

Nedestruktivní průzkum vnitřní struktury knižní vazby pomocí rentgenového záření

Nondestructive survey of bookbindings structure using X-ray radiation

Ing. Petra Vávrová, Ph.D., Mgr. Jitka Neoralová, Dana Hřebecká, Ing. Kristýna Kohoutová, MgA. Anna Kulíčková, Bc. Marie Matysová, Ing. Daniela Popelková, Tomáš Blecha / Odbor ochrany knihovních fondů, Oddělení vývoje a výzkumných laboratoří, Národní knihovna České republiky (National Library of the Czech republic), Klementinum 190, 110 00 Praha 1, Česká republika

Abstrakt:

Odbor ochrany knihovních fondů Národní knihovny České republiky se dlouhodobě zabývá výzkumem skrytých informací v knihách a knižní vazbě. Využívá nedestruktivních metod, jednou z nich je radiografie. V tomto příspěvku je prezentováno využití radiografie zařízení v Národní knihovně České republiky, dílčí výsledky a obrázky vnitřní struktury knižní vazby.

Toto zařízení bylo pořízeno pro podrobné testování možností a omezení rentgenového záření (RTG) v průzkumu zaměřeném na zviditelnění skrytých prvků, vrstev či poškození ve vrstvách materiálů knižní vazby. Do většiny částí vazební struktury nelze proniknout bez porušení vrchních vrstev. U historických fondů se často vyskytují ve vazbě recyklované materiály, jako rozřezaná pergamenová folia, listy knih, dopisy, makulatura a jiné materiály, které mohou být starší než samotný exemplář. Tyto materiály lze nalézt např. ve hřbetní části pod potahem a jinde v knižní vazbě. V případě historických i novodobých knižních vazeb lze tyto jinak nepřístupné informace s nedočetitelnou hodnotou získat právě pomocí radiografie.

Klíčová slova: rentgenové záření, radiografie, knihovní fondy, knižní vazba, vizualizace

Summary:

The National Library of the Czech Republic, Collection Preservation Division has long been interested in the research of non-visible information in books and bookbindings. We are using non-destructive methods, radiography is one of these study methods. In this article we are presenting the use of our instrument and some results and images of the internal structure of bookbindings.

This device was acquired for detailed testing of X-ray capabilities and limitations in a survey aimed at making hidden elements, layers, or damage in the layers of book binding materials visible. Most parts of the bookbinding structure cannot be reached without breaking the top layers. For historical collections, recycled materials in bookbinding such as parchment folia, book sheets, letters, scrap, and other materials that may be older than the specimen. These materials can be found for example in the spine part under the book cover, or in other parts of the bookbinding. Hidden information with invaluable value of historical and modern bookbindings can be obtained just by radiography.

Keywords: X-ray radiation, radiography, book collection, bookbinding, visualisation

Úvod

Knižní vazby představují bohatý zdroj nejen textových a obrazových informací, ale jsou také fyzickým dokladem uměleckořemeslné tvorby knihaře, dobových trendů technologie výroby a v neposlední řadě dokladem historie vlastní existence odrážející se v defektech z opotřebení a přirozeného rozpadu materiálů. Technologie zhotovení knihy i její poškození jsou často skryty pod vrstvami materiálů a bez invazivního zásahu je lze jen

těžko zjistit. Pomocí prozařovací technologie využívající rentgenové záření lze nedestruktivně proniknout pod povrch vnějších vrstev k vnitřním strukturám a konstrukčním prvkům knižní vazby. V rámci grantového projektu Ministerstva kultury NAKI II s názvem „Využití zobrazovacích metod pro studium skrytých informací v knihách“ bylo vybaveno pracoviště Oddělení vývoje a výzkumných laboratoří Národní knihovny ČR (dále také NK ČR) rentgenovou kabinou, jejíž součástí je zdroj rentgenového záření a digitální detektor typu flat panel. Informace o použitých technologiích, materiálech a jejich stavu jsou zásadní i pro historické, umělecké a vědecké poznání knižní vazby.

Kabinová sestava pro digitální radiografii – rentgenový (RTG) systém – obsahuje stíněnou olověnou kabinu, ve které je umístěn rentgenový generátor pro nižší energie 120 kV a plochý digitální detektor umožňující živý náhled a úpravu obrazu při snímkování i v připojeném počítači. Snímky jsou zpracovávány v originálním softwaru X-Test, který zároveň ovládá zdroj záření, zpracovává obraz a ukládá záznam v podobě statického obrazu i videa. Samotná komora je vybavena elektronicky ovládaným posuvným stolem, umožňujícím pohyb v horizontálním i vertikálním směru.

Toto zařízení bylo pořízeno pro podrobné testování možností a omezení RTG v průzkumu, který se zaměřil na zviditelnění skrytých prvků, vrstev či poškození ve vrstvách materiálů knižní vazby. Možnosti průzkumu knižní vazby *in-situ* jsou velice omezené. Do většiny částí vazební struktury nelze proniknout bez porušení vrchních vrstev. U historických fondů se ve vazbě často vyskytují recyklované materiály, jako rozřezaná pergamenová folia, listy knih, dopisy, makulatura a jiné materiály, které mohou být starší než samotný exemplář. Lze je nalézt ve hřbetní části pod potahem, na deskách, jako křídélka, celé výlepy desek nebo předsádky. Znepřístupněné informace s neocenitelnou hodnotou historických i novodobých vazeb je tak možné získat právě pomocí radiografie.

