

VYSOKÁ ŠKOLA ZDRAVOTNICKÁ, o.p.s., PRAHA 5

**VYUŽITÍ LÉKAŘSKÉHO RENTGENOVÉHO
VÝPOČETNÍHO TOMOGRAFU PRO NELÉKAŘSKÉ
ÚČELY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

JAKUB PEČENÝ

Stupeň kvalifikace: bakalář

Komise pro studijní obor: Radiologický asistent

Vedoucí práce: MUDr. Jíří Bučil

Praha 2012



VYSOKÁ ŠKOLA ZDRAVOTNICKÁ, o.p.s.
se sídlem v Praze 5, Duškova 7, PSČ 150 00

Pečený Jakub
2. A RA

Schválení tématu bakalářské práce

Na základě Vaší žádosti ze dne 25. 4. 2011 Vám oznamuji
schválení tématu Vaší bakalářské práce ve znění:

Využití lékařského rentgenového výpočetního tomografu pro
nelékařské účely

The Use of Computer Tomography in non-medical Purposes

Vedoucí bakalářské práce: MUDr. Jiří Bučil

V Praze dne: 1. 9. 2011

prof. MUDr. Zdeněk Seidl, CSc.
rektor

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a všechny použité zdroje literatury jsem uvedl v seznamu použité literatury.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své bakalářské práce ke studijním účelům.

V Praze dne 25. 3. 2012

Jakub Pečený

ABSTRAKT

PEČENÝ, Jakub. *Využití lékařského rentgenového výpočetního tomografu pro nelékařské účely*. Vysoká škola zdravotnická, o.p.s. Stupeň kvalifikace: Bakalář (Bc.). Vedoucí práce: MUDr. Jiří Bučil. Praha. 2012. 52 s.

V současnosti se začíná velmi rozšiřovat použití metody rentgenové výpočetní tomografie (dále jen CT - z angl. „computed tomography“) při výzkumu historických plastik, obrazů, hudebních nástrojů nebo archeologických předmětů. Hlavní výhodou této metody je její neinvazivita a možnost zobrazovat vnitřní strukturu objektů bez jejich poškození. Přístup pomocí CT pomáhá zejména při určování autenticity předmětů, výrobních postupů, vnitřní struktury a lékařsky diagnostických závěrů na tělesných pozůstatcích. Se stále se zlepšující medicínskou technologií bude v budoucnu tato metoda moci nepochybně nabídnout rozmanitější použití i historickým vědám.

Principem metody v medicíně je použití rentgenového záření pro zobrazení řezů objektem. Rychle rotující rentgenka s protilehlými detektory umožňují rychlý záznam absorpční mapy objektu. Z nasbíraných dat je posléze možné vytvářet rekonstrukční obrazy, které zvýrazní odlišnosti v denzitách jednotlivých bodů ve zkoumaném předmětu.

Kazuistika jednotlivých vyšetření zatím není příliš bohatá, ale jako výchozí poznatky bude tvořit základ pro další rozšiřování této metody v nemedicínském uplatnění. V této bakalářské práci jsou shrnuty základní praktické poznatky z použití této metody při výzkumu historické mandolíny, egyptských mumií, dřevěné plastiky Madony, olejomalby a hliněného dopisu z dolní Mezopotámie.

Klíčová slova:

Mumie. Umělecké objekty. Výpočetní tomografie. Zobrazovací metody.

ABSTRACT

PEČENÝ, Jakub. *The Use of Computer Tomography in non-medical Purposes*. Vysoká škola zdravotnická, o.p.s. Qualifying degree: Bachelor (Bc.). Supervisor: MUDr. Jiří Bučil. Prague. 2012. 52 p.

In this time it is starting to wide-spread use of X-ray computed tomography (below only abr. CT) in research of historical sculptures, paintings, musical instruments or archaeological items. Main benefit of this method is its non-invasiveness and possibility to visualise the inner structure of any object without destructive consequences. CT approach is helpful especially in authenticity confirmation, explanation of manufacturing technologies, display inner structure and determination of medical-diagnostic results in mortal remains. With constantly progressive development of medical technology will this method in next future surely offer more varied usage also to historical sciences.

The principle of this method in medical care is usage of X-ray beam for imaging of transversal slices. Rapidly rotating X-ray tube with opposite detectors enables quick registration of values in the absorption map of the object. From recorded information is possible to create reconstruction pictures, which emphasize the differences between densities of single pixels in the surveyed object.

Casistry of various examinations is not much affluent for the present, but as the initial pieces of knowledge will form the base for next widening of this method in non-medical use. Here is summarized basic knowledge from usage of this method in research of historical mandolin, Egyptian mummies, wooden sculpture, oil painting and of ceramic letter from Lower Mesopotamia.

Key words:

Artistic objects. Computed tomography. Imaging methods. Mummies.

PŘEDMLUVA

Během své praxe s CT (dále jen CT - z angl. „computed tomography“) přístroji ve zdravotnických zařízeních jsem se několikrát dostal do kontaktu s požadavkem nasnímat podrobné CT řezy jiného objektu než je živé lidské tělo. Jednalo se o hudební nástroje, egyptské mumie lidských a zvířecích těl, dřevěnou plastiku Madony, olejomalbu a neotevřený hliněný dopis z dolní Mezopotámie.

Tato práce vznikla ve snaze podat ucelené informace o problematice vyšetřování tohoto neživého materiálu. Text je určen především radiologickým asistentům na CT odděleních, kteří se dostanou do podobné situace nebo plánují tato vyšetření zahrnout do sortimentu nabízených služeb.

Hlavními informačními zdroji byly jak literární prameny tak vlastní poznatky z praxe. Motivací byla hlavně absence uceleného pojednání o této problematice ve vztahu k profesi radiologického asistenta.

Touto cestou děkuji vedoucímu bakalářské práce MUDr. Jiřímu Bučilovi z oddělení CT a MR v Mediscanu Praha za podnětné vedení při sestavování této práce. Dále bych chtěl poděkovat PhDr. Pavlovi Onderkovi z Oddělení pravěku a starověku Přední Asie a Afriky Náprstkova muzea při Národním muzeu v Praze za zapůjčení cenné zahraniční literatury. Děkuji také vedoucí lékařce CT oddělení v Mediscanu MUDr. Lubici Oktábcové, bez níž by se většina zde uvedených nelékařských CT vyšetření ani neuskutečnila. Děkuji současně svým kolegům, kteří se v našem týmu na vyšetřování uměleckých a historických objektů také podíleli.

Vzhledem k tomu, že tato problematika dosud nebyla takto souhrnně v české literatuře publikována a vycházel jsem především z nečetných zahraničních zdrojů a vlastních praktických zkušeností, je rozsah práce menší a i zdrojová literatura není příliš bohatá.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

SEZNAM ILUSTRACÍ A SCHÉMAT

ÚVOD	10
1 Historie a princip metody	11
2 Omezení použití	18
3 Obecné výhody	20
4 Případové studie.....	22
4.1 Historická mandolína	24
4.2 Egyptské mumie	26
4.2.1 Nejstarší mumie v Praze – přezdívka „Beznohý“	28
4.2.2 Nejstarší mumie ve sbírkách Národního muzea – přezdívka „Princezna“ ..	29
4.2.3 Mostecká mumie.....	30
4.2.4 Mumie s rakví z Achmímu 1 - Nianchhapi	31
4.2.5 Mumie s rakví z Achmímu 2 – přezdívka „Haruška“	32
4.2.6 Rakev s mumií z Gamhúdu – přezdívka „Gamhúdice“	33
4.2.7 Mumie vznešené paní domu Tajkašet.....	34
4.2.8 Mumie zvířecích těl a jejich fragmentů	35
4.3 Dřevěná plastika Madony	37
4.4 Olejomalba.....	43
4.5 Hliněný dopis	45
DISKUSE.....	48
ZÁVĚR	49
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	50

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

- 3D.....třidimenzionální, trojrozměrný
- BP.....z angl. „back projection“, zpětná projekce
- CD/DVDz angl. „compact disc/digital versatile disc“, optické diskové nosiče
- CTz angl. „computed tomography“, výpočetní tomografie
- FOVz angl. „field of view“, pole zobrazení (jeho rozsah)
- HU.....z angl. „Hounsfield units“, Hounsfieldovy jednotky (stupně zeslabení rentgenového záření)
- IRz angl. „iterative reconstruction“, iterativní rekonstrukce
- kV.....kilovolt
- mAmiliampér
- MDCTz angl. „multidetector computed tomography“, multidetektorová výpočetní tomografie
- MinIPz angl. „minimum intensity projection“, zobrazuje nejmenší naměřenou hodnotu absorpance do průmětny daného řezu
- MIPz angl. „maximum intensity projection“, zobrazuje součet naměřených absorpací do průmětny daného řezu
- MRmagnetická rezonance
- secsekunda
- VRTz angl. „volume reconstruction“, prostorová rekonstrukce obrazu

SEZNAM ILUSTRACÍ A SCHÉMAT

Schéma 1	První projekce (270°)	13
Schéma 2	Druhá projekce (315°)	13
Schéma 3	Třetí projekce (0°)	13
Schéma 4	Čtvrtá projekce (45°)	14
Schéma 5	Primární matice	14
Schéma 6	Přičtení druhé projekce	14
Schéma 7	Přičtení třetí projekce k výsledné matici	15
Schéma 8	Přičtení poslední projekce k matici tří sečtených projekcí	15
Schéma 9	Princip iterativní rekonstrukce	16
Obrázek 1	Vzájemná pozice komponent obrazu	17
Obrázek 2	Virtuální rozložení snímaných vrstev daného objektu	17
Obrázek 3	Mandolína: MIP rekonstrukce zepředu	25
Obrázek 4	Mandolína: MIP rekonstrukce, detail volanty	25
Obrázek 5	Mumie v kartonáži na vyšetřovacím stole CT přístroje	27
Obrázek 6	„Beznohý“: axiální řez lebkou	29
Obrázek 7	„Beznohý“: sagitální řez	29
Obrázek 8	„Princezna“: koronální řez lebkou	30
Obrázek 9	„Princezna“: axiální řez pánví	30
Obrázek 10	Mostecká m.: trojrozměrná rekonstrukce	31
Obrázek 11	Mostecká m.: sagitální řez loketní kosti	31
Obrázek 12	Nianchhapi: zakřivená rekonstrukce v rovině zubního oblouku horní čelisti	32
Obrázek 13	Nianchhapi: sagitální řez bederní páteří	32
Obrázek 14	„Haruška“: parasagitální řez lebkou	33
Obrázek 15	„Haruška“: koronální řez hrudníkem	33
Obrázek 16	„Gamhúdice“: axiální řez nadklíčkovou oblastí	34
Obrázek 17	„Gamhúdice“: koronální řez levou kostí vřetenní	34
Obrázek 18	Tajkašet: koronální řez hrudníkem	35
Obrázek 19	Tajkašet: sagitální řez celou páteří	35
Obrázek 20	Mumie kočky: v obvazech je zabalená celá kočka	36
Obrázek 21	Mumie kočky: obvazy skrývají nedokonalost	36

Obrázek 22	Krokodýlí hlava.....	36
Obrázek 23	Poštolka	36
Obrázek 24	Krokodýlí mládě.....	37
Obrázek 25	Káně	37
Obrázek 26	Socha Madony: virtuální prostorový model.....	38
Obrázek 27	Socha Madony: virtuální průhledný model	38
Obrázek 28	Dřevěná plastika na vyšetřovacím stole CT přístroje.....	39
Obrázek 29	Hlava dřevěné plastiky	40
Obrázek 30	Vlasy dřevěné plastiky a hlava Ježíška	40
Obrázek 31	Pravá ruka jezulátka	41
Obrázek 32	Kovový závěsný materiál	42
Obrázek 33	Ježiškovo rouško	42
Obrázek 34	Replika historické olejomalby.....	44
Obrázek 35	Olejomalba v jiném barevném schématu	45
Obrázek 36	Olejomalba: úskalí.....	45
Obrázek 37	Hliněný dopis zepředu.....	46
Obrázek 38	Hliněný dopis zboku.....	46
Obrázek 39	Hliněný dopis: koronální řez	46
Obrázek 40	Hliněný dopis: příčný řez	46
Obrázek 41	Hliněný dopis: prostý řez	47
Obrázek 42	Hliněný dopis: řez v režimu MinIP	47

ÚVOD

Při zkoumání jakéhokoli předmětu moderními výzkumnými metodami je v mnoha případech nutné odebrat vzorek nebo podrobit objekt vlivům, které mohou způsobit nevratná poškození. I z tohoto důvodu se hledají stále nové způsoby neinvazivních metod při výzkumu historických plastik, obrazů, hudebních nástrojů nebo archeologických předmětů. Jedním z mála přístupů, který je zcela šetrný a nezpůsobuje žádné poškození, vyjma fotocitlivého materiálu, je vyšetření pomocí výpočetní tomografie. Této metody se běžně užívá v rutinní medicíně pro zobrazování řezů lidského těla, avšak v poslední době roste její význam také v oblasti historického výzkumu. Tato bakalářská práce se zabývá aplikací konvenční lékařské přístrojové techniky rentgenové výpočetní tomografie pro nelékařské účely.

Přístup pomocí CT (dále jen CT - z angl. „computed tomography“) pomáhá zejména při určování autenticity předmětů, výrobních postupů, vnitřní struktury a lékařsky diagnostických závěrů na tělesných pozůstatcích. Vzhledem k poměrně velkému počtu CT přístrojů v České republice a relativně snadné dostupnosti v každém větším zdravotnickém zařízení se výzkum za použití právě této lékařské techniky jeví jako velice dobrá alternativa k použití technologických a univerzitních CT přístrojů.

1 HISTORIE A PRINCIP METODY

Základy výpočetní tomografie položil už Wilhelm Conrad Röntgen, který roku 1895 objevil paprsky X. Tyto paprsky mají velmi krátkou vlnovou délku a díky své vysoké energii jsou schopné pronikat hmotou. Fotony tohoto záření jsou v průběhu své dráhy hmotou absorbovány a podle charakteru objektu je na opačné straně vystupující paprsek různě zeslaben. Pokud za objekt umístíme fotocitlivý materiál (v konvenční radiografii film), můžeme po jeho odečtení sledovat mapu zeslabení rentgenového záření v jednotlivých bodech tzv. sumační snímek, klasický rentgenogram. To, že se každý paprsek na filmu projeví pouze jedním bodem, je však také největší nevýhodou tohoto rovinného zobrazení. Z plochého obrazu nejsme schopni určit členitost objektu v jiných rovinách. [1]

Vyřešit tento problém se podařilo až zavedením počítačů do lékařské diagnostiky koncem šedesátých let. Krátce nato byl poprvé sestrojen výpočetní tomograf, který byl schopen zobrazit příčný řez objektem. První přístroje byly těžkopádné a jednotlivé řezy se prováděly samostatně po krocích. [2] V současnosti jsou běžně v provozu přístroje, které jsou schopné provést kompletní vyšetření celého těla během několika sekund.

