

Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i.
Prosecká 76, Praha, 190 00



Výzkumná zpráva

RADIOGRAFICKÁ DOKUMENTACE ŠTUKOVÉ VÝZDOBY GROTT V ZÁMKU KROMĚŘÍŽ



Vypracoval:

Ing. Jaroslav Valach, Ph.D.
Marek Eisler

Říjen 2024



Co-funded by
the European Union

Vypracováno v rámci projektu
STUCCO DECORATION ACROSS EUROPE
reg. č. 2022-1-CZ01-KA220-HED-000085652.

Obsah

Úvod	3
Digitální radiografie.....	3
Použité zařízení pro zdroj RTG záření	4
Použité zařízení pro detekci RTG záření a vyhodnocení radiogramů	4
Zpracování dat	5
Seznam pořízených obrázků	7
Obrazová dokumentace	8
Závěr	34

Úvod

Na základě plánu výzkumných činností projektu STUDEC byl proveden v grottách Kroměřížského zámku radiografický průzkum a dokumentace štukové výzdoby.

Digitální radiografie

Princip a postup digitální radiografie se záznamem na desky lze stručně popsat následujícím způsobem:

Rentgenovo záření se na rozdíl od viditelného světla vyznačuje značnou dávkou pronikavosti. Míra jeho absorpce je závislá na tloušťce a prvkovém složení zkoumaných objektů. Tuto vlastnost lze využít pro zobrazení vnitřní struktury objektů, je-li k dispozici materiál citlivý na míru expozice rentgenovu záření. Pokud se pohlčená dávka projeví například stupněm šedi, může být převedena na obraz přímo interpretovatelný zrakem.

Výše zmíněný princip je v použitém zařízení uplatněn následujícím způsobem:

Látka na bázi fosforu reagující na expozici RTG zářením je nanášena na ohebnou desku jako citlivá vrstva. Deska je vložena do tmavého polymerního obalu, který minimálně tlumí průchod RTG záření, ale zcela blokuje vstup viditelného světla. Objekt, jehož vnitřní struktura je studována, musí být přístupný ze dvou stran tak, aby na jedné straně mohl být umístěn zdroj RTG záření a na druhé straně záznamová deska.



Oproti tradičním filmům pro záznam RTG obrazů mají desky výhodu suchého procesu, výrazně kratšího čekání na získání radiogramu, velkého dynamického rozpětí zaznamenaných intenzit záření. Další výhoda desky oproti klasickému filmu spočívá v opakovatelném použití desky.

Současně je důležité zdůraznit flexibilitu desek, která přináší možnost dokumentovat objekty, za kterými zbývají pouze úzké škvíry a mezery, případně použít desku/fólii v ohnutém stavu. Snadnost citlivého umístění fólie ilustruje i následující obrázek přípravy na pořízení radiogramu. Výhoda flexibility je v oblasti dokumentace památek tak významná, že jsou desky používány i přes dostupnost elektronických záznamových plochých panelů.

Použité zařízení pro zdroj RTG záření

RTG pulzy byly generovány pomocí zařízení Inspector XR200. Jedná se o zdroj neobsahující trvale ionizující zdroj záření, kterým obvykle bývá směs radioisotopů. XR200 používá princip vytváření RTG záření dopadem urychlených elektronů na kovový terčik, a proto v čase mimo použití nepředstavuje žádné bezpečnostní riziko.

X-Ray Generator, INSPECTOR Model XR200

Art.-No.: 150150

Cert.-No.: BfS 070/09 R RøV



Použité zařízení pro detekci RTG záření a vyhodnocení radiogramů

Pro detekci RTG záření slouží flexibilní opakovaně použitelné desky, ze kterých je vytvořený radiogram vyčítán speciálním skenerem, v němž je deska navinuta na rotující buben. Konkrétně se jedná o systém DIMAP Mk3 (akronym DIMAP je sestaven z částí rozvinutého názvu „Digital IMAge Plate system“).

Po nastavení příslušného počtu impulzů na RTG zdroji (v závislosti na tloušťce a atomovém složení zkoumaného materiálu) se deska exponuje, přičemž formování obrazu ve výsledkem různého útlumu generovaného záření průchodem zkoumaným objektem. Vystavením citlivé vrstvy desky RTG záření nastane v jejím materiálu trvale excitovaný stav, který se projevuje změnou odstínu na povrchu desky, ale v infračervené oblasti spektra. Lidskému oku je tedy

vzniklá změna neviditelná a musí být použitý skener, který sekvenciálně vyčte hodnoty ztmavnutí (míra ztmavnutí v daném bodu desky je dána jako převrácená hodnota poměru mezi známou intenzitou dopadajícího světla z IR laseru a intenzitou odraženého IR záření zaznamenanou infračerveným detektorem) a sestaví je podle polohy na desce do matice, v níž se formuje obraz. Tento obraz je postupně přenášén do notebooku, ve kterém probíhá jeho zobrazení i další kroky zpracování. Podle volby rozlišení, je možné dosáhnout různé úrovně detailu ve snímku – 150, 300 a 600 dpi. Nárůst rozlišení s sebou přináší další dva důsledky – prodlužování času čtení obrázku skenerem – 3, 7 a 15 minut, ale také zvýšení relativního významu šumu. Z výše uvedených důvodů bylo pro většinu prováděných záznamů využito rozlišení 150 dpi. Po vytvoření a přenesení obrazu do počítače, je třeba obnovit základní stav citlivé vrstvy v desce, což se provádí vystavením desky intenzivnímu záření bílé fluorescenční trubice v délce trvání alespoň dvě minuty.