Pro průzkum knihovních fondů bude vzhledem k materiálovému složení (papír, textil, dřevo, useň, pergamen a v menší míře i kov) využíváno především rentgenové záření o energiích v řádu desítek keV. Zkoumaný objekt je umístěn mezi zdrojem záření a detektorem záření v poloze umožňující získat obraz daného prvku knižní vazby, přičemž snímkování probíhá uvnitř uzavřené, záření stínící, kabiny. Objekt je prozařován zářením produkovaným rentgenkou uloženou v horní části kabiny a obraz je snímán obrazovým detektorem (flat, resp. plochý panel) uloženým ve spodní části kabiny. Stupně šedi v získaném obraze reprezentují vyšší či nižší míru absorpce rentgenového záření v dané části objektu. Tmavší odstíny odpovídají materiálům více pohlcujícím záření (zejm. kovům), světlejší oblasti prezentují materiály záření méně pohlcující (papír, textil, useň atp.). Dalším faktorem určujícím celkové množství absorbovaného záření (a tedy i odstín šedi ve snímku) je také tloušťka prozařovaného materiálu. Stupeň šedi v neposlední řadě závisí i na grafických úpravách, které jsou provedeny po pořízení snímku za účelem zajištění optimální viditelnosti detailů snímkaných prvků.

Součástí řešených úkolů projektu NAKI je výzkum využití rentgenového záření pro studium knih za použití rentgenové kabiny, kterou bylo pracoviště v rámci projektu vybaveno.

Materiály typickými pro knihy jsou papír, textil, dřevo, useň, pergamen a v menší míře i kov, vyskytují se ale například i plasty nebo kost. Vzhledem k odlišným fyzikálním vlastnostem těchto materiálů je pro optimální zobrazení z nich vyrobených prvků knižní vazby, jejich struktury a případných defektů zapotřebí rozdílné nastavení přístrojového vybavení. Zejména se jedná o vhodné nastavení elektrického proudu a elektrického napětí na rentgence, vzdálenost rentgenky od detektoru a vzdálenost rentgenovaného předmětu od detektoru. Zásadní je též zvolení vhodné polohy knihy (popř. pro získání komplexnějších informací postupně více poloh těžké knihy) a vhodné konstrukce, která drží knihu v požadované poloze i vzdálenosti od detektoru, a to včetně vhodných materiálů této konstrukce.

Neméně důležitá je i následná grafická úprava, opět korespondující s prvkem knižní vazby, který chceme zobrazit, a jeho materiálem. Zde se jedná zejména o doostření snímků, úpravu jasu, kontrastu, korekci gama, expozice, vyrovnaní snímku, pro srozumitelnost i např. vyčištění pozadí knihy, otočení a ořez. Nedostatečnou viditelnost požadovaného prvku na snímku lze kompenzovat grafickými úpravami.

1 Nastavení aparatury v Národní knihovně ČR a jeho vliv na možnosti zobrazení

V následujících kapitolách jsou prezentována nastavení vybraných parametrů zařízení umístěného v Národní knihovně ČR a také zjištěné vnitřní struktury knižní vazby, které nejsou bez destrukce knihy viditelné. Restaurátorům či konzervátorům pak tyto zviditelněné informace usnadní rozhodování, jaké kroky bude či nebude nutné pro ochranu knihy provést či jak pečovat o knihu.

V rámci projektu NAKI II s názvem „*Využití zobrazovacích metod pro studium skrytých informací v knihách*“ byl pořízen na základě výběrového řízení IXS1203 rentgenový přístroj s těmito parametry:

Parametr	Hodnota
maximální napětí	120 kV
proud uzavřené lampy v rozsahu	0,05-0,3 mA (36 W)
ohnisko	0,05 mm

Zdroj má regulovatelné napětí sloužící ke generování RTG záření. Plochy digitální XRD 1622 AP14 detektor s aktivní plochou o velikosti 41×41 cm. Rozlišení detektoru 2048×2048 bodů (velikost pixelu 200 μm), energie odpovídající rozsahu napětí 20 kV-15 MV. Digitální detektor snímá obraz v 16bitové hloubce, rychlostí 1 snímek/sec. Samotný snímek je průměrem z osmi snímků. Řídící počítač je vybaven softwarem pro zpracování snímků a řízení zdroje záření. Software X-test je vyvinut dodavatelem, firmou Testima. Umožňuje pořízení statických obrázků i videa. Preciznější úpravy jsou prováděny v softwaru Photoshop. Postupy grafických úprav snímků pořízených pomocí rentgenového záření budou detailně popsány v samostatném, nyní připravovaném, příspěvku.

1.1 Napětí

Použití napětí na rentgence ovlivňuje tvar energetického spektra fotonů produkovaných rentgenkou, tj. fotony jakých energií jsou produkovány a v jakém poměru, ale též ovlivňuje i celkový počet vyprodukovaných částic.

Při použití vyššího napětí na rentgence dochází ke vzniku většího množství fotonů, zároveň se zvyšuje střední energie těchto fotonů i maximální možná energie každého vyprodukovaného fotonu. S rostoucí energií fotonu zároveň typicky roste *polotloušťka*, tj. tloušťka materiálu, kterou projde polovina fotonů ze svazku fotonů o dané energii.

Se zvětšující se tloušťkou materiálu je proto vhodné volit při snímkování vyšší napětí, aby i touto silnější vrstvou materiálu prošel dostatečný počet částic a snímek tedy byl dostatečně světlý.