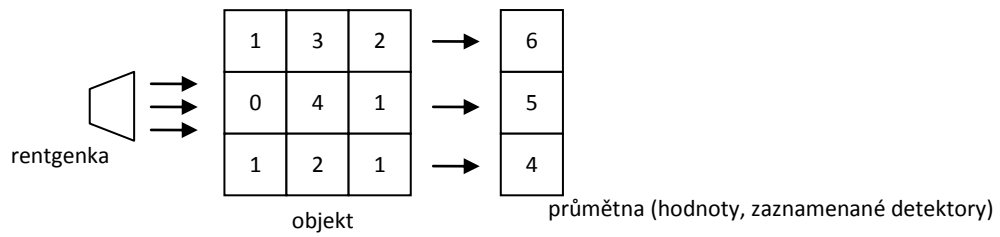
Obecné snahy o rekonstrukci trojrozměrného zobrazení na základě zobrazení dvourozměrného (či množiny jednorozměrných projekcí) sahají již do roku 1917, kdy J. Radon odvodil integrální transformaci (nyní nazývanou Radonova transformace) mezi množinou integrálů přímk a množinou bodů transversálního řezu vyšetřovaného prostoru. [3] V roce 1963 A. Cormack tyto výsledky aplikoval a rozšířil na případ rentgenového záření, procházejícího s částečnou absorpcí trojrozměrným objektem. A v roce 1972 G. N. Hounsfield dokončil vývoj prvního přístroje CT. Již v roce 1974 byly instalovány první sériově vyráběné CT přístroje. [2]

Z hlediska technického vývoje se přístroje CT rozdělují obvykle do pěti generací. Nejrozšířenější jsou přístroje třetí generace, kde je využíváno úzkého svazku záření s protilehlým vějířem několika řad detektorů.

Přístroje 4. a 5. generace nejsou příliš rozšířeny, protože při vyšší ceně nepřinášejí zásadní výhody pro klinickou praxi ve srovnání s moderními konstrukčními řešeními přístrojů generace třetí (vysokorychlostní multidetektorové systémy „MDCT“ – z angl. multidetector computer tomograph). [4]

Základem principu zobrazení příčného řezu objektem je vytvoření velkého počtu sumačních snímků v různých úhlech průmětu. Čím větší počet snímků má počítač pro jeden řez, tím přesnější a kvalitnější je zobrazení vrstvy. Když se postupně v určité vrstvě sumační denzity sečtou, výsledným obrazem je matice denzit v dané vrstvě. Velmi zjednodušeně lze princip znázornit pomocí schématu. Zde je výpočet proveden pro názornost pomocí pouze čtyř projekcí. Ve skutečnosti se však používá několika set projekcí. Představíme-li si objekt resp. řez tímto objektem jako soustavu míst s různou schopností absorbovat rentgenové záření, můžeme míru této schopnosti vyjádřit číselně. Místo, které absorbuje záření hodně, bude mít vysoké číslo, naopak místo, kterým bude záření procházet snadno, bude mít hodnotu nízkou nebo zápornou. Tato čísla se nazývají Hounsfieldovy jednotky (HU z angl. Hounsfield units) a je stanoveno, že pro vzduch je hodnota -1000 a pro vodu 0. Hodnoty absorpce materiálů, které jsou hutnější než vzduch a méně hutné než voda, mohou nabývat tedy hodnot od -999 do -1. Materiály, které absorbují záření více než voda (jako jsou měkké tkáně a kosti v lidském těle) budou mít vždy hodnoty kladné. Podle tohoto principu můžeme zjistit poměrně jemnou schopnost této metody odlišovat od sebe jednotlivé denzity. [5] Zatímco tato metoda dokáže detekovat několik tisíc stupňů denzit, necvičené lidské oko je schopné rozlišit jen přibližně 60 odstínů šedi [6], do kterých se hodnoty denzit transformují volbou tzv. šířky okna a centrem okna. Šířka okna udává v histogramu obrazu oblast, která bude zobrazena daným počtem stupňů šedi. Všechny hodnoty HU nižší než dolní úroveň okna se budou zobrazovat jako černá a všechny hodnoty HU vyšší než horní mez okna se budou zobrazovat jako bílá. [5] Pro jednoduchost výpočtů jsou v následujících schématech uvedena nízká přirozená čísla.

Schéma 1 - První projekce (270°)



Výsledkem první projekce je prostá sumace densit podobně jako u konvenčního rentgenogramu.

Schéma 2 - Druhá projekce (315°)

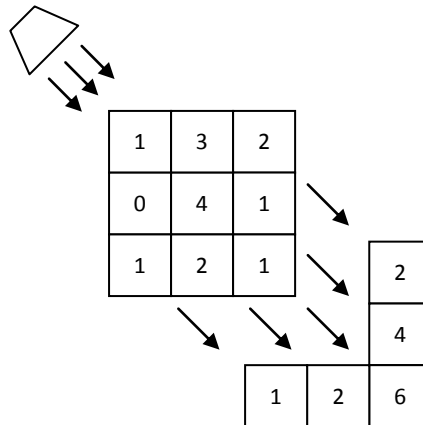


Schéma 3 - Třetí projekce (0°)

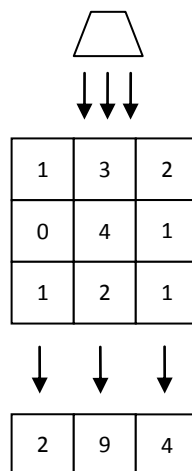
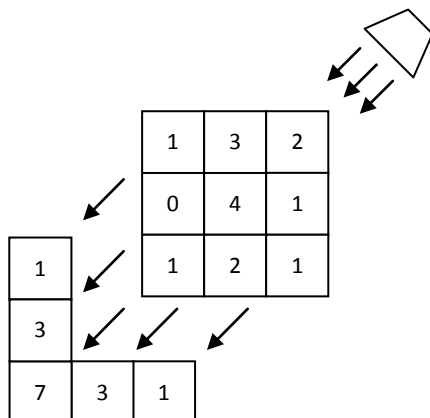
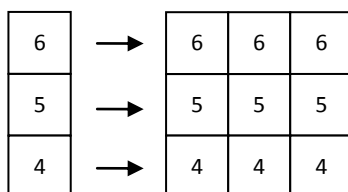


Schéma 4 - Čtvrtá projekce (45°)



Získané hodnoty promítneme do celého sloupce v průběhu dráhy daného paprsku a postupným přičtením v daném směru tak získáme mapu zeslabení.

Schéma 5 – Primární matice



První vložení projekčních hodnot dá vzniknout primární matici.

Schéma 6 – Přičtení druhé projekce

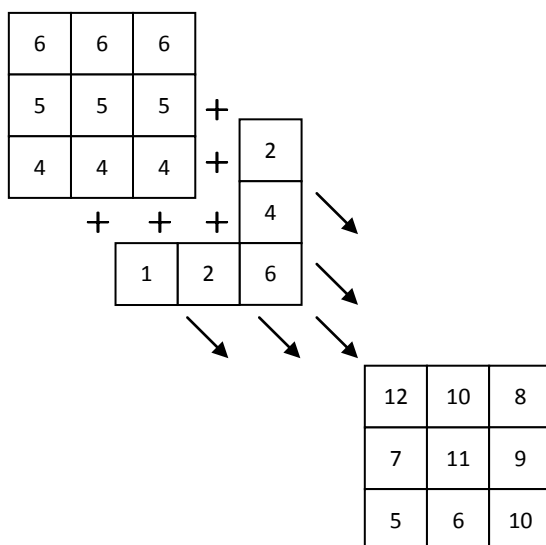


Schéma 7 – Přičtení třetí projekce k výsledné matici

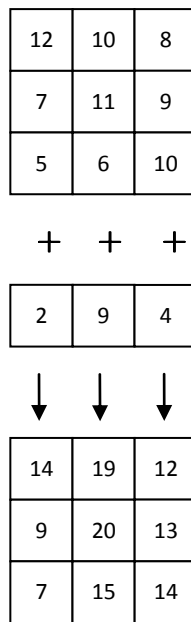
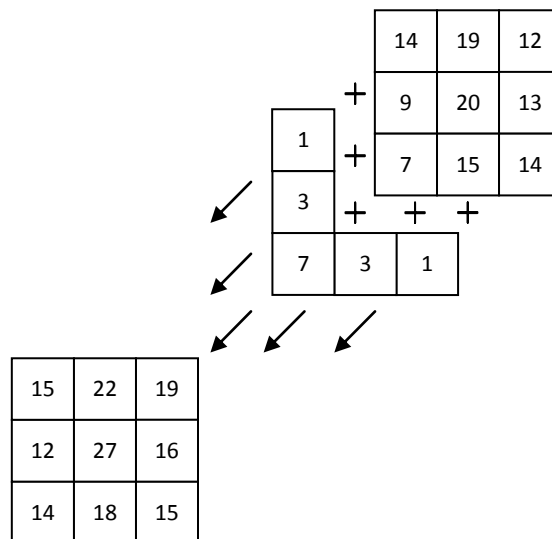


Schéma 8 - Přičtení poslední projekce k matici tří sečtených projekcí

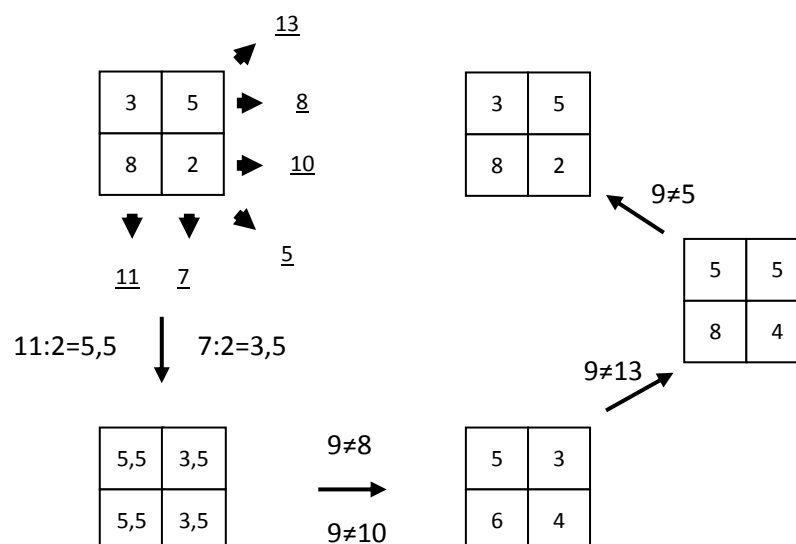


Porovnáním výsledné matice s výchozí zjistíme, že pro hodnoty denzit lze stanovit rozmezí, která se navzájem nepřekrývají a blíží se v poměru skutečným hodnotám. Pro hodnotu nula z výchozí matice je určeno rozmezí 0-12, pro hodnotu jedna je to 13-16, pro hodnotu dva 18-19, hodnotě tři odpovídá 22 a pro hodnotu čtyři je výsledných 27. Tento způsob rekonstrukce obrazu se nazývá zpětná projekce (BP – z angl. back

projection) a byl zaveden až po určitém vývoji rekonstrukčních technik. V této prosté podobě se již nepoužívá, ale nahradily jej jiné efektivnější metody výpočtu. [3]

Není bez zajímavosti, že první komerčně dostupné CT přístroje používaly v sedmdesátých letech 20. století pro rekonstrukci CT obrazu z hrubých dat jinou techniku než BP, která se v současnosti opět navrácí do praxe. Jde o techniku iterativní rekonstrukce (IR – z angl. iterative reconstruction), což je z matematického hlediska postup, kdy v mnoha jednotlivých krocích („iteracích“) postupujeme metodou pokus/omyl od velmi hrubého odhadu struktury zkoumaného objektu až po finální obraz, který co nejpřesněji odpovídá naměřeným hodnotám úhrnných absorpčních koeficientů z různých úhlových projekcí. Poprvé od sedmdesátých let byla znovu uvedena v praxi na sklonku roku 2008 firmou General Electric. Nesmírně cennou vlastností IR je skutečnost, že s narůstajícím počtem iterací se obraz nejen více přibližuje originálu, ale efektivněji se potlačuje i obrazový šum. Hlavní nevýhodou IR je mnohonásobně delší rekonstrukční čas a extrémní nároky na výpočetní výkon. [7] Naproti tomu je možné získat obrazy s až o polovinu nižším obrazovým šumem při stejné dávce. [8]

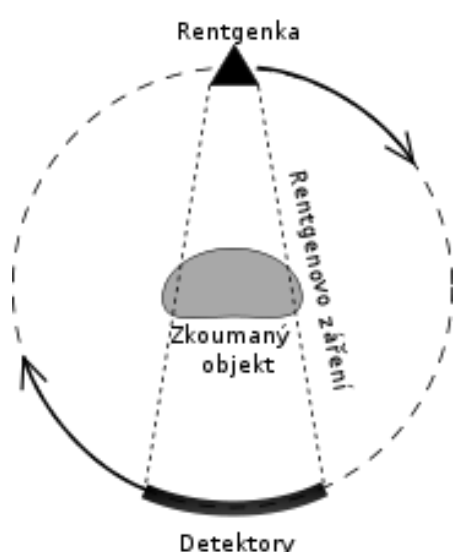
Schéma 9 – Princip iterativní rekonstrukce



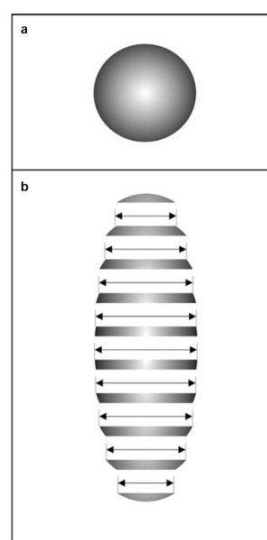
Čím více projekcí přístroj provede, tím přesnější bude výsledná matice zeslabení. V praxi se dále při výpočtech aplikují různé korekční algoritmy, které např. eliminují artefakty na rozhraní denzit nebo snižují vliv šumu na výsledný obraz.

V současnosti jsou v provozu obvykle přístroje, které mají k dispozici několik řad detektorů, a tak mohou během jednoho otočení rentgenky nasnímat několik řezů najednou. To velmi zrychlí celou proceduru, i když i zde existují určitá omezení. Pro účely, při kterých není čas významným faktorem, neplatí pravidlo, že čím více řad detektorů, tím lepší varianta.