Digital Image Plate System

„DIMAP®“ Mk3

Art.-No.: 150197

NATO-Stock-Number: 6635-12-357-3781



Zpracování dat

Radiogramy jsou bitmapové obrázkové soubory s úrovněmi šedi kódovanými do šestnáctibitových hodnot. Pro snazší orientaci uživatelů je vhodné tyto soubory transformovat na standardní (8 bit) černobílé obrázky a provést eliminaci šumu a další vyhlazení odstínů šedí vhodnými filtry, obvykle mediánovým filtrem, který nahrazuje hodnotu intenzity šedi v daném pixelu hodnotou intenzity šedi mediánu posloupnosti hodnot ve vybraném okolí. Tento filtr potlačuje náhodné odchylky, ale současně ponechává ostré

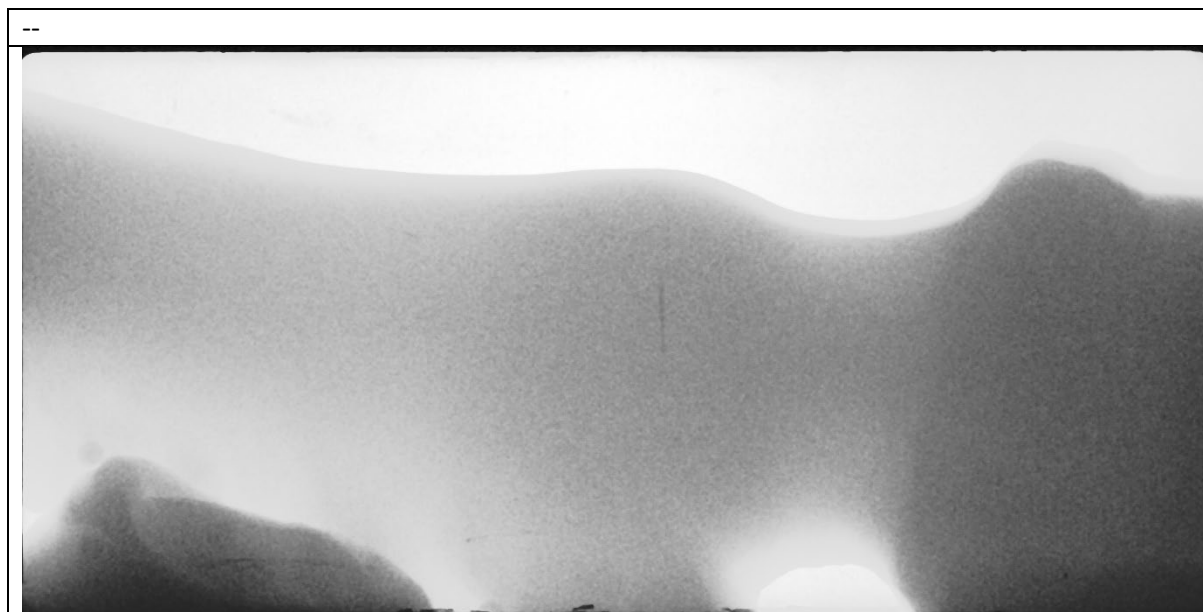
všechny hrany a jiné objekty. Pro tento účel bývají používány vlastní skripty vytvořené v prostředí MATLAB. Výsledky jsou prezentovány níže. Radiogramy a fotografie jsou v plném rozlišení přiloženy jako digitální data k této zprávě na digitálním nosiči. (V popisku lze najít odkaz na název souboru s digitálně upraveným radiogramem (soubory snn.png) a původním záznamem z desky, Scanned_0nn.tif). Na datovém nosiči (USB Flashdisk) jsou přiloženy jak původní radiogramy s 16-bit rozlišením – soubory “*Scanned_0nn.tif*”, tak jejich verze upravené pomocí mediánového filtru (označení *Scanned_0nnmedfilt.tif*), případně odmocninou, resp. logaritmem přeškálované rozpětí intenzit (*Scanned_001medfilt-sqrt.tif*, resp. *Scanned_001medfilt-log.tif*). Dokumentační fotografie jsou k dispozici v adresáři: “fotodokumentace”.