Se zvětšujícím se protonovým číslem Z prvku klesá polotloušťka pro fotony o konkrétní neměnné energii. Abychom dosáhli obdobné světlosti snímku a aby byly patrné struktury v materiálu, tj. aby materiálem prošel dostatečný počet částic, je tedy nutné se zvyšujícím se protonovým číslem prvku, resp. efektivním protonovým číslem materiálu,

zvýšovat energie procházejících fotonů, tj. zvyšovat napětí. Naproti tomu struktury tvořené materiály s nízkým efektivním protonovým číslem je vhodné zobrazovat při použití nižšího napětí, aby došlo v materiálu k dostatečnému útlumu svazku a struktury byly na snímku rozpoznatelné.

Napětí je v případě aparatury nastavitelné v rozmezí 40–120 kV.

Pro typické materiály používané při výrobě knih lze na základě předběžných výsledků konstatovat následující: Při zobrazování detailů součástí knihy, které jsou tvořeny papírem, textilem (včetně gázy, nití atp.), usní nebo pergamenem, popřípadě tenkou vrstvou dřeva, je vhodné nastavit nižší napětí z daného rozsahu. V případě tenkých vrstev těchto materiálů je nejvhodnější použít napětí 65–70 kV. Pro silnější vrstvy, např. dřevěné knižní desky, jsou kvůli nutnosti prozáření materiálu vhodnější vyšší napětí, přibližně 70–80 kV. Pro kovy je nutné používat vysoká napětí (obvykle 120 kV) – pokud se nevyskytují ve velmi tenkých vrstvách.

Kromě materiálu zkoumaného prvku je nutné brát v úvahu i materiály, které překrývají prvek – napětí musí být dostatečně velké, aby celým objektem prošel dostatečný počet fotonů pro získání kvalitního obrazu. Při umisťování snímkové knihy je nutné dbát na to, aby na snímku byl zobrazen prvek knižní vazby pod úhlem vhodným pro snadnou interpretaci snímku. Nastavení aparatury, ale také vhodnou polohu knihy při snímkování, je nutné konzultovat v rámci interdisciplinárního týmu (odborník v oblasti knižní vazby, grafik, fyzik).

Pomocí průchodu rentgenového záření lze zobrazit přítomnost materiálů i vlastní strukturu materiálu (strukturu textilie, letokruhy dřeva). V některých případech je potřeba vnitřní strukturu ve snímku potlačit, aby nedocházelo ke ztížení interpretace jiných prvků knižní vazby, které se s tímto materiálem na snímku překrývají.

U většiny materiálů používaných k výrobě knih není vnitřní struktura při námi používaných nastaveních aparatury na snímcích viditelná (obvykle proto, že struktura je příliš drobná nebo na snímku příliš málo kontrastní). Při určování materiálu je tedy nutné se orientovat zejména podle míry tmavosti materiálu na snímku ve srovnání s jinými (známými) materiály na snímku viditelnými. Například útvary v lepenkové knižní desce se mohou při napětí 65 kV jevit všechny obdobně výrazné a tmavé, avšak při použití napětí 100 kV je snadné odlišit, ve kterých případech se jedná jen o výraznější nehomogenity a ve kterých případech jde o kovové inkluze, neboť kov je na rozdíl od nehomogenit i při vyšším napětí stále ve snímku výrazně viditelný.

1.2 Proud

Při stejném použití napětí, ale vyšším proudem, má energetické spektrum produkovaných částic stejný tvar, avšak zvyšuje se množství produkovaných částic. Vzhledem k tomu, že při nižších napětích je obecně produkováno menší množství částic než při vyšších napětích a totožném proudem, pro dosažení podobné průměrné tmavosti snímku je nutné při zachování hodnot ostatních parametrů s klesajícím napětím zvyšovat proud.

Pokud je to možné, je vhodné už při snímkování nastavit proud tak, aby byl pořízený snímek přiměřeně světlý. Tato možnost je bohužel zejména při použití nízkých napětí limitována maximálním nastavitelným proudem, který je dán technickými možnostmi aparatury.

V případě aparatury použité v NK ČR a jejího uspořádání v laboratoři je proud nastavitelný v rozmezí 0–300 μA . Pro dosažení dostatečné světlosti snímků při napětích asi 60–80 kV je používán nejvyšší nastavitelný proud 300 μA . Zvláště při napětích 60–65 kV je počet fotonů dopadajících na detektor i v takovém případě nízký, tj. snímky jsou velmi tmavé. Při použití vyšších napětí, ať už z důvodu silnějších vrstev materiálů, nebo materiálů s vyšším efektivním protonovým číslem, je vhodné proud korigovat tak, aby bylo dosaženo vhodné světlosti, respektive tmavosti snímku v zájmové oblasti.

1.3 Vzdálenost knihy od detektoru

Vzhledem k rozbíhavosti svazku fotonů rentgenového záření je při umístění knihy do nenulové vzdálenosti od detektoru snímek pořízen s určitým zvětšením, přičemž toto zvětšení roste se vzdáleností předmětu od detektoru.

Je-li vzorek pokládán přímo na detektor, je vhodné, aby byl detektor pokryt vrstvou ochranného materiálu, který zabrání znečištění detektoru a jeho poškrábání v případě ostrých součástí prozařovaného objektu. Je důležité použít tenkou vrstvu materiálu, který má co možná největší polotloušťku pro fotony využívaných energií, tj. projde jím beze změny pokud možno největší část svazku fotonů. Zároveň by tento materiál neměl mít viditelnou vnitřní strukturu, aby nedocházelo ve snímku k překryvu zkoumaných prvků knihy, což by ztížilo interpretaci snímků. Z materiálů byla jako nejvhodnější vyhodnocena polyesterová folie Melinex o tloušťce 75 μm , která je inertní vůči materiálům knižní vazby a nemění parametry snímku.