V praxi probíhá vyšetření tak, že zkoumaný objekt je zasunut do přístroje, kde kolem něj po kruhové dráze rotuje prstenec složený z protilehle uložené rentgenky a detektorů (obr. 1). Úkolem výkonného počítače, který je nedílnou součástí tomografu, je z nasnímaných dat zrekonstruovat plošný řez vyšetřovaným objektem (obr. 2).



Obrázek 1 Vzájemná pozice komponent obrazu.



Obrázek 2 Virtuální rozložení snímaných vrstev daného objektu.

Pokud jsou nasnímané vrstvy dostatečně tenké, dokáže počítač vytvořit smysluplně řez celým objektem v libovolně orientované rovině nebo 3D model. Taková rekonstrukce může přinést velmi cenné informace o studovaném díle nebo objektu. [9]

2 OMEZENÍ POUŽITÍ

Samozřejmě i tato metoda má v případě použití konvenční lékařské techniky hned několik omezení, z nichž první již bylo jmenováno. Jedná se o nemožnost vyšetřovat fotocitlivý materiál, aniž by bylo možno vyloučit, že bude poškozen, osvětlen rentgenovým zářením.

Další limitací této metody je v našem případě vyšetřování objektů, které obsahují masivní kovové kusy nebo jsou dokonce kovem kryty. Kov je materiál, kterým rentgenové paprsky lékařských CT přístrojů procházejí velmi špatně a pokud se takové vyšetření provede, je v závislosti na tloušťce kovového materiálu obraz poznamenán artefakty, které mohou celý postup dokonce zcela znehodnotit. Netýká se to však malých kovových předmětů např. velikosti běžného hřebíku nebo mincí. Obraz je v tomto případě postižen jen v těsné blízkosti objektu a na výsledný výstup mají jeho artefakty malý vliv. V takovýchto případech je naopak možné provést snadnou trojrozměrnou rekonstrukci kovového tělesa uvnitř objektu. Pro zmírnění artefaktů z kovových materiálů lze obecně doporučit nastavovat vyšší napětí na anodě rentgenky. Rentgenové záření má tak vyšší penetrantnost a objektem je pohlcována relativně menší část vyzářené energie. Běžné lékařské CT přístroje mají však obvyklé rozpětí nastavitelnosti napětí na anodě rentgenky od 100 do 140 kV, což v případě masivních objektů z kovu již způsobuje značně obtížnou čitelnost nekovového okolí v důsledku vysokého podílu artefaktů z rozhraní hutnoty materiálu.

Dalším významným omezením tohoto přístupu je velikost a hmotnost objektu. Otvor v přístroji, kterým je objekt na pohyblivém stole posouván má průměr obvykle 70 cm. Tento rozměr nelze u rigidních předmětů překročit. V případě flexibilních objektů je možné v případě nouze možné jejich poskládání, zohýbání nebo jiná deformace, samozřejmě s efektem zhoršené diagnostické schopnosti. Vlastním omezením diagnostického průměru je však obvykle pouze 50 cm. To znamená, že i kdyby byl objekt užší než 70 cm, ale širší než 50 cm, nebude oblast za touto padesáticentimetrovou hranicí zobrazena. Opačným problémem mohou být naopak příliš malé rozměry. Přístroj disponuje sice obvykle rozlišovací schopností v

submilimetrových oblastech, ale v určitých oblastech použití ji již nelze aplikovat. Hmotnost objektu je omezena nosností vyšetřovacího stolu, která se pohybuje v rozmezí 150-200 kg podle výrobce a typu přístroje. Objektům, které se vymykají těmto mezím jsou určeny buď větší nebo menší nelékařské přístroje.

Další komplikací může být nutnost transportu předmětu do místa, kde je CT přístroj. V současné době již existují i mobilní přístroje, ale i ty jsou tak těžkopádné, že je použití mimo budovu, kde je tento přístroj instalován téměř vyloučeno. [3]

Posledním omezením je schopnost posunu stolu. Ve svém důsledku to omezuje délkový rozměr vyšetřovaného objektu, který nemůže obvykle přesáhnout 2 metry délky, u některých přístrojů ani to ne. To lze však obejít tím, že se delší objekt snímá po více částech a to tak, že je nejprve nutné naskenovat objekt od jednoho konce s určitým přesahem přes následující část tak, aby bylo možné následně pomocí postprocessingového softwaru objekt z jednotlivých fází skenování pospojovat.

3 OBECNÉ VÝHODY

Hlavní výhodou tohoto postupu je jeho neinvazivnost. Tedy schopnost získat určité informace o objektu aniž by byl jakkoli poškozen. [10], [11] Rentgenové ionizující záření proniká předmětem pouze během samotného vyšetření a po jeho ukončení není materiál radioaktivní ani jinak změněný.

Další výhodou je možnost trvalého uchování kompletní digitální informace o objektu. Tedy i v případě, že je životnost objektu velmi krátká nebo dojde-li v pozdější době k jeho poškození, jsou k dispozici data, podle nichž lze objekt přesně zrekonstruovat. K nasnímaným datům se lze kdykoli vracet a uplatňovat nové pohledy.

Díky digitalizaci této obrazové informace je možné s těmito daty zacházet jako s běžným digitálním materiálem. Je možné CT průzkum umístit a přenášet pomocí flash disku, CD/DVD nosiče nebo prostřednictvím internetu. Je tak umožněno bezetržové kopírování nebo širší sdílení v rámci výzkumné komunity kdekoli na světě.

Jednou z hlavních a principiálních výhod je možnost náhledu dovnitř jinak neoddělitelných částí. Lze určovat charakter a tvar vnitřních objektů. Jednotlivé části lze od sebe také separovat a zjišťovat jejich počet, pokud je objekt sestaven z více kusů. Z těchto separovaných částí lze vytvářet samostatné 3D modely. [3]

Lze provádět přesné izometrické měření i v nepřístupných místech, což má klíčový význam při studiu architektury hudebních nástrojů, pro jejich restaurátorské opravy nebo výrobu replik např. pro potřeby muzejnictví.

Touto metodou je možné detekovat různé materiálové odlišnosti (např. různé druhy dřeva apod.). S tím souvisí také v některých případech možnost použití výsledných obrazů pro dendrochronologický test, pokud je masiv dřeva dostatečně silný, jelikož jsou pomocí této metody snadno detekovatelné jednotlivé letokruhy. Tomografické vyšetření je často využíváno při identifikaci letokruhů podložky deskové malby. [9]

Je možné také provést rozvrstvení jednotlivých nátěrů ploché povrchové úpravy, pokud je dostatečně silná.

U kosterních pozůstatků je možné provést antropologické a lékařsky diagnostické zhodnocení stavu v době úmrtí. [12]

Samozřejmostí je detekce heterogenit, které nejsou patrné pouhým okem a často jsou skryté pod neprostupným povrchem objektu.

Další výhodou je také možnost zhotovení virtuálního rentgenogramu. Jde o vytvoření takového snímku, který simuluje klasický rentgenogram. V tomto případě je ovšem hlavní výhodou to, že lze objektem libovolně otáčet a výsledná rovina zobrazení tak není definitivně stanovena. V podstatě je možné vytvořit rentgenový snímek z jakéhokoli úhlu pohledu. [3]

Je možné provést také rekonstrukci dutinového systému uvnitř objektu nebo případně i virtuální endoskopickou sondáž. [12]

Jelikož je nasazení této metody v této oblasti teprve v začátcích, nelze ještě vytvořit plný výčet možností, které tento přístup v budoucnu otevře.

4 VÝSLEDKY PŘÍPADOVÝCH STUDIÍ

Kazuistika jednotlivých vyšetření na našem pracovišti zatím není příliš bohatá, ale jako výchozí poznatky bude tvořit základ pro další rozšiřování této metody v nemedicínském uplatnění. V následujících odstavcích bude ilustrativně pojednáno o vyšetřování pěti typů objektů. Jmenovitě jsou to: historická mandolína, egyptské mumie lidských a zvířecích těl, dřevěná plastika madony, olejomalba a historický hliněný dopis. Všechna vyšetření byla provedena na přístroji LightSpeed XT s 64 řadami detektorů firmy General Electric vyjma historické mandolíny, která byla vyšetřována na přístroji Somatom Sensation 4 se 4 řadami detektorů firmy Siemens. V současnosti se velmi často lpí na co největším počtu řad detektorů. Ovšem pro účely historické a archeologické je to požadavek neopodstatněný. Rozhodující je prostorová rozlišovací schopnost a pokud dosahuje submilimetrových hodnot, je pro většinu účelů postačující. Ve všech případech bylo použito rozlišení matice 512x512 bodů. [3]

Pokud se jedná o výzkum egyptských mumií lidských a zvířecích těl, parametry samotného skenování se významně nelišily od nastavení protokolů při vyšetřování živých pacientů, s jedním malým rozdílem. Vzhledem k tomu, že zde nemusel být brán ohled na radiační zátěž pacienta, bylo možno použít parametry, běžně doporučované přímo pro vyšetřování mumifikovaných ostatků. Byla navázána on-line videokonference s vědeckým týmem z univerzity v Chicagu, kde se již podobný výzkum úspěšně uskutečnil v minulosti. Za pomoci zkušeností tohoto spřáteleného kolektivu byly prováděny první krůčky na začátku skenování. Všechny mumifikované objekty byly skenovány nejprve s nastaveným napětím anody na rentgence 120 kV pro lepší prokreslení těch částí, které nebyly příliš hutné jako jsou obvazy, zbytky měkkých tkání nebo dřevěné součásti a kartonáže. Podruhé byl sken proveden s napětím na anodě rentgenky 140 kV, pro lepší zobrazení hutnějších součástí těl, jako byly kovové hřeby, umělé oči, kosti nebo případně střepy nádob, kdy vyšší napětí na anodě relativně eliminovalo artefakty z rozhraní.

Zcela odlišná situace byla v případě výzkumu ostatních objektů, jmenovitě historické mandolíny, dřevěné plastiky madony, olejomalby a historického hliněného

dopisu z dolní Mezopotámie. Zde bylo nutné přistupovat s nejvyšší pečlivostí k výběru parametrů tak, aby výsledná nasnímaná data poskytla co možná nejvíce informací. Nejdůležitějším faktorem byla volba rozpětí proudu přivedeného ke katodě rentgenky, napětí na anodě rentgenky, šíře zobrazovaného pole (FOV – z angl. „field of view“) a tzv. pitch faktoru (z angl. pitch – rozteč skenovaných řezů resp. jejich překryv). Vzhledem k tomu, že se při každém skenování jednalo o zcela odlišný charakter objektu, bylo nutné na základě zkušeností stanovovat tyto parametry velmi obezřetně tak, aby co možná nejlépe odpovídaly povaze materiálu, ze kterého objekt sestával, jeho velikosti i nastoleným otázkám, které byly pro daný výzkum vzneseny.

V následujícím textu jsou rozebrány přípravné práce, vlastní skenování, skenovací parametry a problematika rekonstrukční práce obrazu tzv. postprocessing (z angl., vyjadřuje následné zpracování nasnímaných obrazových dat).

4.1 HISTORICKÁ MANDOLÍNA

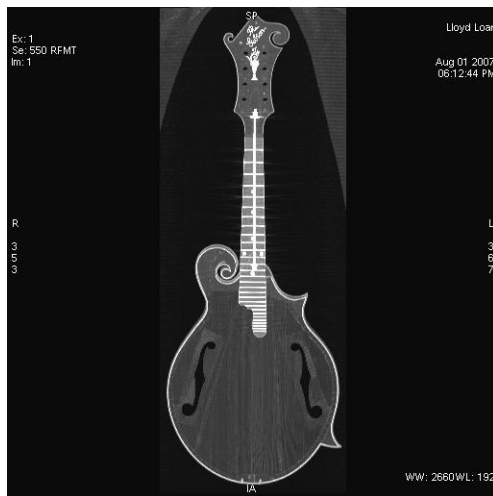
V roce 2007 byl restaurátorem a houslařem Ondřejem Holoubkem vznesen požadavek na naskenování historické mandolíny typ F5 od firmy Gibson z roku 1923. Toto vyšetření bylo provedeno 1. srpna 2007 na CT oddělení Fakultní Thomayerovy nemocnice s poliklinikou v Praze – Krči.

Nejprve byly zjišťovány rozměry, aby bylo možné vůbec toto vyšetření provést. Vzhledem k podlouhlému oploštělému tvaru s maximálním rozměrem do 690 mm a příčnému rozměru do 250 mm bylo možné začít s přípravou tohoto historického hudebního nástroje pro skenování CT přístrojem. Nejdůležitější přípravou před skenováním hudebního nástroje obecně je odstranění všech odnímatelných kovových částí. Jedná se zejména o struny, kolíky, kobylku nebo přídavné kovové součásti, které se primárně nepodílejí na tvorbě zvuku (okrasné kování apod.). Samozřejmě pouze v případě, že je oddělení takových součástí relativně snadno vratné.

Připravený hudební nástroj byl položen na vyšetřovací stůl bez jakýchkoli nástavců a podložení. Pro snazší zacílení plánovacích planárních ortogonálních rentgenogramů byl zaměřovací laser umístěn přibližně 25 mm nad hlavu nástroje a délka skenovacího prostoru byla nastavena na 720 mm, aby tak byla dostatečná rezerva pro plánování skenu. Po provedení prvního skenu bylo upozorováno nepříliš vhodné polohování nástroje vzhledem k hmatníku ubíhajícímu šikmo dozadu. Řezy tak svou osou korpusu neustále měnily své centrum. Nástroj byl proto vypořádán na dolní straně korpusu balíčkem buničiny přibližně 5 cm tlustým. Buničina se pro tento účel v improvizovaných podmínkách vzhledem ke své nízké absorpční a tvárnosti hodí nejlépe.

Vzhledem k malým příčným rozměrům a struktuře objektu byl zvolen protokol pro vyšetřování paranasálních dutin, kde se předpokládá velmi podrobné zobrazení a minimální nutnost upravovat následně parametry pro kvalitní zobrazení tohoto hudebního nástroje. V obou na sebe kolmých rovinách plánovacích rentgenogramů byl nastaven sken tak, aby snímání dat pokrylo celý nástroj od vrcholu hlavy až po nejvzdálenější okraj korpusu. Automatické rekonstrukce byly aktivovány pro filtr s ostrým prokreslením u vědomí toho, že bude třeba provádět přesná měření a to

s tloušťkou řezu a roztečí řezů po 1 mm. Napětí na anodě rentgenky bylo ponecháno na 120 kV. Hodnota proudu na katodě rentgenky byla upravena na 164 mA. Šíře okna byla nastavena na hodnotu 4000 a centrum okna na hodnotu 700.



