

MAGYAR KÉPZŐMŰVÉSZETI EGYETEM
RESTAURÁTOR TANSZÉK



TDK-DOLGOZAT

Alárajzok anyagai és vizsgálati módszerei

Kicsák Erzsébet

Témavezető:

Galambos Éva DLA

2024

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETŐ	3
1.1 A kutatás célja.....	3
TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS	4
2.1 Az alárajzolás funkciója és története kezdetektől napjainkig	4
2.2 A vázlatrajztól az alárajzig	5
2.3 Alárajz stílusok	7
2.4 Színre utaló jelölések	8
ALÁRAJZOK DETEKTÁLHATÓSÁGA INFRAVÖRÖS TARTOMÁNYBAN.....	10
3.1 Fototechnikai módszerek korai alkalmazása és fejlődésük	10
3.1.2 Infravörös termográfia-MWIR, LWIR.....	14
3.1.3 Átmenőfényes infravörös- infravörös-reflexiós és infravörös termográf felvételek.....	16
3.2 Az alárajz megjeleníthetőségét befolyásoló tényezők.....	17
3.3 Főbb vonalkarakterek.....	19
ALÁRAJZ ANYAGAI	20
4.1 Anyagok csoportosításának módja	20
4.2 Száraz anyagok, szén alapúak	21
4.2.1 Faszén.....	21
4.2.2 Olajozott szén.....	23
4.2.3 Grafit	24
4.2.4 Fekete kréta	25
4.3 Egyéb szárazanyagok.....	27
4.3.1 Vörös kréta	27
4.3.2 Mesterséges kréta.....	29
4.4 Fémceruzák.....	30
4.4.1 Ezüstceruza.....	30
4.4.2 Ólomceruza.....	34
4.4.3 Ólom-ón ceruza	35
4.5 Szén alapú tinták	36
4.5.1 Koromtinta	36
4.5.2 Biszter.....	38
4.6 Egyéb tinták	39
4.6.1 Szépia	39
4.6.2 Olaj alapú tinták	39
4.6.3 Gubacs tinta/Vas-gallusz tinta	40
ÖSSZEFOGLALÁS	43
FELHASZNÁLT IRODALOM.....	44
KÉPJEGYZÉK	46

BEVEZETŐ

1.1 A kutatás célja

Gyakran az alárajzok jelentik a művész eredeti koncepcióját, amely mind a restaurátorokat, művészettörténészeket és minden művészetkedvelőt erősen foglalkoztatja. Velük kapcsolatban számos kérdés felmerülhet, például: Milyen kapcsolat van a vázlatrajz és az alárajz között? Mely részek előrajzoltak és melyek nem? Milyen a stílusa? Szabad kézzel készült vagy transzfer eljárással? Száraz vagy nedves, vagy egy száraz anyag nedvesen való alkalmazása történt? és legfőképpen az, hogy Pontosan milyen anyaggal készült? Részben ezekre és ezekhez hasonló kérdésekre keresem a választ dolgozatomban.

Mivel a festett rétegek rendszerint takarják őket, így vizsgálatukat a felhasznált anyag tulajdonságai mellett, számos egyéb tényező is együttesen befolyásolja.

Dolgozatom célja, a leggyakoribb történeti eszközök ismertetése lehetséges fototechnikai vizsgálatokkal, amelyeket néhol egyéb elemanalitikai és egyéb műszeres vizsgálatok egészítenek ki. Leginkább a 15. és 16. századi alárajzokkal foglalkozom, hiszen az észak-európai és olasz-reneszánsz festészetben jelentős mennyiségű példát találtak, amelyek világos alapon sötét anyagok felhasználásával készültek, ezekről nagy mennyiségű szakirodalom és kutatás került publikálásra.¹

TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

2.1 Az alárajzolás funkciója és története kezdetektől napjainkig

Az alárajzolásra egy igen korai példa, egy lenvászonból készült múmiát takaró kendő i. e. 300-30 körülről a Plotemaiosz korszakból.

Az alárajzok készítése a festészeti munkát kiegészítő vázlatokkal együtt az 1400-as évek itáliai trecentojáig nyúlik vissza, és szorosan összekapcsolódik az önálló rajzok kialakulásával és fejlődésével.² A középkori művész műhelyekben dolgozott és festészeti repertoárját általánosan elérhető mintakönyvekből nyerte. Az alárajzot elsősorban a festmény megtervezése okán készítették. Ez a folyamat a 15-16. századi mestereknél gyakran együtt járt a megrendelővel folytatott megbeszéléssel a munka végső állapotával és az esetleges módosításokkal kapcsolatban.³ A 16. században számos műhely alkotója megbízás alapján, egymással együttműködve dolgozott. Az alárajz készítése egyfajta művészi szabadságot nyújtott a művésznek és lehetővé tette a koncepció megtervezését, hisz itt még nem volt igény arra, hogy ez teljesen befejezett és hibátlan legyen.⁴