Obdobné nároky jako na ochranný materiál klademe i na materiál konstrukce, která bude držet knihu v požadované poloze a požadované výšce nad detektorem. Vzhledem ke hmotnosti knihy jsou však kladeny vyšší nároky na pevnost materiálu knižní vazby, což některé materiály vhodné pro ochranu detektoru zcela či z části vylučuje. Knihu je nezbytné uchytit mimo oblast zobrazovanou na snímku. V takovém případě je možno použít také materiály rentgenové záření silně absorbující.

1.4 Vzdálenost rentgenky od detektoru

Hlavními důvody, proč měnit vzdálenost rentgenky od detektoru, jsou změna velikosti ozařované části detektoru a možnost výraznějšího zvětšení snímkování objektu od detektoru.

Vzhledem k rozbíhavosti svazku fotonů produkovaného rentgenkou dochází, se zvětšující se vzdáleností rentgenky od detektoru, ke zvětšení průměru kruhové ozařované části detektoru, tj. té části detektoru, kde je utvářen obraz. Tohoto jevu při oddálení rentgenky od detektoru může být vhodné využít v případě, že požadujeme snímek celé knihy, jejíž rozměry přesahují ozařovanou část detektoru. Především vzhledem k rozbíhavosti svazku fotonů se zvětšující se vzdáleností rentgenky od detektoru klesá počet částic dopadajících v ozařované části detektoru na jednotku plochy, proto je při větší vzdálenosti rentgenky od detektoru pro získání obdobně světlého snímku nutné použít vyšší proud, popř. vyšší napětí, případně obojí.

Oddálení rentgenky od detektoru umožní umístit předmět do větší vzdálenosti od detektoru, čímž se docílí zaznamenání větší části předmětu, popř. při snímkování celého objektu „po částech“ se zmenší nutný počet snímků pro sestavení obrazu celého objektu. Nevýhodou je tmavší snímek a nutnost zvýšení proudu, přičemž pro nízká napětí už nemusí být možné zvýšit proud dostatečně. V takovém případě je třeba zvýšit napětí, což se může odrazit na sníženém kontrastu v oblasti struktur složených z lehčích prvků.

Vzdálenost rentgenky od detektoru je v případě naší aparatury v současné době nastavitelná v rozmezí 49–92 cm.

Pro zobrazování jemných struktur tvořených lehčími prvky (např. textil atp.) je vhodné snímkovat s co možná největším zvětšením. Ale je potřeba vzít v úvahu také změny, k nimž se přistoupilo během snímkování, jako je nastavení napětí pro dosažení přijatelné (a do vhodné podoby graficky upravitelné) světlosti snímku.

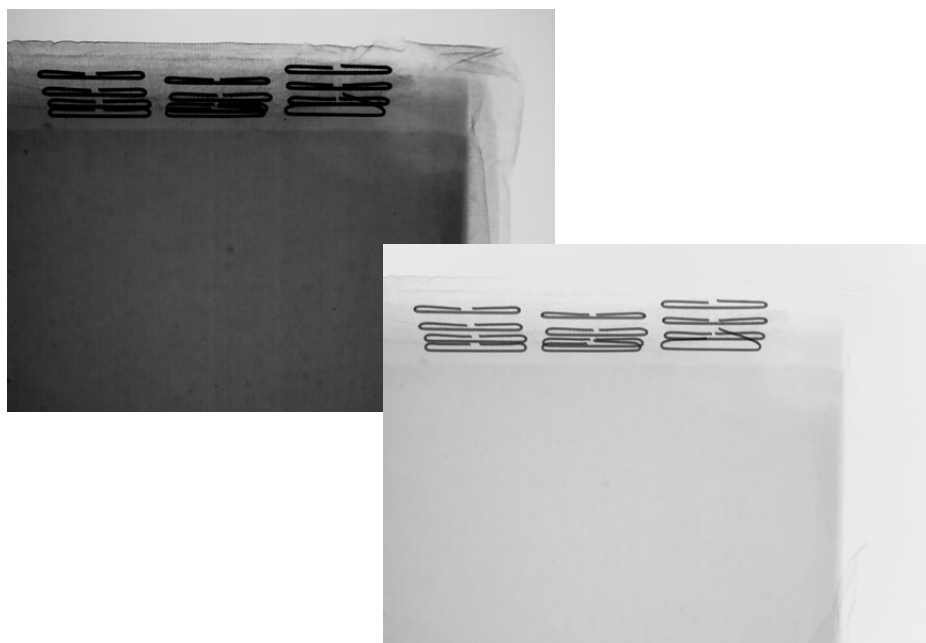
2 Výsledky radiografie knižní vazby – využití a aplikace

Výsledkem radiografie knižní vazby jsou snímky pořízené pracovníkem, které jsou potom základem pro grafickou práci při zkoumání knižních sbírek pomocí rentgenové

soustavy. Každý snímek lze definovat jako čtvercový s viditelným zorným polem rentgenu, tedy zkoumaný objekt je vepsaný do kruhu, jehož ohraničení je černé. Požadovaný výsledný obraz se nachází uvnitř kruhu a ve své první podobě je velmi tmavý. Ke grafické úpravě je dodáno větší množství snímků pořízených při různém nastavení. Při takovém postupu totiž zůstává zachováno největší množství důležitých informací, které následně mohou být zvýrazněny v grafickém programu.