Obrázek 3 Mandolína: MIP rekonstrukce zepředu.



Obrázek 4 Mandolína: MIP rekonstrukce, detail voluty.

V tomto konkrétním případě sloužily výsledky výzkumu restaurátorovi k zhotovení přesné repliky nástroje (obr 3). Jedním z úkolů bylo zjistit, zda a ve kterých místech je použito podlepení ozvučného tělesa z vnitřní strany a lokalizace kovového šroubu, který upevňuje krk nástroje k tělu. Podlepení okrajů ozvučných otvorů bylo dobře patrné, ač jeho tloušťka byla submilimetrová. Výsledkem byla také přesné prokreslení charakteru vnitřního uspořádání ozdobné voluty (obr 4). Vedlejším jevem byly artefakty z kovových prachů, které nebylo možné odstranit, ale nebyly natolik výrazné aby podstatně ovlivnily kvalitu vyšetření. V požadavku vyšetření nebylo vyhotovení rekonstrukčních obrazů v jiných rovinách než náběrové axiální. Přesto byly zhotoveny koronální řezy po 3 mm v celém rozsahu nástroje a dále axiální prohlížecí řezy pouze v rozsahu korpusu po 3 mm. [3]

4.2 EGYPTSKÉ MUMIE

Nejrozsáhleji je z nelékařského využití lékařského CT přístroje v odborné literatuře zpracována problematika skenování egyptských mumií lidských a zvířecích těl. Co se týče nemedicínského využití CT přístroje na CT oddělení v Mediscanu Praha, byla možnost se s výzkumem tohoto materiálu setkat častěji než u ostatních typů objektů. Proto bude také rozebrána o něco podrobněji.

Staroegyptské mumie představují bezesporu jeden z nejcharakterističtějších rysů dávné civilizace údolí dolního Nilu. Ačkoliv jsou známy i mumie z jiných zemí, přece jen egyptské vynikají svým obrovským počtem, relativní dokonalostí, k níž byla dovedena mumifikační technika, a především svým ústředním postavením v ideologické soustavě starého Egypta. Při vyslovení slova mumie se většině lidí vybaví automaticky mumie staroegyptská.

Novodobý zájem vzdělaného světa o staroegyptské mumie souvisí s počátky vědecké egyptologie, k níž otevřela cestu Napoleonova výprava do Egypta (1798). Do sbírek českých muzeí se dostalo pouze několik mumií, rakví a dalších předmětů z pohřebiště dělníků 18. - 21. dynastie v Dér el-Medíně, zkoumaného francouzskou expedicí v roce 1926, zásluhou českého egyptologa prof. dr. J. Černého.[13]

Rentgenové paprsky byly poprvé použity pro snímkování mumie v roce 1896, kdy snímkoval mumifikované tělo dítěte a kočky W. König ve Frankfurtu v Německu, tedy pouhý jeden rok poté, co v roce 1895 Wilhelm Conrad Röntgen paprsky objevil. [14] Brzy byl následován T. Hollandem v Liverpoolu v Anglii, který snímkoval ptačí mumií. V roce 1898 použil rentgenového záření k výzkumu egyptských mumií slavný archeolog Sir Flinders Petrie, jehož následovali E. Smith a H. Carter v roce 1904 a dva francouzští žurnalisté C. Leleux a M. Guineau v roce 1926. [15] V roce 1931 rentgenového záření pro studium mumií použil rovněž R. L. Moodie v Chicagu. První mumií egyptského faraona, která byla podrobena výzkumu rentgenovým zářením bylo tělo Tutmose IV. v roce 1924 (B. Brier, Káhira). [12] Nejrozsáhlejším vyšetřováním mumií rentgenovým zářením v tehdejší Československu v rámci revizního studia byl výzkum profesora Evžena Strouhala v první polovině 70. let 20. století, jehož výsledky byly knižně publikovány v roce 1979. [16]

Vedle konvenčního rentgenogramu se pro výzkum egyptských mumií v posledních letech osvědčilo vyšetření pomocí CT přístroje. Nejenom, že tento přístup umožňuje bez jakéhokoli rozbalování ob vazů určit mumifikační cesty a způsoby, ale také dokáže zřetelně zobrazovat méně hutné součásti mumií jako jsou lněné obaly nebo měkké části tělesných pozůstatků. [11] Výpočetní tomografie se ukázala být mimořádně vhodná pro studium křehkého, zabaleného těla egyptských mumií, zejména těch, které jsou stále obsažené ve své zdobené skořepinové schránce nebo kartonáži (obr 5).



Obrázek 5 Mumie v kartonáži na vyšetřovacím stole CT přístroje.

V CT obraze lze velmi dobře pozorovat destrukci nosních skořep čichové kosti pro přístup do přední jámy lební, kudy byl při mumifikaci obvykle vyjímán mozek kovovými háčky. Stejným otvorem byla pak často do dutiny lební nalita pryskyřice, která se obvykle nahromadila v zadní jámě lební a ještě než ztuhla, utvořila hladinu. [17] Někdy je možné pozorovat, že se během mumifikace po odstranění mozku a naplnění lebky pryskyřicí ještě dále manipulovalo, jelikož nejspíš pryskyřice ztuhla, ale jen na povrchu u hladiny, takže po otočení tělem či lebkou se dosud horký střed provalil tenkou krustou horní vrstvy pryskyřice a utvořil další hladinu v jiné rovině.

Díky jemným řezům získaným při skenování lze pro následné zobrazení použít jak planární zobrazení ve vyšetřovací axiální rovině, tak rekonstrukční planární zobrazení

v libovolné rovině pohledu. Dále je možné provést třídimenzionální rekonstrukci (3D VRT – z angl. 3-dimensional volume reconstruction), což je zejména vhodné pro zobrazení skeletu pro lepší přehlednou orientaci vzájemných anatomických poměrů. Také je možné provádět takzvanou virtuální endoskopii, která imituje průchod skutečného endoskopu dutinovými systémy, byť klasickým endoskopem nepřístupnými. [12]

Současné moderní metody v kombinaci s 3D rekonstrukcemi dospěly tak daleko, že jsme schopni rekonstruovat fyzický vzhled tváře vycházející z CT řezů zkoumaných lebek. Obdobných aplikací pro rekonstrukce podoby neznámých osob z kosterních pozůstatků využívá kriminalistika a forenzní antropologie. Nejznámější je zpětné vymodelování vzhledu obličeje na základě vyšetřené lebky i s možností jejich převedení do reálného modelu například z umělé hmoty. [10], [11], [12] [18]

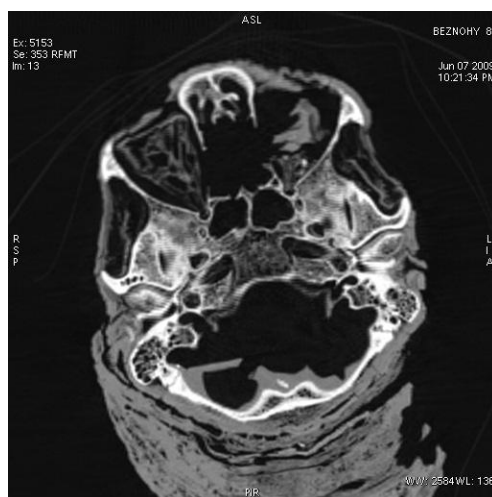
Konkrétně bylo podrobeno výzkumu CT přístrojem na CT oddělení v Mediscanu v roce 2009 deset egyptských mumií dospělých lidí – 9 ze sbírek Náprstkova muzea, 10. z Městského muzea v Moravské Třebové a v roce 2010 dvě mumie malých dětí a rozsáhlý mumifikovaný materiál zahrnující zejména mumifikované lidské hlavy a mumie zvířecích těl (hadí, kočky, krokodýli, psi, ptáci, ryby). Cílem CT vyšetření bylo zejména zjistit, jakou mají jednotlivé mumie stavbu kostry. Dále prozkoumat i části zachované tkáně, případně amulety, které byly do obinadel vkládány. Popřípadě zjistit, jakými nemocemi tito lidé před smrtí trpěli, případně jaké metody léčení podstoupili.

Vzhledem k minimálnímu počtu arteficiálních hutných či kovových objektů, bylo možno pozorovat ničím nezkreslené řezy. Hlavní použité parametry: Napětí na rentgence 120/140 kV, modulované mA v rozmezí 200-250 mA, pitch 0,531, skenovací FOV 50 cm, šířka řezu 0,625 mm, rotace 0,8/sec, rekonstrukční filtr ostrý (bone) a měkký (standard). Tyto parametry byly shodné pro všechna mumifikovaná těla dospělých jedinců. Následující text je věnován podrobněji sedmi z nich a souhrnně zvířecím mumiím.

4.2.1 Nejstarší mumie v Praze – přezdívka „Beznohý“

Jednalo se o mumií s nejstarší doloženou přítomností v českých zemích. Mumie dospělého muže (bez rakve) je zmíněna ve Schmallerově knize Beschreibung der

Hauptstadt Prag z roku 1796 (svazek III, str. 346). Mumie byla do sbírek Náprstkova muzea převedena nejen s celou sbírkou egyptských starožitností archeologa J. A. Jíry, ale i s „1 válcovitou dózou na tzv. léčivý prach“. Tato dóza je chápána jako vysvětlení poměrně zbídačeného stavu mumie, především pak pro absenci chodidel a spodní části lýtek. Samotné tělo snad posloužilo jako zdroj pro výrobu mumiového prášku, který byl v apotékách po celé Evropě prodáván jako všelék. [16]



Obrázek 6 „Beznohý“: axiální řez lebkou; v horní oblasti je defekt po proražení čichových sklípků.



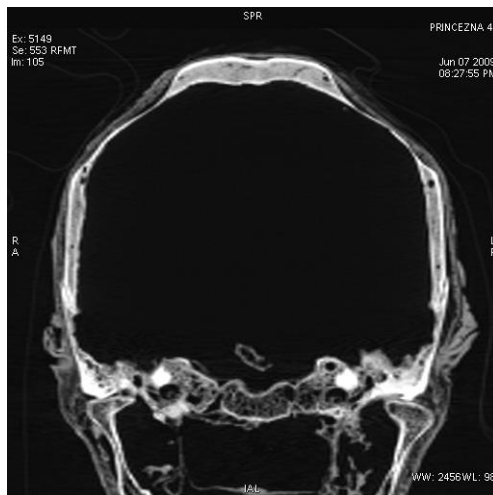
Obrázek 7 „Beznohý“: sagitální řez; dobře patrné šrouby pro upevnění podhlavníku.

Vyšetření výpočetní tomografií prokázalo destrukci přední jámy lební, čichových sklípků a nosních průduchů, což odpovídá přístupu pro vyjmutí mozku (obr. 6). Výplňová pryskyřice v mozkovně byla nahromaděna v zadní jámě lební a zatekla i do páteřního kanálu. Chrup byl značně obroušený na kousacích plochách. V okolí kořenů zubů bylo možno pozorovat pozánětlivé změny. Celá mumie spočívala na dřevěné podložce, ke které byla na několika místech připevněna šrouby zavedenými do skeletu (obr. 7). Obratlová těla byla postižena osteoporózou. Věk dožití zemřelého je odhadován na 50 – 60 let. Období života zemřelého je datováno obdobím 1069 – 332 př. n. l..

4.2.2 Nejstarší mumie ve sbírkách Národního muzea – přezdívka „Princezna“

Mumií, která se nejdelší dobu nachází ve sbírkách Národního muzea, resp. jeho předchůdců, je mumie dospělé ženy, kterou Vlasteneckému muzeu v Čechách daroval buď jeho hlavní zakladatel Kašpar Maria kníže ze Šternberka nebo rakouský diplomat kníže František Colloredo v roce 1822. Na jaře roku 1851 si mumii pro vědecké účely

zapůjčil Jan Evangelista Purkyně, který tehdy působil jako přednosta Fyziologického ústavu pražské lékařské fakulty. Ve Fyziologickém ústavu byl na mumii proveden vůbec první průzkum egyptské mumie v českých zemích (za použití invazivních metod). Mumie byla podrobena anatomickému a histologickému zkoumání, které provedl vědecký asistent Jan Nepomuk Tschermak. Vybalená a značně poškozená mumie (vyřezané části hrudníku a břicha) byla muzeu vrácena teprve v roce 1913. [16]



Obrázek 8 „Princezna“: koronální řez lebkou; ztenčení temenních kostí.



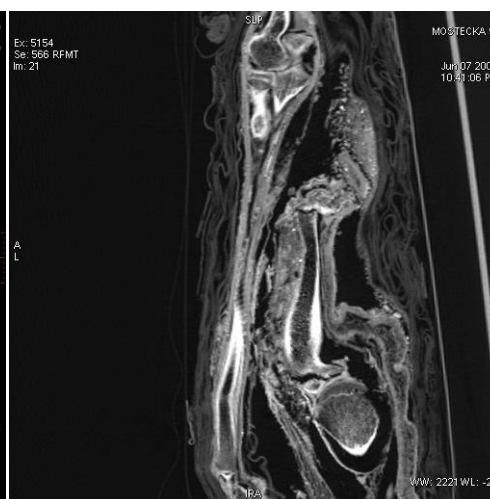
Obrázek 9 „Princezna“: axiální řez pánví; vlevo nad kyčelní kostí patrné provalení – pitevní otvor.

Vyšetření pomocí CT ukázalo, že kosti temenní jsou oboustranně symetricky ztenčeny a nahrazeny jemnou lamelou (obr. 8). To může být zapříčiněno buď vrozenou vývojovou anomálií nebo odvápněním. Mozek byl vyňat skrz přední jámu lební, jak dokládá její poškození. Na chrupu jsou ojedinělé kazy. Sedmička vlevo dole byla vytržena. V souvislosti s invazivním vyšetřením v 19. století byl odstraněn 9. až 12. hrudní obratel. Vlevo v oblasti podbříšku se nachází otvor, jímž byly během mumifikace vyjmuty vnitřní orgány (obr. 9). Na páteři a kyčelních kloubech jsou patrné degenerativní změny. Žena zemřela přibližně ve věku 40 let. Období života zemřelé je datováno do Třetí přechodné doby.

4.2.3 Mostecká mumie

Podobně jako v případě celé řady egyptských sbírek v českých zemích, vdčíme i za tzv. mosteckou mumii českým Němcům. V roce 1894 navštívil Egypt továrník Wilhelm Riecken ze Šumné v západních Čechách. Riecken ještě téhož roku rakev

s mumii daroval muzeu v Mostu. V roce 1970 došlo k předání obou do Náprstkova muzea. [16]



Obrázek 10 Mostecká m.:
trojrozměrná rekonstrukce;
 lokalizace fixačního (červeného)
 hřebu.