Seznam pořízených obrázků

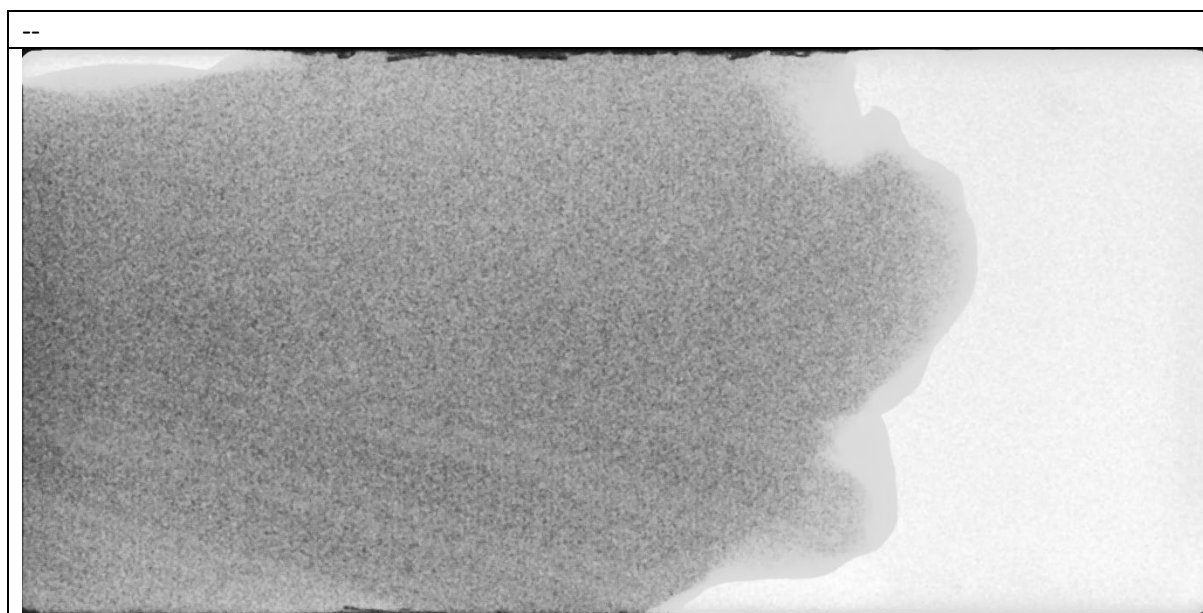
Popis	Dokumentační foto	Radiogram	Gr.	Obr #
Kopyto pískovcového fauna	-	Scanned_001	-	1
(Grotta dračí sluj) Hlava draka z grotty	-	Scanned_002	s	2
Hlava draka podruhé	20241030_113312.jpg	Scanned_003	s	3
Větvička	20241030_114522.jpg, 20241030_114859.jpg	Scanned_004	s	4
Ocas draka	20241030_121020.jpg nebo 20241030_121030.jpg	Scanned_005	s	5
fantazijní květina	20241030_141208.jpg	Scanned_006	s	6
Převíslý kámen – slepenec	20241030_144110.jpg a 20241030_144047.jpg	Scanned_007	s	7
Větev u kmene stromu	20241030_151116.jpg	Scanned_008	s	8
Kmen	20241030_152136.jpg	Scanned_009	s	9
Květ nad vchodem do grotty	20241030_153428.jpg	Scanned_010	s	10
(grotta důl) horník (s bílou halenou slézající po žebříku) – rameno	20241030_154918.jpg	Scanned_011	d	11
Rameno žlutého visícího horníka	20241030_160428.jpg a detail 20241030_160443.jpg	Scanned_012	d	12
Pejsek – partie kolem ocasu	20241030_162432.jpg	Scanned_013	d	14
Zkřížené nohy visícího horníka	20241030_163742.jpg	Scanned_014	d	13
Pejsek – hlava	20241031_093608.jpg	Scanned_015	d	15
(2. den) Krápník nad vchodem do grotty	20241031_095740.jpg a detail 20241031_095759.jpg	Scanned_016	d	16
Zadní pravá noha koně (část 1)	20241031_100816.jpg	Scanned_017	d	18
Krápník nad východem do zahrady	20241031_103032.jpg	Scanned_018	d	17
Zadní pravá noha koně (část 2)	20241031_105705.jpg a umístění 20241031_105739.jpg	Scanned_019	d	19
Zadní pravá noha koně (část 3)	20241031_110932.jpg	Scanned_020	d	20
Hlava koně	20241031_113606.jpg a umístění 20241031_113531.jpg	Scanned_021	d	21
Ocas koně a levá zadní noha	20241031_120126.jpg	Scanned_022	d	22
Levá přední noha (dál od generátoru)	20241031_121619.jpg	Scanned_023	d	23
Pravá přední noha (blíže)	20241031_121619.jpg	Scanned_024	d	24
(Grotta dračí sluj) objekt nad fontánou	20241031_142927.jpg	Scanned_025	s	25
Orlice	20241031_150412.jpg	Scanned_026	s	26
Převíslý útvar proti dveřím do zahrady	20241031_153448.jpg	Scanned_027	s	27

Pozn.: U sloupce „Gr.“ Označuje písmeno „s“ grottu „dračí sluj“ a písmeno „d“ zase „důl“.

Obrazová dokumentace



Obr. 1: Testovací radiogram na noze fauna (v sále před grottou „dračí sluj“).



Obr. 2: Radiogram draka v „průhledu“ přes materiál hlavy, který brání zviditelnění armatur.



Obr. 3: Hlava draka s odpovídajícím radiogramem ukazujícím přítomnost vnitřní drátové kostry.