Obraz uložený do formátu tiff. umožňuje zachování vysoké kvality snímku a současně je kompatibilní s programem Adobe Photoshop. Pracovník jej může rovnou otevřít a dále i po úpravách pokračovat v ukládání do tohoto formátu, jelikož jeho hlavní výhodou je zachování vrstev úprav, k nimž je možné se později vrátit.

Dosud byla provedena první část systematického vyhodnocování toho, které materiály a prvky knižní vazby jsou pomocí přístrojového vybavení zobrazitelné, v případě úspěšného zobrazení - jaké nastavení při snímkování a jaké grafické úpravy jsou pro daný materiál a prvek nejvhodnější. Součástí tohoto tématu je i systematický průzkum zaměřený na typ a materiál konstrukce: jaká konstrukce a které materiály jsou vhodné pro držení knihy v požadované poloze a vzdálenosti od detektoru v průběhu snímkování, aby došlo k co možná nejmenšímu ovlivnění obrazu samotným fixačním systémem. Příklady různých nastavení aparatury a grafických úprav pro rozdílné materiály, resp. části knihy, jsou uvedeny na snímcích 1 a 2.



Obr. 1, 2 Kniha při dvou různých nastaveních aparatury, snímky jsou též různým způsobem graficky upraveny. Na prvním snímku je viditelné poškození potahového plátna v oblasti založení na horním okraji knihy (odchlipuje se a shrnuje). Na druhém snímku (obr. 2) jsou lépe viditelné detaily kovových sponek. V obou případech je kniha umístěna 36 cm nad detektorem pokrytým folií, rentgenka 49 cm od detektoru, proud 300 μ A; ozařovací doba pro pořízení snímku je 1 s. První snímek (obr. 1): napětí na rentgence 75 kV; grafická úprava: ořez; korekce gama 1,40; expozice -0,50; jas¹ 70; kontrast¹ 100; jas² 50; kontrast² 100. Druhý snímek (obr. 1): napětí na rentgence 100 kV. Grafická úprava: ořez; jas 70; kontrast 50.

Sämtliche Werke, Anastasius Grün, 19. stol.

3 Typické příklady vhodného zobrazení prvků knižní vazby

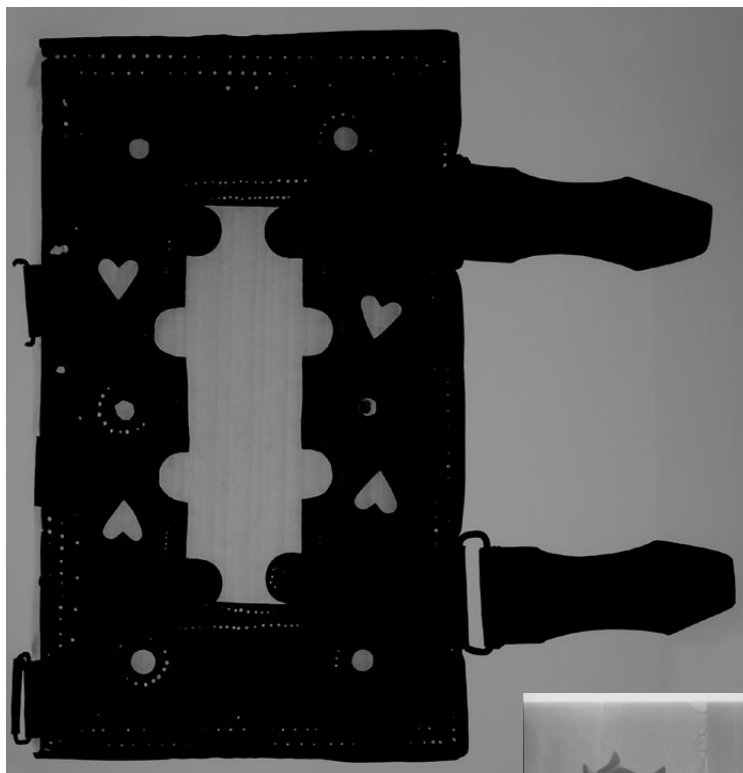
V této kapitole jsou uvedeny konkrétní příklady aplikace výše uvedených principů na konkrétní vzorky knih za účelem nastavení aparatury. Výběr nejvhodnějšího nastavení pro získání optimálního snímku probíhal vizuálním zhodnocením několika snímků pořízených při mírně odlišných nastaveních vybraných na základě zmiňovaných principů. K úpravě snímků došlo po společné diskuzi v interdisciplinárním týmu – rentgenolog, restaurátor, knihář, grafik. Jedná se zde nejen o optimální míru světlosti snímku a vhodný kontrast; jak je zjevné, v některých případech je nutné učinit při volbě nastavení kompromis tak, aby byly uspokojivě splněny všechny požadavky kladené na snímek.

Radiografie slouží k detekci defektů, lze posuzovat stupeň degradace objektu jako takového. Důležitým výsledkem je zjištění způsobu konstrukce vazby, stavu konstrukčních prvků či nepředpokládaných nálezů, např. vložených materiálů či jiných prvků, druhotných oprav či zásahů apod. – to vše bez poškození originálu. Jsou zde prezentovány ukázky konkrétních výsledků získaných touto metodou s popisem vnitřních, skrytých vazebních prvků a struktur – charakteristické prvky a defekty by nebylo bez využití této metody pozorovatelné.