Obrázek 11 Mostecká m.: sagitální
 řez loketní kostí; fraktura

Vyšetření výpočetní tomografií nám umožnilo určit, že cestou velkého týlního otvoru je zaveden do dutiny lební novodobý kovový hřeb, který fixuje lebku s páteří. Hřeb je zaveden až do úrovně 5. krčního obratle (obr. 10). V zadní jámě lební je vrstevnatě zformováno menší depozitum výplňového materiálu, který svým charakterem odpovídá impregnované tkanině. Přední jáma lební není porušena. Mozek byl tedy zřejmě vyjmut skrze velký týlní otvor. Očnice jsou vyplněny impregnovanou tkaninou. Chrup je kompletní bez známky obroušení kousacích ploch. Při kořeni řezáku v dolní čelisti vpravo je pozánětlivá dutina. Pitevní přístup byl nejspíše na levé straně podbřišku. Na levé loketní kosti se nachází stav po zlomenině (obr. 11). Nápadné jsou dosud ne zcela uzavřené růstové štěrbinu dlouhých kostí, které svědčí o nižším věku v době smrti. Vše nasvědčuje tomu, že mumifikovaný jedinec zemřel ve věku kolem osmnácti let. Pokud je tělo v rakvi původní, odpovídalo by období života zemřelého jedince první polovině Třetí přechodné doby, resp. 21. až 22. dynastie.

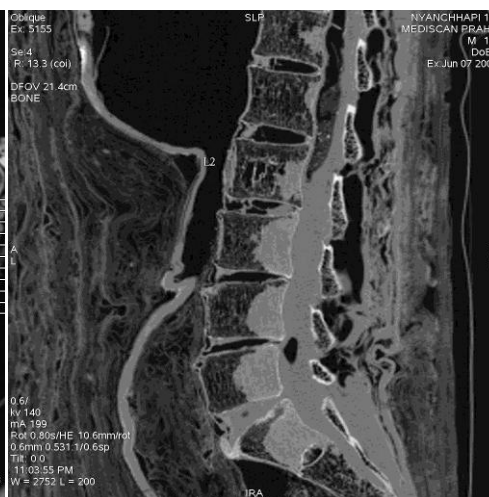
4.2.4 Mumie s rakví z Achmímu 1 – Nianchhapi

Mumie byla součástí sbírky arcivévody Josefa Ferdinanda Habsburského, resp. Toskánského, který byl velitelem 93. regimentu, jehož posádkovým městem byla Olomouc. Arcivévoda Egypt navštívil v roce 1903. Od tamního blíže neznámého

rakousko-uherského konzula Vettera dostal darem bezmála čtyři stovky egyptských starožitností, jejichž součástí byly i dvě mumie s rakvemi z Achmímu. Tři roky po návratu věnoval arcivévoda celou svou sbírku nově založenému přírodovědeckému muzeu v Olomouci. Celá egyptská sbírka byla v roce 1981 převedena do Náprstkova muzea v Praze. [16]



Obrázek 12 Nianchhapi: zakřivená rekonstrukce v rovině zubního oblouku horní čelisti; pozánětlivé změny.



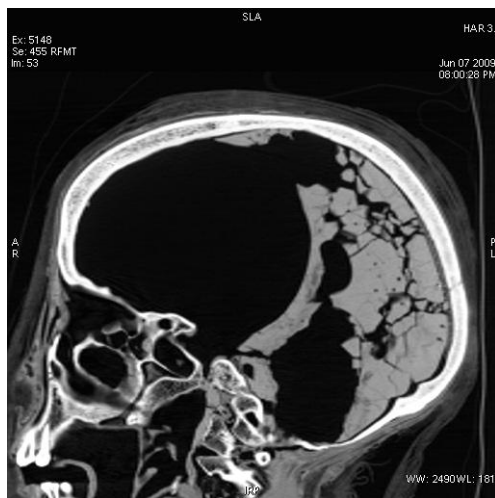
Obrázek 13 Nianchhapi: sagitální řez bederní páteří; hemangiom druhého bederního obratle.

Na snímcích CT je dobře patrné, že byla hlava oddělena od těla. Lebka byla posmrtně poškozena. Přes defekty zlomenin zatéká pryskyřice až na úroveň přední plochy 1. a 2. krčního obratle. Mozek byl vyňat cestou přední jámy lební. Obě očníce jsou vyplněny smotky tkaniny. Chrup je postižen četnými kazy, pozánětlivými změnami a kousací plochy jsou značně obroušeny (obr. 12). V dolní čelisti chybí 6. a 7. zub vlevo i vpravo. 4. a 5. krční obratel chybí. V druhém bederním obratli je ložisko charakteru hemangiomu (obr. 13). Pitevni řez se nachází v levém podbřišku. Nianchhapi zemřel mezi 40. až 60. rokem života. Pokud je tělo v příslušné rakvi, žil Nianchhapi na sklonku Pozdní doby, spíše však až v Ptolemaiovské době.

4.2.5 Mumie s rakví z Achmímu 2 – přezdívka „Haruška“

Druhá rakev pocházející z Achmímu obsahuje mumii mladé ženy, přestože celkový tvar poukazuje na skutečnost, že rakev původně byla určena muži. Na rakvi se setkáváme se dvěma vrstvami výzdoby, které jsou snad výsledkem opětovného užití

rakve pro pohřeb nepůvodního majitele. Tato „recyklace“ rakví byla především v pozdějších obdobích egyptských dějin docela častá. [16]



Obrázek 14 „Haruška“: parasagitální řez lebkou; pryskyřice s lomnými liniemi a patrnou zakřiveně zaschlou hladinou.



Obrázek 15 „Haruška“: koronální řez hrudníkem; lze rozlišit čtyři symetricky uložené smotky.

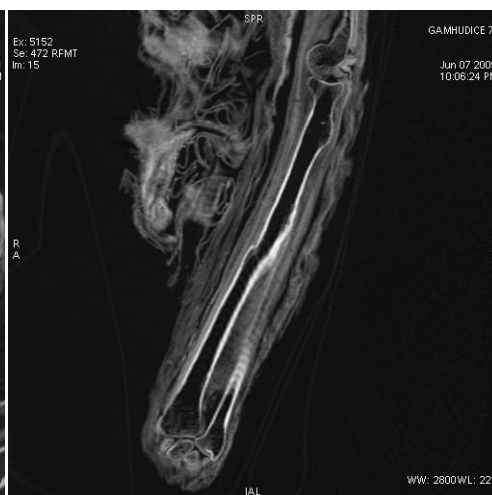
Obrazy CT řezů ukázaly, že je lebka vyplněna pryskyřicí, která vytváří fixované hladiny (obr. 14). Mozek byl vyňat cestou přední jámy lební a čichových sklípků a nosní dutinou. Očnice jsou vyplněny tkaninou. Zuby jsou nápadně zachované bez známek obroušení kousacích ploch. V horní čelisti je patrná zlomenina 6. zubu vlevo s pozánětlivým ložiskem při jeho kořeni. V dutině hrudní jsou oboustranně symetricky uloženy čtyři balíčky s vnitřními orgány napuštěné pryskyřicí (obr. 15). V levém podbřišku je zřetelný pitevní řez. Dřeň kosti pažní vlevo je prostoupena skvrnitými změnami, které mohou odpovídat nálezů non-Hodgkinského lymfomu, což je onemocnění, které je typické svou incidencí pro věkové skupiny 15 - 25 let a 55 let a v dnešní době léčitelné s úspěšností 90 – 95 procent. Tehdy bylo toto onemocnění stejně jako před pouhou jednou generací smrtelné. Pravděpodobný věk zemřelé ženy odpovídá věkové skupině 15 - 25 let. Rakev lze datovat do Pozdní doby (715 – 332 př. n. l.).

4.2.6 Rakev s mumií z Gamhúdu – přezdívka „Gamhúdice“

Pohřebiště, ze kterého rakev pochází, je asi půl hodiny chůze na západ od vesnice v Gamhúdu. Přesné okolnosti, za kterých se rakev s mumií do sbírek Národního muzea dostala, nejsou známy. Nejpravděpodobnější však je, že byla objevena Tadeuszem Smoleńským a do českých zemí se dostala s jeho pomocí. [16]



Obrázek 16 „Gamhúdice“: axiální řez nadklíčkovou oblastí; na obratlové tělo zpredu naléhá zvětšená štítná žláza.



Obrázek 17 „Gamhúdice“: koronální řez levou kostí vřetení; uprostřed je vidět nerovnost.

Kostní trámčina má v CT obraze skvrnitou strukturu, což může značit, tento jedinec trpěl osteoporózou. Mozek byl během mumifikace odstraněn cestou přední jámy lební, jak dokládají defekty čichových sklípků a široce otevřené nosní průduchy. Touto cestou byly také do dutiny lební umístěny kusy tkaniny napuštěné pryskyřicí. Oči jsou nahrazeny blíž neurčeným materiálem. V oblasti středouší jsou patrné známky chronických zánětlivých změn. Chrup je velmi poškozen jednak četnými kazy, dále obroušením kousacích ploch, ale i posmrtnými zlomeninami. V oblasti krku je patrný nádorový vřetenovitý měkkotkáňový útvar odpovídající chorobně zvětšené štítné žláze (obr. 16). V levém podbřišku je patrný pitevní otvor pro vynětí vnitřních orgánů. Na levé kosti vřetení je zhojená zlomenina (obr. 17). Tato žena se dožila pravděpodobně věku 50 – 60 let. Již v rámci prvního výzkumu v 70. letech 20. století byl proveden test radiokarbonovou metodou ^{14}C , který stanovil období života zemřelé do rozpětí mezi lety 1023 ± 144 př. n. l. a 978 ± 124 př. n. l., čili Třetí doby přechodné.

4.2.7 Mumie vznešené paní domu Tajkašet

Rakev s mumií měl původně z Egypta do New Yorku do nově zřízeného veřejného muzea přivést jistý německý občan Rudolf Müller. Bohužel se mu však nepodařilo získat americké vízum. Vzhledem k tomu, že byla mumie přechodně uskladněna u spediční firmy za nemalé částky a domů si ji vzít nemohl, rozhodl se ji darovat Národnímu muzeu v Praze. [16]



Obrázek 18 Tajkašet: koronální řez hrudníkem; jsou dobře patrné zbytky zachovalé trachey a hlavních bronchů.



Obrázek 19 Tajkašet: sagitální řez celou páteří; kromě změn daných věkem je vidět i preparační otvor pro vyjmutí mozku u foramen magnum.

Vyšetření výpočetním tomografem ukázalo, že byl mozek vyňat velkým týlním otvorem. Očnice jsou vyplněny imitací očí. Chrup vykazuje známky značného obroušení kousacích ploch, kazů a pozánětlivých změn. V hrudníku je zachovaná průdušnice s částmi hlavních průdušek (obr. 18). Na skeletu jsou pokročilé degenerativní změny podmíněné věkem (obr. 19). Žena zemřela ve věku 50 – 60 let. Pokud je v rakvi její původní majitel, lze období života zemřelé datovat do doby vlády 25. dynastie z oblasti Západních Théb.

4.2.8 Mumie zvířecích těl a jejich fragmentů

Těla zvířat se v Egyptě mumifikovala z různých důvodů. Především to byly následující čtyři. Asi nejvíce nasnadě je první účel mumifikace. Jednalo se o domácí mazlíčky, kteří byli mumifikováni z toho důvodu, aby se jejich majitel mohl z jejich společnosti těšit také po své smrti.

Druhým účelem mumifikace zvířat byla potřeba potravy v posmrtném životě. Proto se často nacházely jen soli konzervované nebo mumifikované kousky masa nebo celé kusy drůbeže, které měly sloužit k posmrtné výživě.

Třetím účelem mumifikace bylo uctívání posvátných zvířat, jakožto personifikace různých božstev. Podle oblastí mohly být druhy uctívaných zvířat různé. Asi

nejznámější je mumifikace ibise posvátného (personifikace boha Thovta), krokodýlů (personifikace boha Sobka obr. 22), koček (personifikace bohyně Bastet, obr. 20) apod..



Obrázek 20 Mumie kočky: v obvazech je zabalená celá kočka; Mumie se staly výnosným obchodem pro ty, kteří je vyráběli.



Obrázek 21 Mumie kočky: Obvazy skrývají nedokonalost; Lebka je celá, ale z kočičího těla je do obvazu zabalena pouze jeho část. Přední končetina s lopatkou.

Čtvrtým účelem byly obětiny bohům. Tyto obětiny měly zajistit trvalost posmrtného života a měly být jakýmsi posly přímlov k bohům v chrámech. Byly vytvářeny obvykle kněžími, kteří je prodávali běžným lidem k uctívání, případně k zanechání v chrámu, jako obětiny. [19]



Obrázek 22 Krokodýlí hlava; je ve velmi dobře zachovalém stavu, je velmi silně naimpregnována pryskyřicí bez zavinití do obinadel.

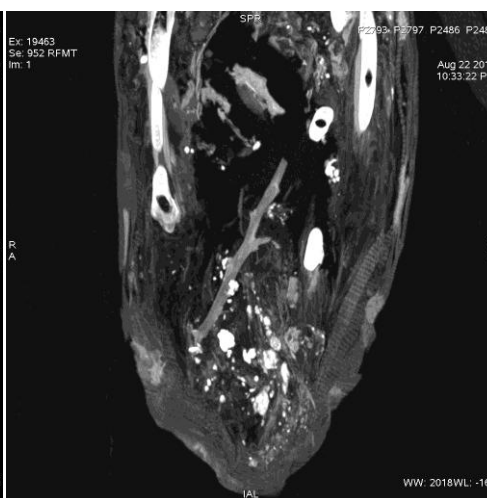


Obrázek 23 Poštolka; Zajímavý nález, lebka je přikrčena mezi rameny a otočena zobákem na opačnou stranu než je modeláž.

Výpočetním tomografem bylo skenováno několik desítek zvířecích mumii. Byly mezi nimi hlava krokodýla, balíčky krokodýlích mláďat (obr. 24), balíček krokodýlích mláďat s jednou přimíchanou rybou, mumie ptáků (obr. 23) včetně čápa, mumie ryb, balíček dvou hadů, mumifikované kočky či jejich fragmenty (obr. 21) nebo mumie psů. Ze zajímavých nálezů jedna ptačí mumie s dopodrobna vymodelovanou hlavou lebku vůbec neobsahovala. Ta byla až v úrovni ramen a navíc otočena čelem vzad. V balíčku s hady byl původně předpokládán jeden had, ale byla na CT skenech objevena druhá hadí lebka. Bohužel kvůli silnému narušení kontinuity páteře hadů rozlámáním není možné určit, zda jsou v balíčku celá těla nebo jen části.



