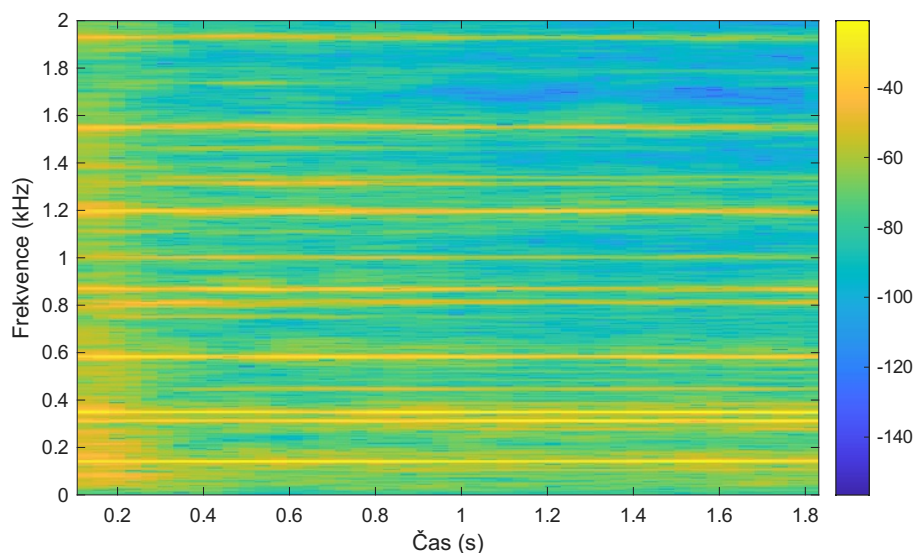
Obrázek 7: FFT spektrum izolovaného úderu zvonu. Osa amplitudy je normalizována k nejsilnější frekvenční složce spektra.

Z hlediska určení tónu zvonu je významná zejména nejnižší výrazná složka v oblasti 144 Hz. Při porovnání s rovnoměrně temperovaným laděním pro referenční tón $a^1 = 440$ Hz leží tato frekvence nejbližší tónu d^0 (malé d), jehož teoretická frekvence je přibližně 146,83 Hz.

Je nutné zdůraznit, že u zvonů nelze frekvenční složky interpretovat stejným způsobem jako harmonické tóny například struny. Zvon je těleso s komplexní geometrií a jeho vlastní kmity vytvářejí soustavu parciálních tónů, jejichž frekvence obecně nejsou přesnými násobky jedné základní frekvence. Vnímáný tón zvonu, označovaný také jako úderový tón, proto nemusí být totožný s nejsilnější frekvenční složkou ve spektru. V tomto případě je nejsilnější složka detekována přibližně v oblasti 351 Hz, avšak nejnižší výrazná složka leží v oblasti 144 Hz, tedy těsně pod hranicí tónu d^0 .

Pro kontrolu časového chování jednotlivých frekvenčních složek byl kromě FFT spektra vytvořen také spektrogram na obrázku 8. Ten umožňuje sledovat, které parciální tóny jsou přítomny pouze krátce po úderu a které dozívají po delší dobu. Ve spektrogramu jsou patrné stabilní vodorovné pásy odpovídající dlouhodobě dozívajícím parciálním tónům zvonu. To potvrzuje, že analyzované frekvenční složky nejsou pouze náhodným šumem nebo krátkým nárazovým přechodem, ale souvisejí s vlastním kmitáním těla zvonu.

Provedená analýza ukazuje, že zvuk zvonu je tónově blízký tónu d^0 , respektive malému d , pokud je použito běžné hudební značení s referenčním tónem $a^1 = 440$ Hz. Výsledek je tedy v obecné rovině slučitelný s tvrzením, že zvon je laděn do tónu d . Při přesném zápisu d^1 (jednočárkované d) uváděném v literatuře je však třeba brát v úvahu použité oktávové značení, protože v současném českém hudebním systému odpovídá d^1 frekvenci přibližně 293,66 Hz. Naměřená nejnižší výrazná složka 144 Hz odpovídá spíše tónu o oktávu nižšímu (d^0). Z tohoto důvodu je vhodné formulovat výsledek opatrně: analyzovaný zvon vykazuje dominantní nízkou frekvenční složku blízkou tónu d^0 a jeho spektrum plně odpovídá specifickému neharmonickému charakteru historického renesančního zvonu.



Obrázek 8: Spektrogram izolovaného úderu zvonu zobrazující časový vývoj hlavních parciálních tónů.