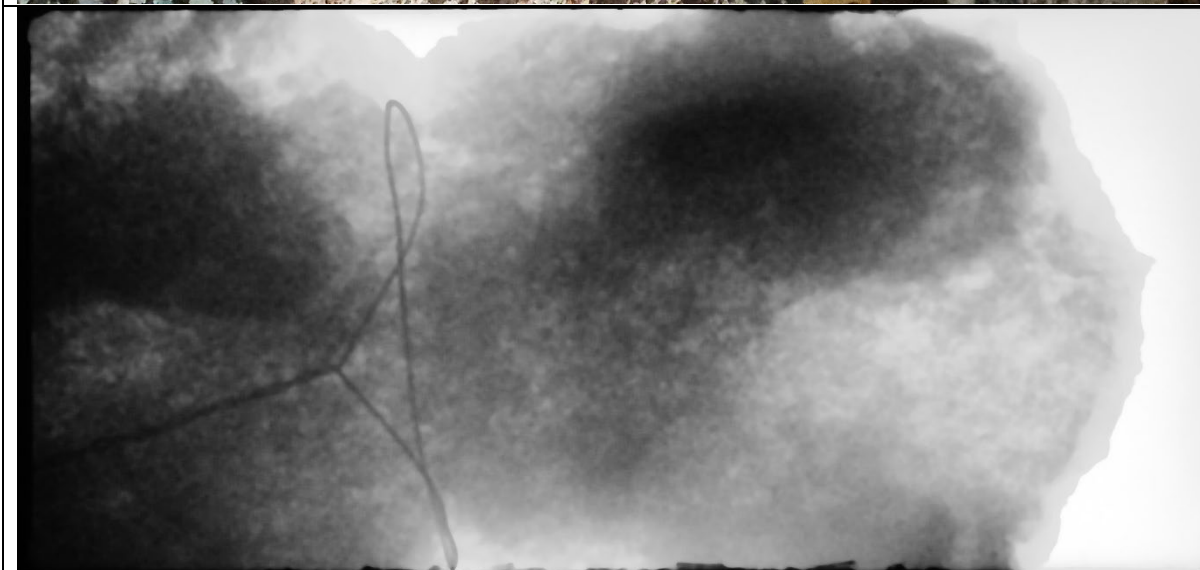
Obr. 4: Větvička dubu se skutečnou kůrou fixovanou hřebíky na podklad, který obaluje drátovou konstrukci.



Obr. 5: Ocas draka s větvíčkou opatřenou plechovými lístky a odpovídající radiogram.



Obr. 6: Vnitřní struktura fantazijní květiny tvořené kombinací štuku a mušlí včetně radiogramu.



Obr. 7: Zavěšený blok slepence zaměřený na měděném drátku ke stropní konstrukci zahrnující převážně přikotvení skobami do spár cihelné klenby.



Obr. 8: Detail kmene stromu s boční větví. Vnitřní konstrukci kmene už pro tloušťku není možné prozářit.



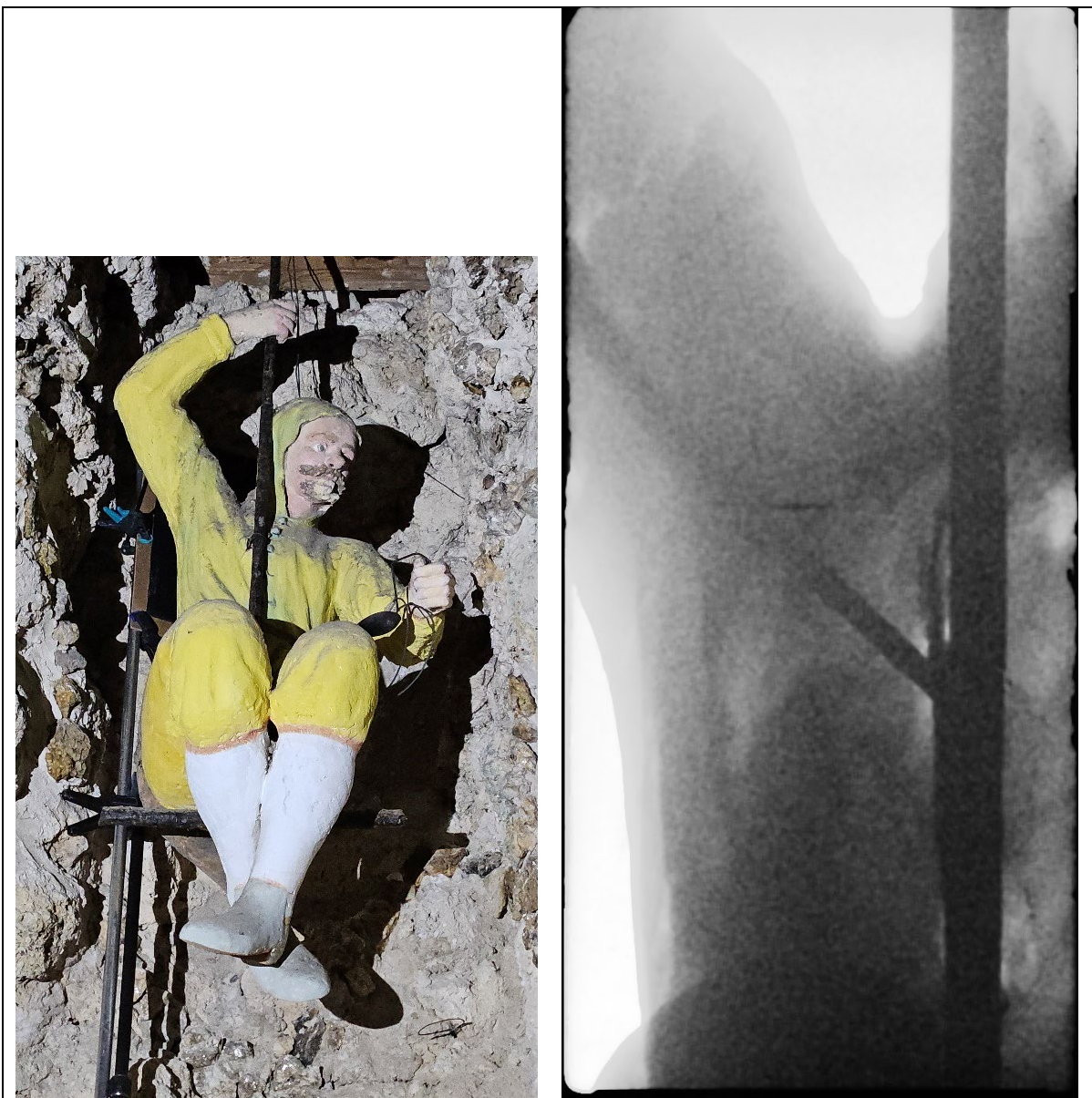
Obr. 9: Jiný detail kmene s odpovídajícím radiogramem a omezeným zobrazením vnitřní stavby objektu.