Je prokázáno, že na rentgenovém snímku lze vidět skryté dutiny, kovové úlomky ukryté v papíru, sponky a další kovové objekty, které nemusejí být viditelné na povrchu. Vedle kovových špon v papíru, skvrn oxidů železa v papíru, drátěných sponek spojujících dvoulisty ve složce a jiných skrytých kovových objektů, existuje celá řada kovových prvků, které jsou viditelné. Rovněž v případech viditelných kovových prvků může radiografie přinést nové informace. Kovové prvky jsou vyrobené nejčastěji ze železa, mosazi nebo bronzu. Prvky vyrobené ze železa mohou mít povrchovou úpravu (např. povrchová vrstva niklu) za účelem zvýšení odolnosti proti korozi.

Prostředí knihy a knižního depozitáře je vůči kovům chemicky agresivní. Z papíru, textilií, pergamenu, kůže, lepidel a dalších materiálů se mohou uvolňovat těkavé organické látky, které způsobují korozi. V depozitáři bývá optimální relativní vlhkost vzduchu kolem 50 ± 5 %. Tato kombinace postačuje k tomu, aby koroze kovové prvky poškodila. Kovové prvky mohou být z tenkého materiálu, zpravidla kvůli úspoře hmotnosti a ceny. Jsou-li tenké kovové prvky zeslabeny korozí, jejich pevnost může poklesnout natolik, že nedokážou vzdorovat mechanickému namáhání, kterému jsou v knize vystaveny. Koroze vede k zeslabení materiálu, poklesu jeho pevnosti a migraci korozních produktů do okolí. To je vidět na rentgenogramu. Migrace korozních produktů může negativně ovlivňovat materiál, ze kterého je kniha vyrobena. Rentgenovým zářením je možné pozorovat také materiálové vady v samotných kovových prvcích knižních vazeb. Všechny tyto pozorovatelné jevy umožní odhadnout výskyt zhoršených mechanických vlastností, případně hrozbu snížené životnosti – a to zcela nedestruktivně. Na základě této informace lze lépe zvolit nejvhodnější restaurátorský postup, než kdybychom tuto informaci neměli.

3.1 Knižní deska



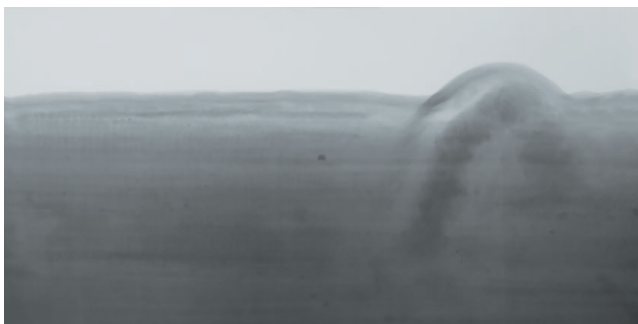
Obr. 3 Samostatná dřevěná deska knihy částečně pokrytá plechem. V oblasti, kde se nevyskytuje kovová vrstva, jsou zobrazeny (pouhým okem neviditelné) letokruhy samotného dřeva. Knižní deska umístěná přímo na detektoru pokrytém folií, rentgenka ve vzdálenosti 49 cm od detektoru, napětí na rentgence 70 kV, proud 300 μ A, ozařovací doba pro pořízení snímku 1s. Grafická úprava: ořez; retuš pomocí nástroje záplata a bodový retušovací štětec; korekce gama 1,50; expozice +2,00; kontrast 100 (aplikace na vnitřní strukturu). Nebeklíč, 19. stol.



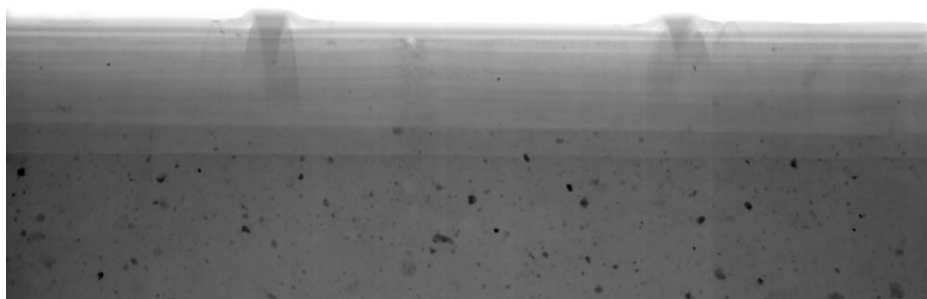
Obr. 4 Přední deska knihy. Deska je pokryta kostěnými plátkami, plastika je přichycena kovovými hřebíčky. Kniha umístěná 36 cm nad detektorem pokrytým folií, rentgenka ve vzdálenosti 64 cm od detektoru, napětí na rentgence 110 kV, proud 300 μ A, ozařovací doba pro pořízení snímku 1 s. Grafická úprava: ořez; úroveň: posun bílé; jas -30; kontrast 100. Albacha Posvátní zvukové, P. J. Herčík, 2. pol. 19. stol.

3.2 Knižní hřbet

Obr. 5 Hřbet knihy šité na pravé vazy. Samotné vazy jsou tvořené jednoduchým motouzem. V mezivazí je patrné přelepení proužky gázy. Na dřevěných deskách jsou dobře patrné letokruhy. Kniha umístěná 36 cm nad detektorem



ve vzdálenosti 49 cm od detektoru, napětí na rentgence 90 kV, proud 300 μ A, ozařovací doba pro pořízení snímku 1 s. Grafická úprava: ořez; retuš pomocí nástroje bodový retušovací štětec; úrovně: posun bílé; jas 32; kontrast 83. *Animadversiones in regulas et usum critices*, R. P. Honorato a S. Maria, 1751.