Obrázek 24 Krokodýlí mládě; toto je virtuálně vyextrahovaný jeden jedinec, který je ve skutečnosti součástí balíčku asi 13 kusů.



Obrázek 25 Káně; Zajímavý nález, v těle ptáka pod obinadly tkví asi 8 cm dlouhá větvička bez zřejmého účelu.

U jedné kočičí mumie skeny napovídají, že i zvířecí ostatky mohly být dopravovány podobně jako lidské. V očníchích jsou zobrazeny nejspíše imitace očních bulbů. U ptáků je často velmi dobře zachované opeření. Mumie ibise posvátného má hlavu skloněnou zobákem podél dolních končetin, mezi kterými má umístěn malý balíček (nejspíše s vnitřními orgány). V jedné ptačí mumii byla nalezena blíže neurčená větvička dlouhá asi 8 cm (obr. 25). Je otázka, zda měla nějaký účel, např. jako výztuha při vysoušení před mumifikací nebo zda byla přibalena omylem.

4.3 DŘEVĚNÁ PLASTIKA MADONY

V únoru roku 2010 bylo provedeno vyšetření polychromované dřevěné plastiky Madony s Ježíškem z oblasti Loukova u Semil. Toto vyšetření bylo součástí rozsáhlého technologického výzkumu, jelikož byly vzneseny pochybnosti o dataci díla, jehož vnik

byl zařazen nejprve do barokního období. [20] Podle znalce však byla doba vzniku nově určena na 1. polovinu 15. století. V zadání byly restaurátorem vzneseny následující požadavky:

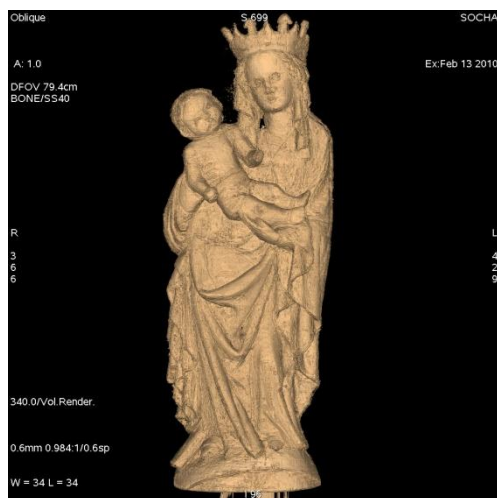
1. Přinést poznatky o vnitřní struktuře díla – mj. určit z kolika dílů je plastika sestavena.

2. Zjistit informace, zda některé z těchto součástí jsou evidentně nepůvodní – zdokumentování elementů z jiných materiálů, které nebyly součástí původního díla.

3. Objasnění původu lokálních dořezeb, eventuelně pozdějších zásahů do díla, které jsou kvalitou a způsobem řezby diametrálně odlišné od jinak stylově jednotného pojetí díla.

4. Získání co nejvíce poznatků o povrchové úpravě díla.

5. Exponování souboru projekcí, jež by mohly být výchozím materiálem pro provedení dendrochronologického testu. [21]



Obrázek 26 Socha Madony: virtuální prostorový model; Počítač z nasnímaných dat může imitovat skutečnost.



Obrázek 27 Socha Madony: virtuální průhledný model; Počítač má přednastavených několik presetů pro zvýraznění některých materiálů, v tomto případě kovu.

Příprava objektu téměř nebyla nutná. Rozměrově nepřesahovala toleranční meze. V plastice bylo umístěno jen několik drobnějších kovových skob a hřebíků, u kterých se nepředpokládal rušivý vliv na výsledný obraz.

Plastika byla položena nazad podélně s osou vyšetřovacího stolu, podstavou směrem do vyšetřovacího otvoru (obr. 28). Nebylo třeba žádné vypodložení. Vyšetřovací stůl sám o sobě je nektrastní a zároveň měkký, takže nehrozilo ani poškození plastiky.



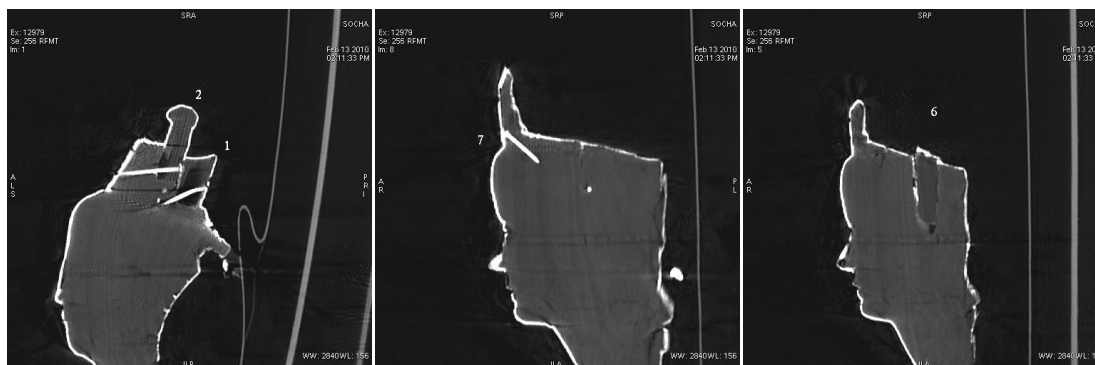
Obrázek 28 Dřevěná plastika na vyšetřovacím stole CT přístroje.

Byl zvolen vyšetřovací protokol, který byl uložen při vyšetřování mumifikovaných těl s mírnými rekonstrukčními úpravami. Parametry vyšetření: Napětí na rentgence 120/140 kV, modulované mA v rozmezí 200 - 250 mA, pitch 0,531, skenovací FOV 50 cm, šířka řezu 0,625 mm, rotace 0,8/sec, rekonstrukční filtr ostrý (bone) a měkký (standard). [3]

Výsledky vyšetření:

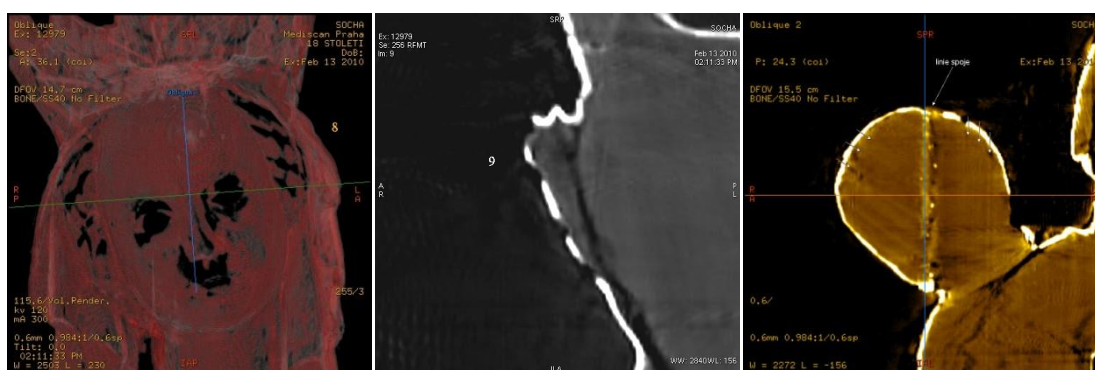
1. Koruna madony je složena z hrotitých a šipkovitých listů. První hrotitý vpravo a všechny šipkovité listy jsou ze separátních kusů dřeva. Dva krajní listy vpravo (obr. 29 - vlevo) jsou heterogenní a při svém dolním okraji je každý zvlášť přichycen k masivu 38 mm hřebem. Výška hrotitého listu je 35 mm a šipkovitého 49 mm. Druhý šipkovitý list zprava má výšku 48 mm a je k masivu přichycen skrz dolní přední i zadní okraj dvěma šikmo probíhajícími 23 mm hřeby. Třetí šipkovitý list zprava má výšku 51 mm a je k masivu pouze přitmělen. Čtvrtý a poslední šipkovitý list zprava je heterogenní a má výšku 48 mm a je k masivu přichycen skrz dolní přední i zadní okraj dvěma šikmo probíhajícími 23 mm hřeby. Všechny heterogenní listy (první hrotitý, první a čtvrtý

šipkovitý) vykazují velmi zvyrazněnou kresbu letokruhů. Ostatní listy mají podobný charakter kresby letokruhů jako zbytek masivu plastiky. Obvodovou rýhou koruny je zředu uprostřed šířky středového hrotitého listu veden hřeb 27 mm šikmo dolů do hlavy madony (obr. 29 - uprostřed).



Obrázek 29 Hlava dřevěné plastiky; *vlevo* – způsob upevnění přídavných listů koruny; *uprostřed* – hřeb vedený dovnitř hlavy, lze se domnívat, že sloužil k upevnění již nepřítomných přídavných prvků; *vpravo* – způsob zapaštění hranolu, snad na uchycení svatozáře.

Hlava madony – Uprostřed je shora vedený kuželový otvor (obr. 29 - vpravo) hloubky 50 mm a šířky u ústí cca 17 mm, do kterého je vsazen čtyřboký hranol směrem dolů se mírně zužující, délky 42 mm. V nejširší horní části má zadopřední rozměr 14 mm a laterální šířku 15 mm. V dolní nejužší části má zadopřední i laterální rozměr 10 mm. Hranol je v horní části zalomen. Na většině povrchu hranolu ve štěrbině mezi hranolem a stěnou otvoru je patrná povrchová úprava (tmel, lepidlo nebo stejný materiál jako na zbytku povrchu sochy). Kolem otvoru jsou praskliny v masivu komunikující s otvorem, které nejsou vyplněny žádným materiálem, pravděpodobně vznikly až v pozdější době po zaschnutí materiálu na povrchu hranolu.

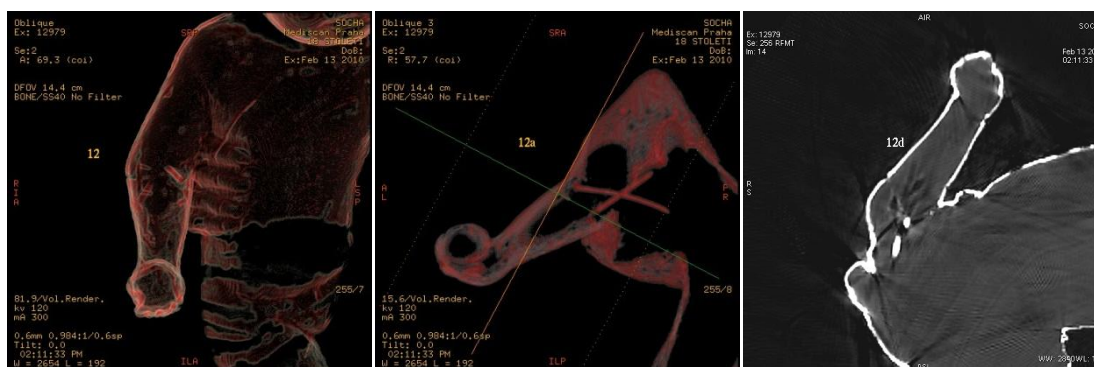


Obrázek 30 Vlasy dřevěné plastiky a hlava Ježíška; *vlevo* – v místech, kde jsou černé oblasti, chybí podkladová barva, nejspíše se základovou bělobou s vysokým obsahem kovu; *uprostřed* – totéž, příčný řez liniemi dořezeb; *vpravo* – místo spoje, hlavička Ježíška není z jednoho kusu.

Vlasy madony – Vrstva povrchového nátěru na vlasech vykazuje v rýhách odlišné absorpční vlastnosti rentgenového záření zjistitelné pomocí CT od zbytku takto upraveného korpusu (obr. 30 - vlevo). To znamená, že jsou zde patrna místa, kde povrchová úprava běžná na jiných místech korpusu chybí (obr. 30 - uprostřed).

Hlava jezulátka – Zadní třetina (týlní část) je ze samostatného kusu dřeva. Tento fragment je v místě spoje vysoký 80 mm a široký 70 mm (obr. 30 - vpravo).

Levá ruka jezulátka – Je ze samostatného kusu dřeva, který je přichycen v loketní oblasti. Odtud pokračuje z jednolitého kusu dřeva předloktí trnovitý výběžek v dolní části, který prochází skrz masiv sochy až nad úroveň protějšího (vnitřního) povrchu. Odtud je pak ještě připevněn při svém horním okraji 24 mm hřebem s širokou hlavičkou. Délka ruky po hlavní spoj je od špičky prstů 62 mm. Délka upevňovacího klínu v zadní části ruky je 35 mm. Celý kus včetně ruky i klínu je dlouhý 97 mm.

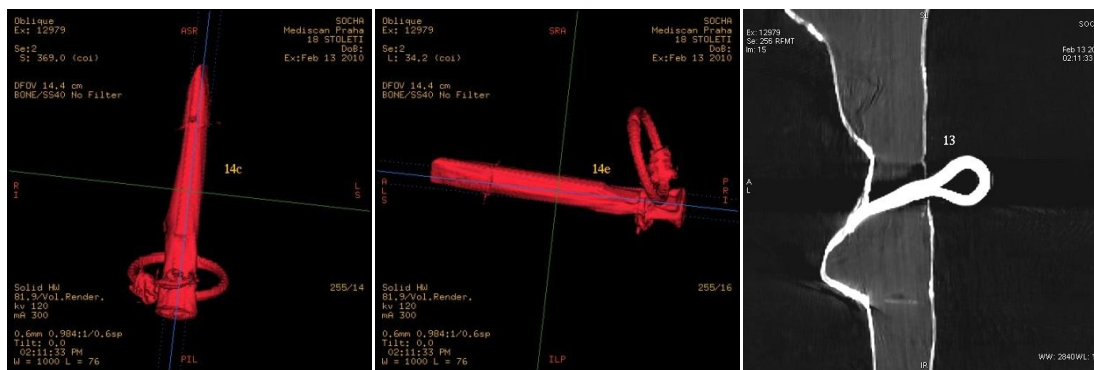


Obrázek 31 Pravá ruka jezulátka; *vlevo* – pohled na poloprůhlednou rekonstrukci obrazu zepředu, preset zvýraznění kovových částí; *uprostřed* – kolmá projekce, jsou zde patrné i křížící se upevňovací hřeby; *vpravo* – místo spoje je dobře zřetelné, přehlednost jen mírně ruší artefakty z rozhraní kvůli přítomnosti upevňovacích hřebů.