A középkori mintakönyv használat a 14. század végétől hanyatlásnak indult az itáliai műhelyekben, ezzel párhuzamosan a művészekben feltámadt az igény a merev példaképektől való felszabadulásra, így a műhely mintakönyveit felváltották az az alkotók vázlatkönyvei. A különböző vázlatok által egyéni stílusok fejlődtek.⁵

Ahogy a barokkban a sötét imprimatúrák és alapozások használata elterjedt, az alárajzok tanulmányozhatósága egyre nagyobb kihívással járt. Azonban Caravaggio esetében is a kompozíció bekarcolását,⁶ és szénrel készült alárajzot véltek felfedezni.⁷

Alárajz készítésére a 19. század végi Knoxville-ből⁸ és a 20. század eleji Belgiumból is találtam példát⁹. Szinte biztos, hogy az avantgárd irányzatok idején és azt követően a 20. századtól napjainkig készülnek alárajzok az alkotások tervezéseként.

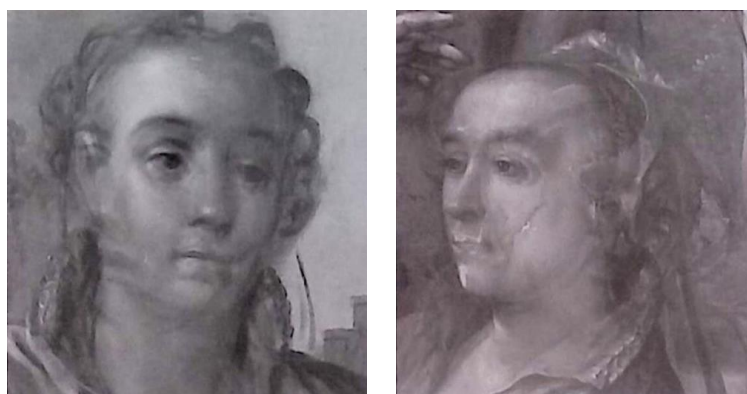
2.2 A vázlatrajztól az alárajzig

A vázlatrajzok hordozóra való átvitele vagy másolása rutinfeladat volt, amelyet a mesterek gyakran segédekre bíztek.

Egyes esetekben a művész teljesen eltér, az vázlatrajztól, már az alárajzolás, vagy a festés során.¹⁰ Joachim Beuckelaer, Négy elem című festményén a két hösnő, akik eredetileg ellentétes irányba néztek, a festményen már egymás felé fordulnak (1. ábra).

Joachim-tól egy műhöz esetenként több vázlatrajz is fennmaradt, ilyen a „Pásztorok imádása” című képe is, amelyhez kettő is készült. IRR felvételen és részben szabad szemmel is látható, hogy a pásztor kinyújtott karja alatt az alárajzon eredetileg egy behajlított kar szerepel. Ez pontos egyezést mutat a festményhez készült második rajz egy részletével. (2. ábra)¹¹

Összefoglalva, mind a „Négy elem”, mind a „Pásztorok imádása” című festményén, több helyen, már az alárajz megkezdésekor számos módosítást eszközölt. Egyes területeken azonban, továbbra is a rajzot követte az alárajzban is, és majd csak festés közben tért el tőle.¹²



1. ábra: Joachim Beuckelaer-A négy elem, Nyár, (részletfotók), 1569, IRR



2. ábra: Joachim Beuckelaer-Pásztorok imádása, tintarajz, 1561, részlet a pásztor behajlított karjáról



3. ábra Joachim Beuckelaer-Pásztorok imádása, 1565, Cologne, részlet, IRR



4. ábra Joachim Beuckelaer-Pásztorok imádása, 1565, Cologne, részlet, VIS

Nem volt ritka, hogy egyik művész a másik rajzaitól/alárajzaitól ihletődve készítette el a saját festményét. Ifjabb Brueghel alkotásait az apja alárajzaival, valamint kész alkotásával összevetve megfigyelhető, hogy azok az alárajzoknak és nem a kész képnek felelnek meg. A Királyok imádása képen az előtérben a jobb oldali figura, amely a ma Drezdában található Libapásztorként ismert rajz majdnem pontos mása, amit testvére ifj. Pieter is lemásolt. (5-6. ábra) Az istállót pedig Hieronymus Bosch triptichonjának istállója ihlethette, a nagymértékű hasonlóság miatt. Ésszerűnek tűnik a feltételezés, hogy ekkortájt id. Pieter Bruegel birtokolta Bosch festményét, így fia könnyen hozzáférhetett. (7. ábra)