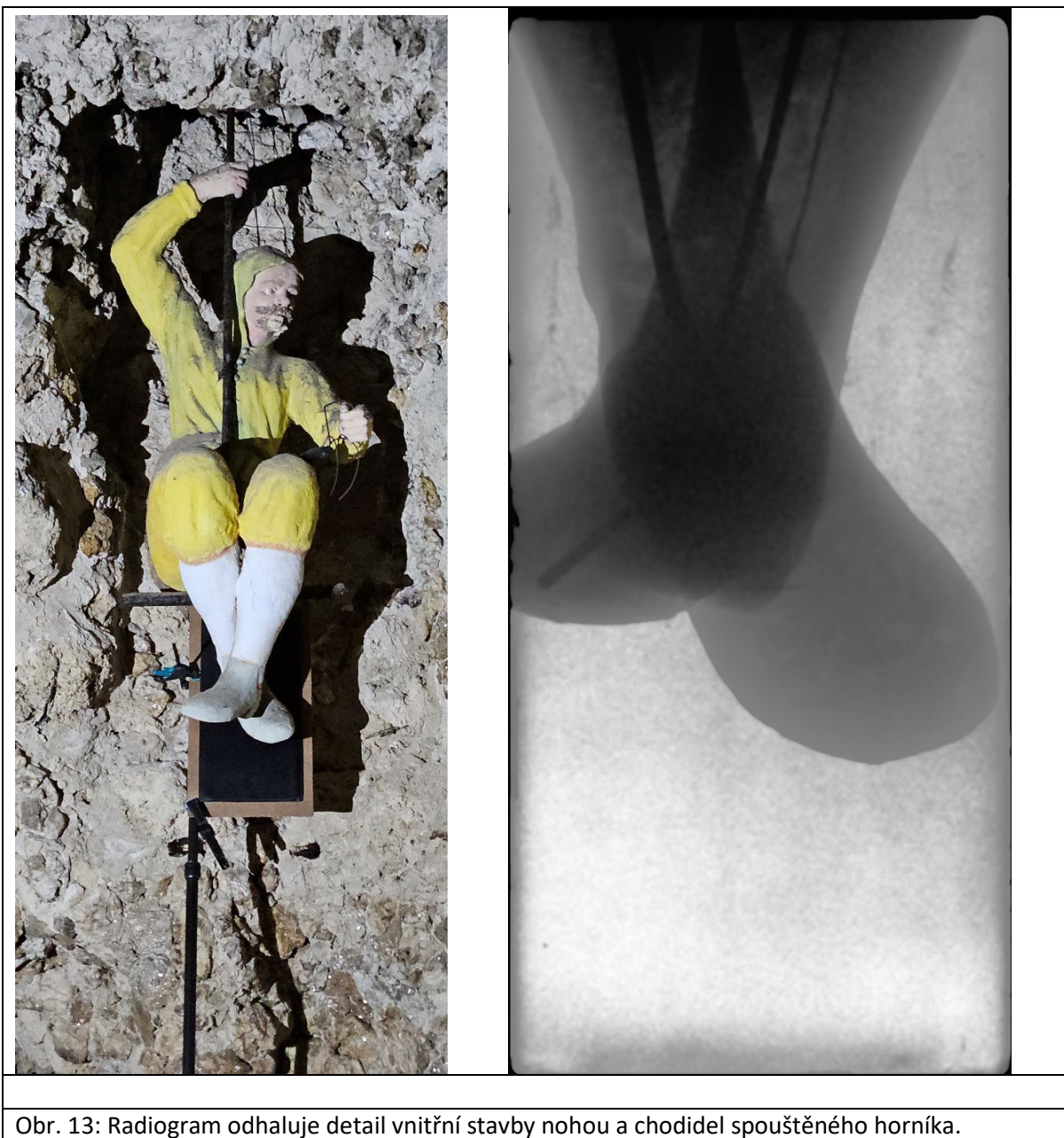
Obr. 10: Květ nad vstupem do grotty. Kontrast v radiogramu zvýrazňuje přítomnost dekorativních kamínků a mušlí, ale také pomocné konstrukce z tenkých drátků.