5 Závěr

Předložená práce úspěšně demonstruje ucelenou metodiku digitální dokumentace a reverzního inženýrství historických artefaktů v nestandardních in-situ podmínkách. Kombinací moderních metrologických metod, aditivní výroby a pokročilého zpracování signálů se podařilo překonat specifické logistické a prostorové limity, kterými byla zejména nevhodná prostorová orientace zvonu z roku 1606 ve věži kostela Nanebevzetí Panny Marie v Novém Boru nebo absence lokální elektrické sítě.

V rámci pilotního projektu bylo úspěšně vytvořeno částečné digitální dvojče pláště zvonu pomocí ručního 3D skeneru EinScan. Získaná prostorová data posloužila jako exaktní podklad pro přípravu tiskových dat a následnou aditivní výrobu zmenšené fyzické repliky. Další součástí výzkumu byla akustická validace systému. Pomocí rychlé Fourierovy transformace (FFT) a spektrogramu byly identifikovány klíčové parciální tóny zvonu. Naměřená frekvence nejnižší výrazné složky (144 Hz) potvrdila, že zvon vykazuje neharmonickou strukturu s dominantním

spodním tónem blízkým tónu d^0 (v malé oktávě). Tento fakt bude ještě předmětem budoucí diskuse s kampanology, autory knihy [1], zda se jedná o deklarované jmenovité ladění d^1 , případně jaké jsou v této oblasti referenční standardy.

Hlavní přínos práce spočívá ve vytvoření replikovatelného mezioborového rámce, který najde bezprostřední využití v oblasti ochrany, katalogizace a nedestruktivní diagnostiky technického kulturního dědictví. Navržená metodika digitálního uchování získává na významu i v kontextu aktuálních rizik spojených s vandalismem historických artefaktů [2]. Výstupy projektu mají navíc silný popularizačně-naučný potenciál. Vytvořená fyzická replika a digitální vizualizace umožní široké veřejnosti bezprostřední interakci s jinak nepřístupným historickým objektem, což bude prakticky demonstrováno v rámci nadcházející celorepublikové akce *Noc kostelů 2026*. Předložená metodika tak otevírá prostor pro potenciální navazující etapy. Ty mohou zahrnovat jak technologické dokončení plného 3D modelu včetně vnitřní dutiny zvonu pro simulační účely, tak i diskuzi nad dalším mezioborovým využitím získaných dat v oblasti počítačové paleografie či pokročilé fotogrammetrie, v úzké kooperaci se specialisty na kampanologii.

Literatura

- [1] LUNGA, Radek; REJŠEK, Radek. *Zvony Litoměřické diecéze*. 1. vyd. Praha: Karmelitánské nakladatelství, 2025. ISBN 978-80-7566-562-1.
- [2] MACH, Jiří; FREIWILLIGOVÁ, Blanka. V bazilice v Podještědí ukradli lebku svaté Zdislavy. *Novinky* [online]. 2026, roč. 2026 [cit. 2026-05-25]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/clanek/krimi-v-bazilice-v-podjestedi-ukradli-lebku-svate-zdislavy-40577826>.
- [3] OPENAI. *Codex* [online]. 2026. [cit. 2026-05-26]. Dostupné z: <https://developers.openai.com/codex>.
- [4] PRUSA RESEARCH. *Hollowing* [online]. Prusa Research, 2025. [cit. 2026-05-25]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/article/hollowing_117285.
- [5] SHINING 3D. *EXScan Pro User Manual: Device Introduction* [online]. SHINING 3D, 2025. [cit. 2026-05-25]. Dostupné z: <https://docs.shining3d.com/einscanpro/4.0.1/2xv2/en-us/device/>.
- [6] SHINING 3D. *PC requirements for EinScan Pro 2X and 2X Plus* [online]. SHINING 3D, 2025. [cit. 2026-05-26]. Dostupné z: <https://support.einscan.com/en/support/solutions/articles/60000684717-pc-requirements-for-einscan-pro-2x-and-2x-plus>.
- [7] ŠEBÍK, Marek; STÁREK, Miroslav; SMUTNÝ, Jaroslav. Zvon v pohybu a zvuku – příběh psaný rovníci. *Příběh psaný rovníci | SVS FEM s.r.o* [online]. 2025 [cit. 2026-05-27]. Dostupné z: <https://www.svsfem.cz/zvon>.
- [8] THE MATHWORKS, INC. *fft: Fast Fourier transform* [online]. 2026. [cit. 2026-05-26]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/fft.html>.