Pravá ruka jezulátka – jablko v ruce a ruka jsou z jednoho kusu. V nadloktí jsou z ventrální i dorzální části paže protichůdně vedeny dva hřeby 40 mm. Kříží se přibližně v polovině své délky a připevňují pravou horní končetinu jezulátka k masivu. Do lokte je z vnějšího boku zavedena skoba délky 10 mm a hloubky 6 mm. V nejdelším rozměru je celý tento separátní končetinový kus dlouhý 75 mm. Jablko má průměr 21 mm (obr. 31).

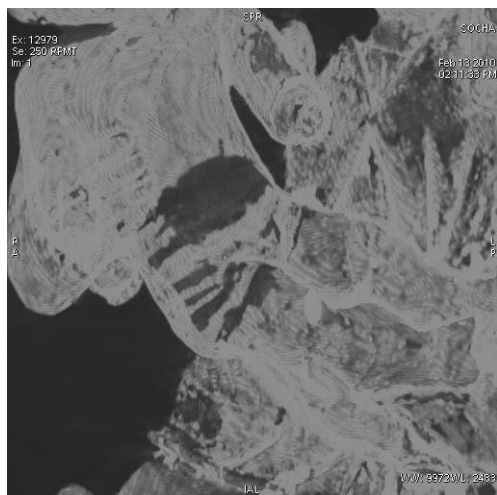
Další heterogenity – první závěsná skoba s kroužkem je umístěna ve výši cca 445 mm od podstavy uprostřed a neprochází celým masivem plastiky, ale jen do hloubky

cca 27 mm. Její délka je 103 mm a průměr závěsného kroužku je 42 mm (obr. 32 – vlevo a uprostřed). Druhá závěsná skoba s okem je umístěna cca 250 mm od podstavy uprostřed a prochází celým masivem sochy. Její délka je 62 mm (obr. 32 - vpravo). Uprostřed spodní plochy podstavy je několik mělkých otvorů s pravděpodobně kovovým otěrem po rzi a asi 6 otvorů bez otěru oboje nejspíše po fixačních hřebech. Tytéž otvory lze pozorovat při levém i pravém okraji v menším počtu.



Obrázek 32 Kovový závěsný materiál; *vlevo* – speciální typ zobrazení pro kovové objekty, skoba je na volném konci vybavena závěsným okem; *uprostřed* – kolmá projekce na předchozí skobu; *vpravo* – závěsné oko téměř probité skrz celou tloušťku dřevěného masivu.

2. Nejsou patrné žádné známky zjistitelné pomocí CT, že by kterýkoli ze separátních dřevěných kusů byl do plastiky přidán v průběhu pozdější doby.



Obrázek 33 Ježíškovo rouško; tento snímek poměrně názorně dokládá, jak snadno lze pomocí CT zjistit požadované skutečnosti nebo potvrdit či vyvrátit domněnky. Zde na dolní části Ježíškova břicha chybí povrchová úprava – základový nátěr, což se znázorňuje jako výpadek, tmavší místo. Z tohoto místa tedy nejspíše byla příslušná část s povrchovou úpravou a možná ještě něco nadto sneseno, a to s největší pravděpodobností až dlouho poté, co tato plastika poprvé spatřila světlo světa.

3. V oblasti rouška jezulátka je patrna změna vrstvy nátěru již v horní oblasti rýhy nad rouškem. Zde je vrstva povrchové úpravy ztenčena. Tento jev pokračuje do vzdálenosti cca 27 mm ve směru dolů (obr. 33). Podobný defekt je pozorovatelný také v oblasti očí madonky i jezulátka. V oblasti vlasů madony je patrný výrazný úbytek či

odstranění povrchové úpravy v místě prohloubení mezi jednotlivými prameny vlasů (obr. 30 – vlevo a uprostřed). Naznačuje to, že prameny vlasů byly vymodelovány v době po zaschnutí povrchového nátěru dodatečně.

4. Celá plastika je krom vyjmenovaných výjimek povrchově upravena a to jak zepředu, tak v zadní (vnitřní) části vrstvou rentgenkontrastního materiálu. Nejspíše se jedná o podkladovou vrstvu olovnaté či zinkové běloby nebo o jiný email obsahující kov. Nejčastěji se tloušťka této vrstvy pohybuje v rozmezí 1,5 - 2 mm. Místa s nejsilnější vrstvou nátěru jsou tato: čelo madonky 1,9 mm, přední plocha ve výšce 46 mm nad základnou až 2,4 mm a zářez ve výšce 28 mm nad podstavou, kde vrstva dosahuje tloušťky až 3,6 mm. Nebyly rozpoznány známky různorodých druhů nátěrů (vyjma výše uvedených lokalizací) ani jejich stáří.

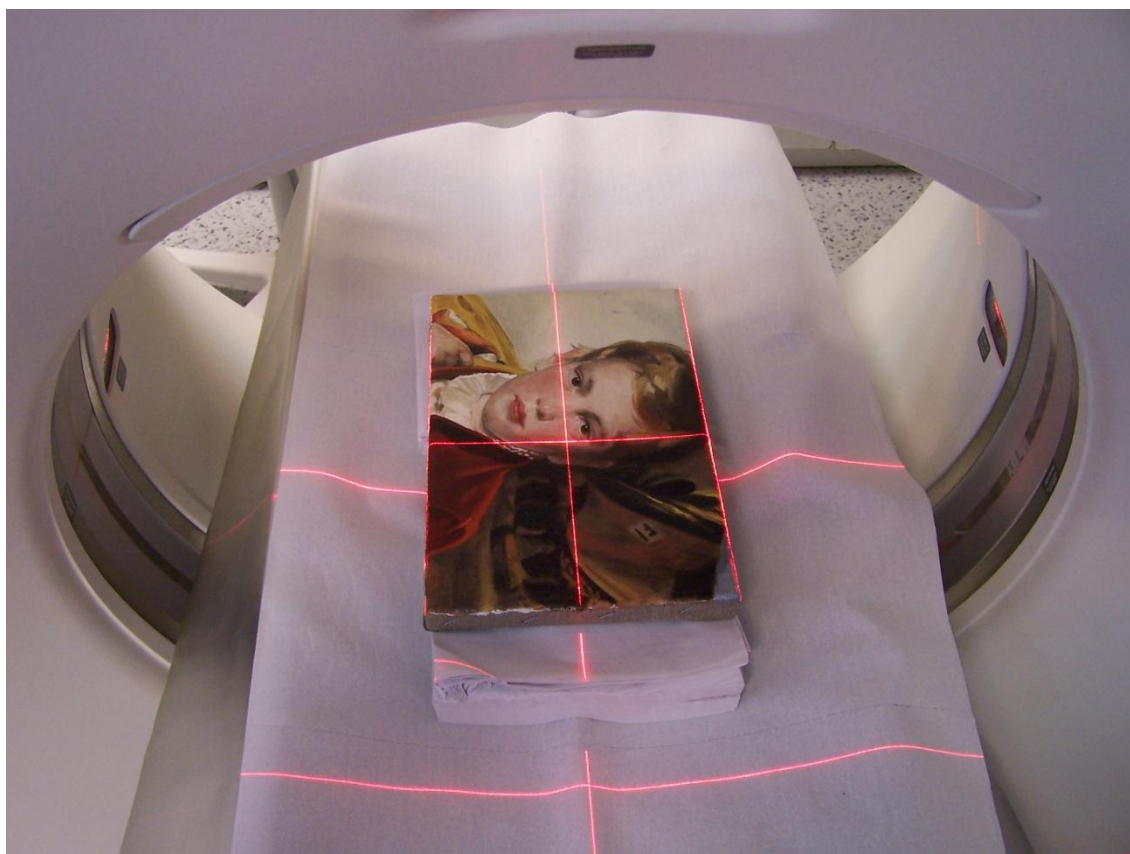
5. Dále byly zkoumány letokruhy dřeva, ze kterého je plastika vyrobena. Od prvního letokruhu diferencovatelného nejbližě středu původního kusu dřeva až po letokruh v nejširší části nejbližě povrchu původního kusu dřeva bylo napočítáno celkem 38 vrstev letokruhů. V průběhu celé plastiky se bohužel nevyskytuje místo, kde by bylo možné z jediného příčného řezu tento počet zjistit. Lze to však postupným posouváním do oblastí, kde nechybí zbývající část masivu, ač z druhého okraje postupně materiálu ubývá. [21]

4.4 OLEJOMALBA

V polovině roku 2010 bylo na CT oddělení v Mediscanu Praha provedeno vyšetření repliky obrazu s cílem zjistit možnosti CT metody u objektů tohoto typu. Zejména byl kladen důraz na detekci jednotlivých vrstev nátěru. Dále byla položena otázka, zda je možné určit jednotlivé typy pigmentů. Dalším úkolem bylo zjistit zvláštnosti v rekonstrukčním zobrazení a skutečnosti, které nejsou patrné pouhým okem.

Po zkušenostech byly nejprve zjišťovány rozměry olejomalby a zda neobsahuje velké kovové spojovací materiály v rámu. Jedinou kovovou součástí však byly nastřelovací svorky, které po obvodu rámu napínaly plátno. Rám samotný držel pohromadě pomocí čepů. Největší rozměr činil 300 mm. Vzhledem k tomu, že byl obraz rozměry podobný formátu A4, bylo možné bez problémů zkušební sken provést.

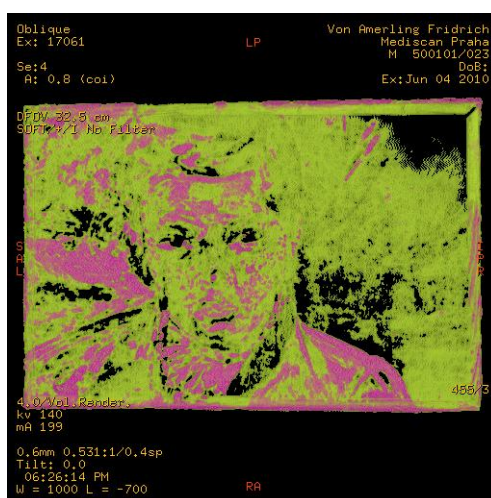
Obraz byl položen na vyšetřovací stůl podélně v dlouhé ose stolu, malbou nahoru. Zespodu byl na vzdálenějších koncích vypořádán na každé straně jedním stejně vysokým balíčkem buničiny, aby nedocházelo v žádném místě ke kontaktu rámu s podložkou stolu. Přestože má materiál vyšetřovacího stolu nízkou absorpční schopnost rentgenového záření, má ji stále vyšší než nekomprimovaná buničina. Pro optimální zacílení byly přes přesnou výškovou centraci pomocí laserů provedeny dva na sebe kolmé plánovací skeny (obr. 34).



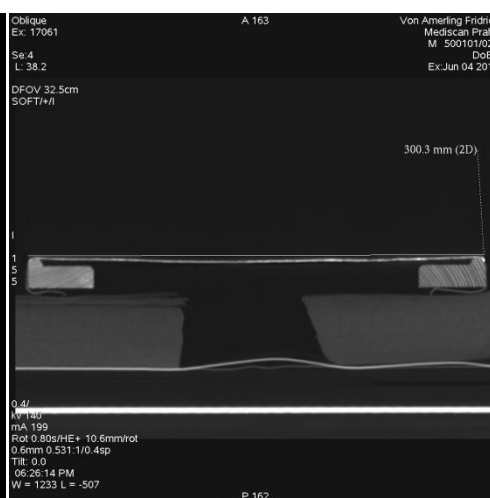
Obrázek 34 Replika historické olejomalby; Obraz byl zhotoven podle původního originálu pomocí několika specifických postupů, aby pak bylo možno zpětně vyhodnocovat, jaká je výtěžnost CT skenování v případě olejomalb. Základním podkladem je např. fotografická vrstva se sloučeninami stříbra.

Vzhledem k tomu, že se protokol pro skenování mumií velmi osvědčil při skenování dřevěné plastiky, byl s menšími úpravami použit i pro snímání olejomalby. Důležitou roli v tomto případě sehrála hlavně velikost skenovacího FOV. Napětí na rentgence opět ve dvou oddělených skenováních 120/140 kV, modulované mA v rozmezí 200-250 mA, pitch 0,531, skenovací FOV 30 cm, šířka řezu 0,625 mm, rotace 0,8/sec rekonstrukční filtr ostrý (bone) a měkký (standard).

Vzhledem k charakteru objektu byl první úkol velmi limitován rozlišovací schopností přístroje. Nejtěsnější dosažitelná vrstva byla 0,4 mm, což je hodnota podobná či větší než samotná vrstva malby. Dalším problémem byla nerovnost napjatého plátna. Zdánilivě rovná plocha se až při následné rekonstrukci ukázala jako gravitací mírně prověšená prohlubeň (obr. 36). Při zobrazení velmi tenké vrstvy tak docházelo k okrajovým či centrálním výpadkům obrazu. Z širších vrstev zobrazení MIP (z angl. maximum intensity projection) však bylo možno určit místa, kde pigment obsahuje vyšší podíl kovových prvků (barytová/zinková běloba) (obr. 35).



Obrázek 35 Olejomalba v jiném barevném schématu; ta místa, která jsou zde růžovou barvou mají nejvyšší podíl absorpance, tedy podíl kovových prvků.



Obrázek 36 Olejomalba: úskalí; jak je vidět na tomto zobrazení, uprostřed plátna je nerovnost, která způsobuje výpadky obrazu při planárním rekonstruování v rovině plátna.

V rekonstrukčním obraze bylo také možné pozorovat v některých místech linie tahu štětcem. V porovnání s prostorovými objekty však metoda CT maleb není tak výtěžná. Malby na pevné podložce (dřevo, slonovina nebo rohovina a kámen) jsou v tomto ohledu zajímavější. U těchto maleb bude zobrazena morfologie pevné podložky, celková technologická výstavba od podkladu, defekty, praskliny, modelace nebo jiné úpravy (např. puncování, modelace brokátu atd.). [3]

4.5 HLINĚNÝ DOPIS

V létě roku 2010 byl mezi jiným sbírkovým materiálem Náprstkova muzea proveden CT sken neotevřeného hliněného dopisu z dolní Mezopotámie. Stáří tohoto dopisu bylo stanoveno na přibližně dva tisíce let. Před existencí výpočetní tomografie

nebyla jiná možnost jak nahlédnout dovnitř neotevřeného dopisu než destruovat vnější hliněný obal, mnohdy zdobený nádhernými reliéfy (obr. 37 a 38). Výroba takové zprávy spočívala ve dvoufázovém postupu, kdy se nejprve vytvořila destička z čerstvé keramické hlíny, do ní se vyrazil potřebný text (klínovým písmem) a poté se destička vypálila v peci. Po vypálení byl tento vlastní dopis opatřen druhou vrstvou keramické hlíny – obálkou např. se zdobením reliéfy a opět se vše vypálilo. [22]

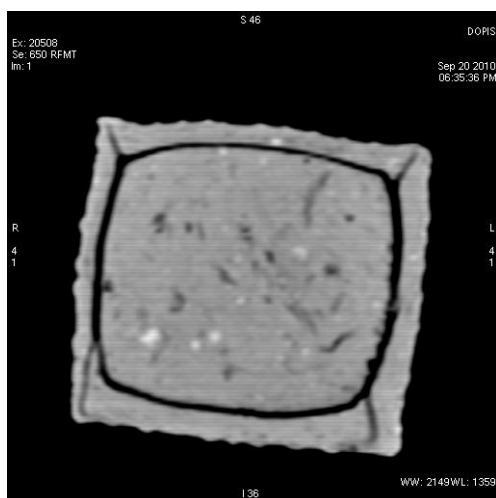


Obrázek 37 Hliněný dopis zepředu; objekt je po celém povrchu bohatě zdoben.