Obr. 11: Levé rameno horníka lezoucího po žebříku. Vnitřní výztuha je na radiogramu slabě viditelná jako diagonální linie jdoucí z levé horní části do pravé spodní části.



Obr. 12: Rameno „spouštěného horníka ve žlutém“. V radiogramu zřejmě došlo k zákrytu mezi svislou vnitřní armaturou a tyčí představující lano, na němž je figura spouštěna.



Obr. 13: Radiogram odhaluje detail vnitřní stavby nohou a chodidel spouštěného horníka.



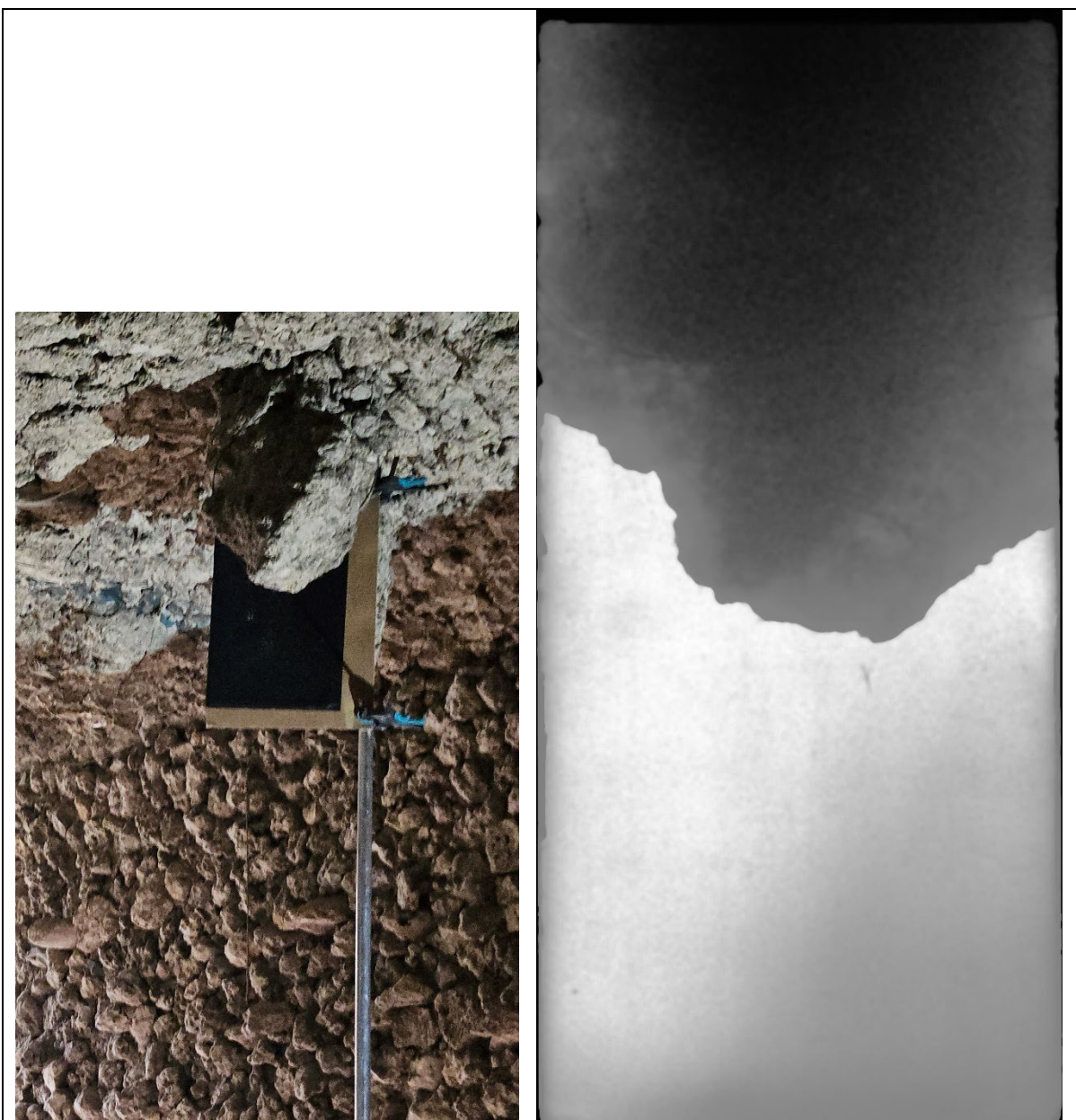
Obr. 14: Detail zadní části hnědého psíka – nosiče. Radiogram řešení nohou a ocásku naznačuje z nepropojení armování, že by základem těla mohl být dřevěný blok, do kterého jsou kovové části zakotveny.