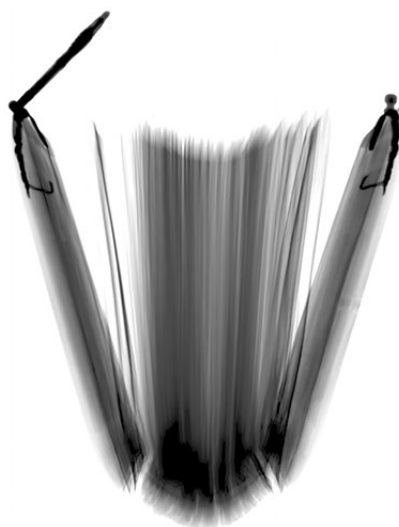


Obr. 6 Hřbet knihy s falešnými vazy. Ve hřbetu je zřetelné nařiznutí pro šití, které je pozičně mimo umístění proužků falešných vazů. Kniha umístěná 66 cm nad detektorem pokrytým folií, rentgenka ve vzdálenosti 79 cm od detektoru, napětí na rentgence 110 kV, proud 300 μ A, ozařovací doba pro pořízení snímku 1 s. Grafická úprava: ořez; jas 150; kontrast 14; úrovně: posun bílé. *Odyssey of Homer*, William Cowper, 1855.

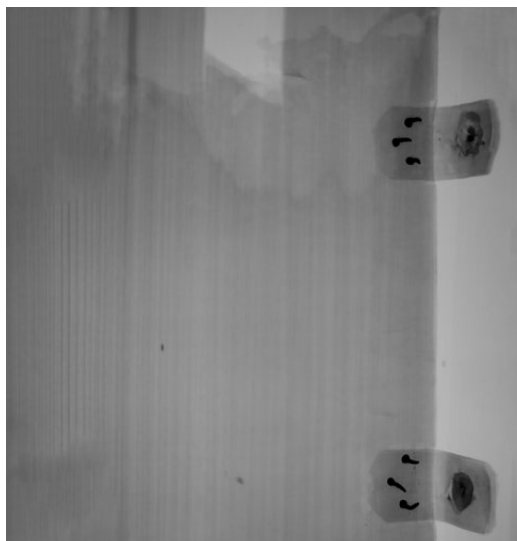
3.3 Spony

Obr. 7 Snímek vertikálně umístěné knihy. Spony jsou ke knižní desce upevněné zahnutým kovovým drátkem. Kniha umístěná přímo na detektoru pokrytém folií, rentgenka ve vzdálenosti 49 cm od detektoru, napětí na rentgence 120 kV, proud 300 μ A, ozařovací doba pro pořízení snímku 1 s. Grafická úprava: ořez; korekce gama 2,00; expozice +1,50.

Pomněnky ve vínek nebeský, Václav Beneš Třebízský, 19. stol.



Obr. 8 Pásky od spon knižní desky. V horní části snímku je patrné poškození dřevěné desky s usňovými páskami od dírkových spon. V usni je patrná migrace železných korozních produktů i upevnění pásek pomocí hřebíčků. Kniha umístěná přímo na detektoru pokrytém folií, rentgenka ve vzdálenosti 49 cm od detektoru, napětí na rentgence 75 kV, proud 300 μ A, ozařovací doba pro pořízení snímku 1 s. Grafická úprava: ořez; úrovně: posun bílé; jas 33; kontrast 100; křivky: zvýšení kontrastu. *Animadversiones in regulas et usum criticas, R. P. Honorato a S. Maria, 1751.*



4 Metody grafické prezentace výsledků ve složitějších případech

V některých případech je při zobrazení okem neviditelných útvarů obtížné určit jejich velikost, zejména pokud v části knihy vyobrazené na snímku nejsou zobrazeny žádné její součásti o známé velikosti. Tento problém lze řešit přiložením měřítka vyrobeného speciálně pro účely radiografie, jak je předvedeno na snímku 9. Měřítko lze použít i pro snímkování velkých knih po částech a následně lze složit více snímků do kompletního obrazu.



Obr. 9 Skrytý prvek v přední desce knihy. Kniha (společně s měrkou s nejmenším dílkem 2 mm jako měřítkem) umístěná 66 cm nad detektorem pokrytým folií, rentgenka ve vzdálenosti 79 cm od detektoru, napětí na rentgence 105 kV, proud 300 μ A, ozařovací doba pro pořízení snímku 1 s. Grafická úprava: ořez; retuš pomocí nástroje záplata a bodový retušovací štětec; korekce gama 1,50; expozice +1,10; jas' 20; kontrast' 100; kontrast² 20. Za černožlutou oponou, Jaroslav Kunz, 1. pol. 20. stol.

Závěr

Nedestruktivní průzkum pomocí radiografie pomůže nedestruktivně detekovat problematický materiál a jeho stav dříve, než dojde k závažným poškozením nejen samotného materiálu, ale celého objektu – knihy. Informace takto získané slouží pro historické, umělecké, vědecké poznání knižní vazby. Radiografie se tak stává významným nástrojem k získání poznatků o knižní vazbě a jejím fyzickém stavu bez destruktivního zásahu. Metodu lze obecně považovat za bezpečnou pro prozařované materiály knižní vazby. Přímé zobrazení sleduje pouze rozptýl částic v závislosti na chemickém složení zkoumaného materiálu. V přímém zobrazení se v části objektu, kterými fotony proletí bez změny energie, jeví jako světlá místa (míru interakce lze posoudit porovnáním s okolím objektu, kde částice nemají s čím interagovat) – což je většinou případ právě papíru a jiných organických materiálů, které neobsahují těžší prvky (jiné než C, N, O, H). Tmavá místa reprezentují části objektu obsahující těžké prvky – kovy (Fe, Cu, ...), prezentují oblasti, kde dochází k interakci primárních částic záření a ke ztrátě jejich původní energie. Čím vyšší je urychlovací napětí, tím menší je interakce s materiálem. Částice, která má dostatečně vysokou kinetickou energii, proletí materiálem, aniž by s ním jakkoli interagovala – ztrácela na své energii. Částice s nižší energií a větší vlnové délky, typicky světelné záření, které je materiál schopen zachytit, vyvolávají větší odezvu s nežádoucími projevy. Radiografie tak představuje pro organické materiály menší zátěž než průzkum v jiných vlnových délkách záření.