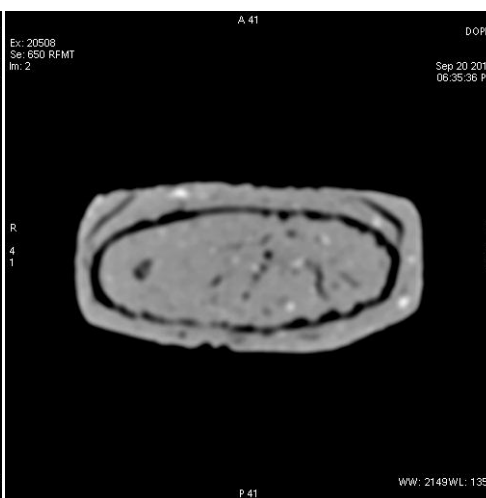


Obrázek 38 Hliněný dopis z boku; velikost objektu je na hranici vhodnosti pro výzkum pomocí lékařského CT přístroje.

Vzhledem k tomu, že tento objekt byl tak malý, že by se dal sevřít v dlani, nebylo nutné žádné jiné přípravy než jeho poměrně silného vypodložení řezanou buničinou jednak kvůli lepšímu zabránění případnému nežádoucímu kontaktu se zbytečně denznějším materiálem vyšetřovacího stolu a jednak kvůli tomu, že vyšetřovací stůl má korýtkovitý tvar a přes jeho okraje by horizontální zaměřovací laser nedopadal na vyšetřovaný objekt.

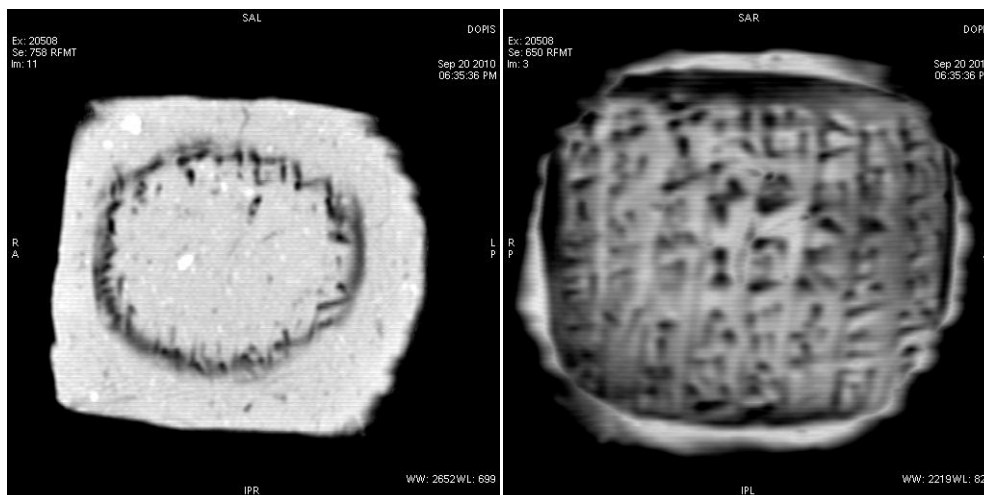


Obrázek 39 Hliněný dopis: koronální řez; jsou patrné obal i záznamová destička.



Obrázek 40 Hliněný dopis: příčný řez; mezi obalem a nosičem informace je patrná malá štěrbin.

Pro vyšetření byl opět zvolen stejný protokol jako při vyšetřování mumifikovaných těl jen s malými změnami. Nejdůležitější změnou bylo přenastavení skenovacího FOV na nejmenší možnou hodnotu, aby výsledný voxel (prostorový bod) nasnímaných dat byl co nejmenší. Napětí na rentgence 120/140 kV, modulované mA v rozmezí 200 - 250 mA, pitch 0,531, skenovací FOV 25 cm, šířka řezu 0,625 mm, rotace 0,8/sec, rekonstrukční filtr ostrý (bone) a měkký (standard).



Obrázek 41 Hliněný dopis: prostý řez; pomocí prostého řezu není možné dobře zobrazit souvislou plochu záznamu.

Obrázek 42 Hliněný dopis: řez v režimu MinIP; při tloušťce řezu přibližně 5 mm se krásně zobrazí záznam v celém rozsahu.

Ze začátku nebylo jisté, jestli bude možné pozorovat vnitřní strukturu tak podrobně, aby se daly rozeznat jednotlivé znaky klínového písma. Také nebylo známo, zda nebude vnější obal k reliéfu klínového písma příliš blízko, takže by pak mohly malé reliéfní rozdíly splývat (obr. 41). Avšak vzhledem k tomu, že bylo prozíravě pro rekonstrukci obrazu použito tzv. módu MinIP (z angl. minimum intensity projection), který spolehlivě zvýrazňuje veškeré dutinové systémy ve zvoleném rekonstrukčním řezu, bylo možno pozorovat celkem zřetelně jednotlivé znaky klínového písma vyraženého na povrchu vnitřní komponenty dopisu (obr. 42). Pokud tedy bude třeba zjišťovat obsah dosud neotevřených zpráv v takovýchto keramických dopisech, je metoda skenování výpočetním tomografem velmi vhodná.

DISKUSE

Vyšetřování uměleckých a historických objektů pomocí lékařského výpočetního tomografu je především předmětem spolupráce mnoha oborů ať už jde o egyptology a archeology, restaurátory a konzervátory, historiky, antropology, lékaře, fyziky či další. Nejedná se o běžnou vyšetřovací metodu a prolínání těchto oborů vyžaduje obvykle vytvoření nových optimálních parametrů a vyšetřovacích algoritmů. Tato bakalářská práce může posloužit zároveň jako určitý výchozí vyšetřovací návod pro tyto případy.

Metoda výzkumu výpočetním tomografem se velmi osvědčila při určování charakteru vnitřní stavby hudebního nástroje i dřevěné plastiky. V obou případech bylo možné provádět přesná měření v nepřístupných místech a odlišovat od sebe jednotlivé stavební prvky. Výpočetní tomograf pomohl potvrdit domněnku o poškození sochy pozdější řezbářskou úpravou a určil přesný počet kusů, ze kterých je plastika sestavena včetně odlišnosti v druhu dřeva jednotlivých dílů.

Při vyšetřování mumifikovaných těl bylo možné pozorovat nejen způsob uspořádání zábalového materiálu, ale také byly dobře patrné vložené artefakty jako umělé oči nebo balíčky s vnitřními orgány. V neposlední řadě mohly být lékařem učiněny diagnostické nálezy na pozůstatcích kostry a zbylých měkkých tkání mumifikovaných těl.

Skenování CT přístrojem se ukázalo jako mimořádně vhodné pro zkoumání keramických předmětů. Výpočetní tomograf u keramického dopisu podrobně zobrazil jemnou povrchovou úpravu s vyraženým textem, který byl v CT obraze dobře diferencovatelný. To otevírá cestu k případnému výzkumu dalšího keramického materiálu ve sbírkách muzeí.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo přinést souhrn dosud prakticky vyzkoušených oblastí použití lékařského CT přístroje pro nelékařské účely včetně poznatků nabytých během provádění těchto vyšetření na našem pracovišti. Výsledkem je vytvoření standardů parametrických hodnot pro nastavení CT přístroje, které jsou optimální pro efektivní zobrazení charakteristického objektu a současně upozornit na individuální odlišnosti v jednotlivých případech. Jedním ze zamýšlených účelů této práce je také osvětové působení v řadách radiologických asistentů i laické veřejnosti s poukázáním na fakt, že možnosti využití lékařského CT přístroje nekončí jen u živého lidského těla. Jak se se zvyšujícím povědomím o těchto možnostech bude zvyšovat počet takto prováděných vyšetření, bude stoupat i dovednost a efektivita personálu.

Pokud se týká samotných metod, jako nejvýtečnější se jeví CT skenování při použití pro výzkum dřevěných plastik, hudebních nástrojů a hliněného dopisu. Pro prvovýšetření mumifikovaných tělesných pozůstatků je CT skenování velmi vhodné a pro zpřesnění, případně doplnění informací po předchozím rentgenovém vyšetření je vhodná také. Jako nejméně výtěžná se tato metoda jeví při výzkumu malířských pláten, pomíneme-li možnost zkoumat dřevěný, hliněný či jiný rám, na kterém je malba napnuta/provedena.

PRAMENY

1. CHUDÁČEK, Zdeněk. 1995. Radiodiagnostika I. část. Brno : IPVZ, 1995. 293 s. ISBN 80-7013-114-4.
2. *Imaginis: Brief History of CT*. 2012 [online]. [Greenville, South Carolina, USA] : Imaginis, c1997 - 2012 [cit. 23. března 2012]. Dostupné z WWW: <<http://www.imaginis.com/ct-scan/brief-history-of-ct>>.
3. PEČENÝ, Jakub. 2010. Zkušenosti s použitím lékařského rentgenového výpočetního tomografu při zkoumání historických a uměleckých objektů. In: *Acta Artis Academica: Sborník 3. mezioborové konference ALMA*. Praha: Akademie výtvarných umění, 2010. s. 227 – 242. ISBN 978-80-87108-14-7.
4. ULLMANN, Vojtěch. 2012. *Jaderná fyzika a fyzika ionizujícího záření: 3. Aplikace ionizujícího záření: 3.1 Jaderné a radiační metody – obecné vlastnosti*. [online]. [cit. 20. února 2012]. Dostupné z WWW: <<http://astronuklfyzika.cz/JadRadMetody.htm#2>>.
5. ELIÁŠ, P. et al. 1998. *Moderní diagnostické metody. II. díl Výpočetní tomografie*. 1. vyd. Brno : IPVZ, 1998. 84 s. ISBN 80-7013-294-9.
6. MUDROVÁ, Martina. 2004. *Zpracování obrazů: 2. Barvy v počítačové grafice*. [online]. Praha: Vysoká škola Chemicko-Technologická, Ústav počítačové a řídicí techniky, 2004 [cit. 15. února 2012]. Dostupné z WWW: <<http://uprt.vscht.cz/mudrova/zob/prednasky/02-BARVY/Barvy.pdf>>.
7. ŽIŽKA, Jan. 2011. Iterativní rekonstrukce CT obrazu – revoluční krok ve vývoji výpočetní tomografie?. In: *Česká Radiologie*. ISSN 1210-7883, 2011, roč. 65, č. 3, s 169-176.
8. KOZUBÍKOVÁ, Petra.; HORÁK Martin. 2011. *Porovnání klasického rekonstrukčního algoritmu filtrované zpětné projekce (FBP) a algoritmu*

iterativní rekonstrukce (IRIS). In: *Česká Radiologie*. ISSN 1210-7883, 2011, roč. 65, č. 3, s 177-182.

9. PINNA, D.; GALEOTTI, M.; MAZZEO, R. 2009. *Scientific Examination for the Investigation of Paintings. A Handbook for Conservator-restorers*. Firenze : Centro Di della Edifimi srl Lungarno Serristori 35. 2009.
10. RENFREW, Colin; BAHN Paul. 2008. *Archaeology – Theories, Methods and Practice*. 5.vyd. London: Thames & Hudson Ltd, 2008. 656 s. ISBN 978-0-500-28719-4.
11. DRENKHAHN, Rosemarie; GERMER, Renate. 1991. *Mumie und Computer*. Hannover : Kestner-Museum Hannover, 1991. 111 s. ISBN 3-924029-17-2.
12. *Mummy: Results of Interdisciplinary Examination of the Egyptian Mummy of Aset-iri-khet-es from the Archaeological Museum in Cracow*. 2001. Kraków : Polska Akademia Umiejętności. 2001. ISBN 83-88857-25-8.
13. STROUHAL, Evžen. 1971. *Staroegyptské mumie*. Katalog výstavy. Praha : Náprstkovo muzeum asijských, afrických a amerických kultur, 1971. 38 s. 2000 výt.
14. AUFDERHEIDE, A. C. 2003. *The Scientific Study of Mummies*. Cambridge : Cambridge University Press, 2003. 626 s. ISBN 0-521-81826-5.
15. HUGHES, Stephen. 2011. *CT Scanning in Archaeology*. In: SABA, Luca. *Computed Tomography – Special Applications*. Rijeka : InTech, 2011. s. 57-70. ISBN 978-953-307-723-9.
16. *Egyptské mumie*. 2011. Praha : Národní muzeum. 2011. ISBN 978-80-7036-306-9.
17. *Mumie und Computer II*. 2003. Hannover : Kestner-Museum. 2003. ISBN 3-924029-32-6.

18. HLOŽEK, Martin; KRUPA, Petr. 2006. Využití výpočetní tomografie (CT) při průzkumu archeologických a historických artefaktů. In: *Konference konzervátorů a restaurátorů 2006 v Chebu. Sborník*. Cheb : Konference konzervátorů a restaurátorů, 2006. s. 36-40. ISSN 1801-1179.
19. Ägyptische Mumien. 2007. Stuttgart : Landesmuseum Württemberg. 2007. ISBN 978-3-8053-3778-6.
20. VOSÁTKOVÁ, Pavla; COUFAL, Jan. 2010. Restaurátorská zpráva o technologickém průzkumu Madony z Dolní Sytové. Turnov, 2010. 11 s. + přílohy. Restaurátorská zpráva pro Římskokatolickou farnost Loukov u Semil.
21. PEČENÝ, Jakub. 2010. Gotickou sochu zkoumalo CT. In: *Okno do Euromedicu*. Firemní oběžník. Praha : Euromedic International, 2010, č. 1, s. 11.
22. PEČENÝ, Jakub. 2011. Výzkum egyptských mumií v Mediscanu Praha. In: *Okno do Euromedicu*. Firemní oběžník. Praha : Euromedic International, 2010, č. 1, s. 8-9.