Obr. 15: Přední část pejska-nosiče. Radiogram ukazuje řešení armatur shodné se zadní částí.



Obr. 16: „Krápník“ nad vchodem do grotty. Množství svazujících drátků viditelných v radiogramu potvrzuje, že možná už tvůrci, nebo později restaurátoři si byli vědomi velkého nebezpečí pádu plynoucího z „konstrukčního řešení“.



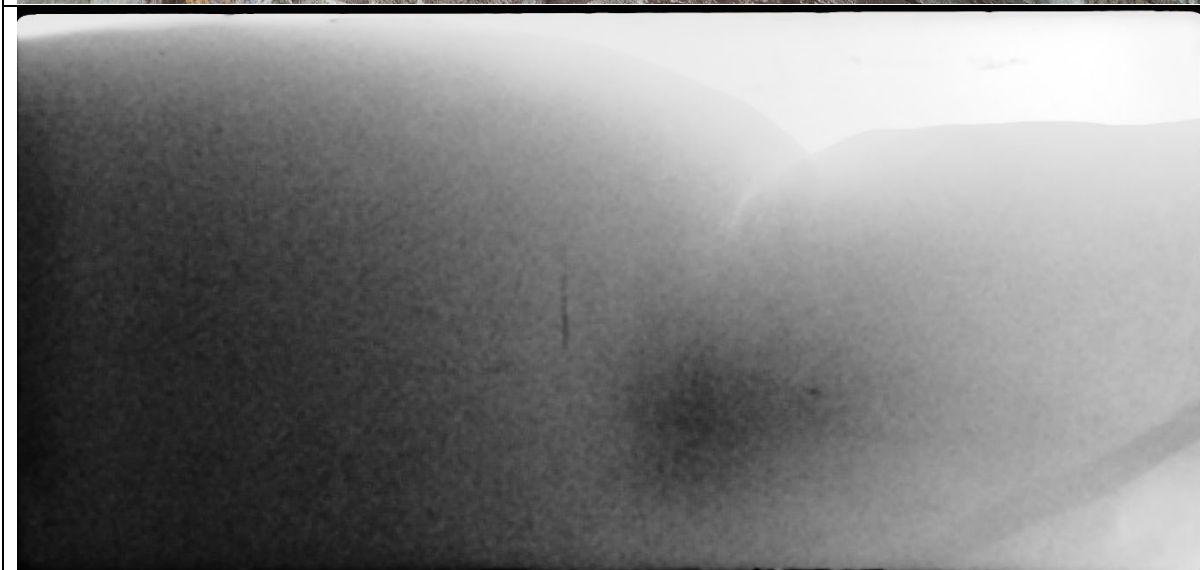
Obr. 17: Jiný masivní výstupek poblíž východu do zahrady. Množství látky ukazuje jen jeden vázací-kotvící drát, další mohou být radiogramu skryté.



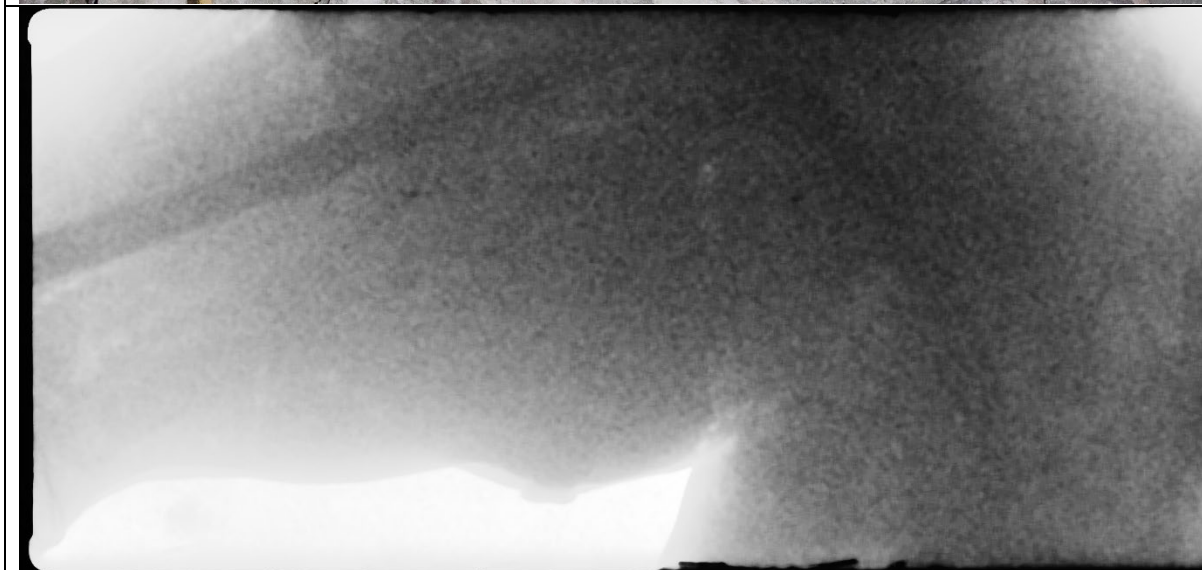
Obr. 18: Zadní pravá noha důlního koně odhalující na radiogramu rozsah poškození patrného i při vizuální inspekci.