V příspěvku jsou shrnuty možnosti metody, její parametry, ale finální zhodnocení metody je možné až po výzkumu; nyní jsou sledovány detekční možnosti a vliv na prozařované materiály. Cílem tohoto článku je představit konkrétní metodu, nikoli ji srovnávat s dalšími metodami nebo je popisovat. Srovnání zobrazovacích metod bude součástí rozsáhlejší práce, například certifikované metodiky, jako výstupu z pětiletého výzkumného projektu. Testování vlivu rentgenového záření na materiály knižní vazby je část dílčí etapy pětiletého výzkumného projektu, který stále probíhá. V současnosti se testovaly možnosti zobrazení jednotlivých materiálů a za jakých podmínek lze získat relevantní informace. V kapitole „*Typické příklady vhodného zobrazení prvků knižní vazby*“ jsou prezentovány ukázky konkrétních výsledků získaných touto metodou – charakteristické prvky a defekty by nebylo bez využití této metody pozorovatelné.

Poděkování

Tato práce byla vytvořena v rámci dotačního programu MK ČR, konkrétně NAKI II č. DG18P02OVV024 s názvem „Využití zobrazovacích metod pro studium skrytých informací v knihách“ (2018–2022).

Literatura

ALFELD, Matthias, et al. A mobile instrument for in situ scanning macro-XRF investigation of historical paintings. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 2013, 28.5: 760–767.

ALFELD, Matthias, et al. Optimization of mobile scanning macro-XRF systems for the in situ investigation of historical paintings. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 2011, 26.5: 899–909.

CREAGH, D. C. a David A. BRADLEY. *Radiation in Art and Archeometry*. Elsevier, 2000.

DUIVENVOORDEN, Jorien R., et al. Hidden library: visualizing fragments of medieval manuscripts in early-modern bookbindings with mobile macro-XRF scanner. *Heritage Science*, 2017, 5.1: 6.

FIALA, P., P. KOŇAS, M. FRIEDL, R. KUBÁSEK a P. ŠMÍRA. X-ray Diagnostics of Wood Invaded by Insect [online]. FEEC VUTBR, 2013 [cit. 16. 10. 2019].

Dostupné z: http://www.measurement.sk/M2013/doc/proceedings/303_Kubasek-2.pdf.

HRADILOVÁ, J., D. HRADIL, O. TRMALOVÁ a J. ŽEMLIČKA, J. Metodika pro vizualizaci vnitřní struktury malířského díla s využitím nových metod na bázi rentgenového záření [online]. Laboratoř ALMA, Akademie výtvarných umění v Praze, Ústav technické a experimentální fyziky ČVUT, 2015 [cit. 16. 10. 2019].

Dostupné z: http://invenio.nusl.cz/record/203455/files/nusl-203455_1.pdf.

OSTERLOH, Kurt RS, et al. Fast neutron radiography and tomography of wood as compared to photon based technologies. In: *Proceedings of DIR 2007 – International Symposium on Digital Industrial Radiology and Computed Tomography*, Lyon, France. 2007. p. 25–27.

PIETIKÄINEN, Markku. *Detection of knots in logs using x-ray imaging*. VTT, Technical Research Centre of Finland, 1996.

POUYET, E., et al. Revealing the biography of a hidden medieval manuscript using synchrotron and conventional imaging techniques. *Analytica chimica acta*, 2017, 982: 20–30.

REDO-SANCHEZ, Albert, et al. Terahertz time-gated spectral imaging for content extraction through layered structures. *Nature Communications*, 2016, 7: 12665.

SCHREINER, M. a H. HOLLE. *Documentation of Watermarks in Paper* [online]. Institute of Sciences and Technology in Art a Institute of Conservation-Restoration, Academy of Fine Arts, Vienna, 2011 [cit. 16. 10. 2019]. Dostupné z: http://www.restauratorenohnegrenzen.eu/erc/Publications/documents/ERC%20Newsletter_1_2011.pdf.

TROJEK, T. a D. TROJKOVA. Several approaches to the investigation of paintings with the use of portable X-ray fluorescence analysis. *Radiation Physics and Chemistry*, 2015, 116: 321–325.

VAN AKEN, J. An improvement in Grenz radiography of paper to record watermarks, chain and laid lines. *Studies in conservation*, 2003, 48.2: 103–110.

VAN STAALDUINEN, Mark, et al. Comparing x-ray and backlight imaging for paper structure visualization. *EVA-Electronic Imaging & Visual Arts*, 2006, 108–113.

VÁVROVÁ, Petra, Jitka NEORALOVÁ, Dana HŘEBECKÁ, Kristýna KOHOUTOVÁ, Anna KULIČKOVÁ, Marie MATYSOVÁ, Daniela POPELKOVÁ a Tomáš BLECHA.

Nedestruktivní průzkum vnitřní struktury knižní vazby pomocí rentgenového záření. *Knihovna: knihovnická revue*. 2020, 31(1), 18–29, ISSN 1801-3252.