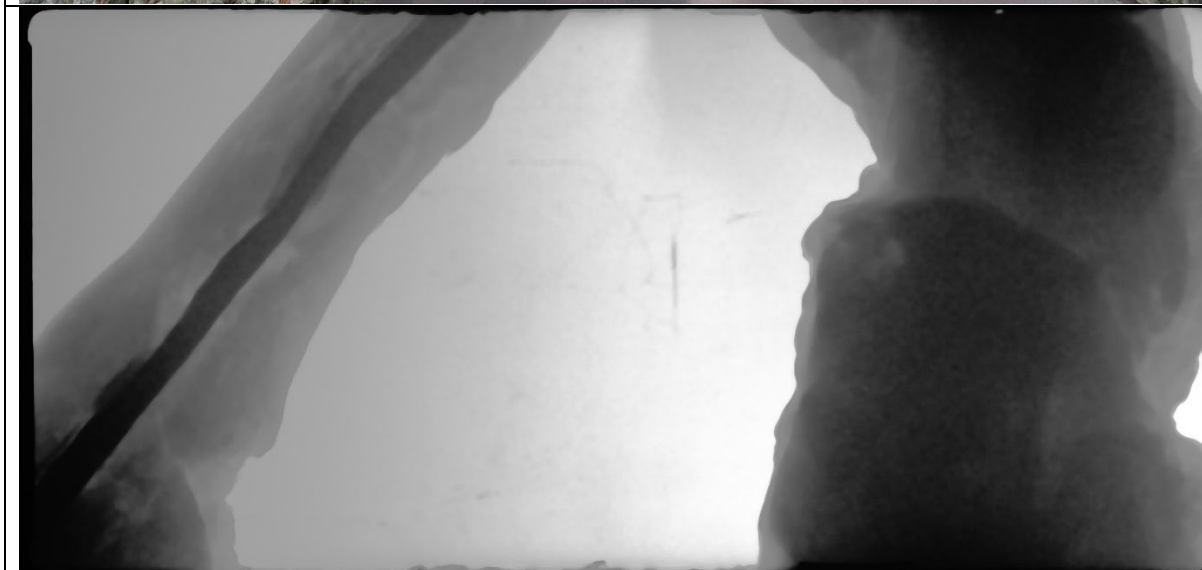
Obr. 19: Střední část pravé zadní nohy koně – kontrastní světlá místa mohou indikovat přítomnost trhlin.



Obr. 20: Horní část pravé zadní nohy koně – radiogram už za hranicí prozařovacích možností zařízení..



Obr. 21: Radiogram odhalující vnitřní konstrukční řešení hlavy koně.



Obr. 22: Radiogram levé zadní nohy (poškození, trhliny) a ocasu koně.



Obr. 23: Kůň – pravá přední noha, z radiogramu lze tušit, že drátová kostra byla obalena před konečnou vrstvou štuky materiálem, který tolik nepohlcuje rtg záření.



Obr. 24: Kůň – levá přední noha. Radiogram ukazuje, že se kovová kostra v místě kopyta dostává blízko k povrchu, což by mohlo vést k problémům s korozí.



Obr. 25: Objekt visící u stropu před fontánou. Radiogram odhaluje složitý způsob kotvení prvku k soustavě drátů.



Obr. 26: Orlice – radiogram neukázal na přítomnost kovových výztuh, možná skrytých malým kontrastem vůči nakupení materiálu v hlavě a hrudi.



Obr. 27: Podstropní výzdoba, slepenec. Na radiogramu je nejasně patrný kotvící drát.

Závěr

Radiografická dokumentace ukázala vnitřní stavbu a výztužné prvky zkoumaných objektů štukové výzdoby grott.

V některých případech nebylo možné vnitřní strukturu zaznamenat, protože tloušťka materiálu byla příliš velká, aby ji šlo prozářit dostupným generátorem rtg záření a na záznamovou desku proniklo dostatečné množství záření pro formování obrazu.

Množství armovacích prvků tvořících vnitřní konstrukci figur odpovídá jejich objemu a tíze, a proto nebylo zaznamenáno vážnější poškození, což svědčí o řemeslné dovednosti tvůrců.

Výjimku tvoří důlní kůň, jehož nohy jsou subtilní k hmotě jeho těla, a dílo je proto poškozeno množstvím trhlin. Trhliny obnažují vnitřní výztuž, čímž se zrychluje proces další degradace. Objekt koně se tedy nachází ve staticky neuspokojivém stavu.

Prvky stropní výzdoby zavěšené na systému drátových kotev nevykazují zjevné poškození, ale je třeba vzít v úvahu, že na radiogram se nedá spolehnout při posuzování tloušťky drátků. Celkový dojem ze stropní výzdoby je potřeba restaurátorského zásahu.