5. ábra: id. Pieter Bruegel- A libapásztor, Staatliche Kunstsammlungen, Drezda



6. ábra: id. Jan Brueghel- Királyok imádása, részlet, 1598, National Gallery, London



7. ábra: Hieronymus Bosch-A királyok imádása triptichon, részlet, 1494, Museo del Prado, Madrid; id. Jan Brueghel Királyok imádása, részlet, 1598, National Gallery, London

2.3 Alárajz stílusok

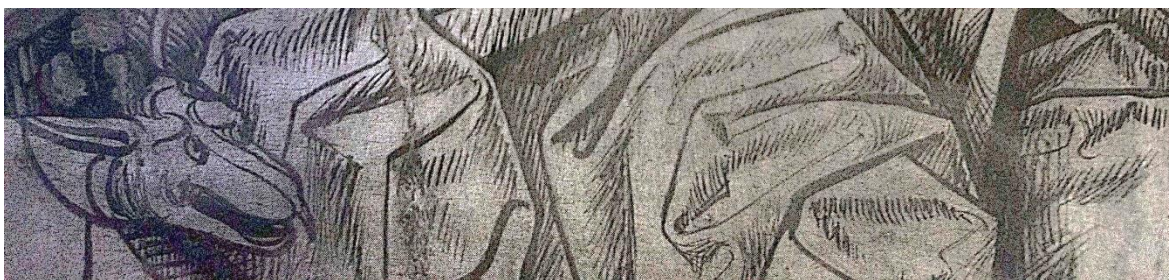
Különböző korszakok rajzstílusai és az alárajzok között gyakran figyelhető meg hasonlóságok. Például az osztrák alárajz az 1400-as évek elejéről, olyan linearitást mutat, amely ezen időszak papírrajzain is gyakran megfigyelhető (8. ábra). A fényt és árnyékot jelző részletes sraffozás¹ Mornauer-portré mesterének munkáján, amely később készült, olyan rajzstílust mutat, mint amelyet a német és osztrák művészek rajzain láthatunk ebből az időszakból. (9. ábra)¹³ Ehhez nagyon hasonló sraffozás a korban megegyező cseh -Madonna női szentekkel- oltárképen is megfigyelhető (10. ábra).¹⁴



8. ábra: Osztrák iskola-Szentháromság a megfeszített Krisztussal, 1410, IRR, részlet



9. ábra: A Mornauer portré mestere-Alexander Mornauer arcképe, 1460-1488 k., IRR, részlet



10. ábra: A Szent György oltár mestere - Madonna női szentekkel, 1480, National Gallery in Prague, IRR, részlet

¹ Másnéven vonalkázás.

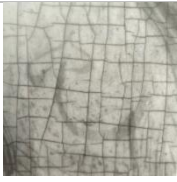
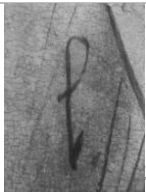
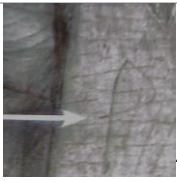
2.4 Színre utaló jelölések

A 15-17. századi cseh táblaképeken, a Rajna-vidéken, Hollandiában, Frankföldön, Bajorországban és Ausztriában különböző jelöléseket használtak a színekhez.¹⁵

Holbein és műhelye „w” betűt használt a fehér színek jelölésére, „gl” jelölést az arany okkerre, míg levél szimbólumot sötét zöld jelölésére, az utóbbit a cseh gyűjtemény festményein is meg lehet figyelni, példák erre az Apostolokat ábrázoló oltárszárnyak, Podlaha püspök gyűjteményéből.¹⁶ Jan Polack-Benediktbeuern alapítói című fatábláján a heraldikai fehér színt szintén egy w-vel jelölik.¹⁷

Holbein a „p” betűt a barnás-vörösre, „v” betűt a világos vörösre és „b” betűt használt a kékhez. A „+” jelölést nem egy bizonyos színnél, hanem a színek ismétlődése esetében használta. Az sem volt ritka, hogy különböző jelöléseket kombinált kevert színek esetében például „r/v” -t a „gl”-el. A betűket és a teljesen kiírt szavakat (bla, weiß, prawn) spontán módon felváltva használta.¹⁸ (11.ábra) A cseh gyűjteményben Bölcsek imádása című képen egy „l” betűre emlékeztető jelet találtak, amely nagyon hasonlít Stefan Lochner szerves vörös „madder lake” réteg alatti jelöltésekre. Az „l” betű feltehetően a cseh „lak” lakk szóra utal. A Rakovnik-i oltárképen az azurit alatti szerves vörös esetében viszont „l” helyett „P” betű jelenik meg szintén a madder lake-re utalva. Ausztriában Grossgmain mesterének műhelye a „pr” (preislingen) betűket használta a „red lake” jelzésére. Egy másik cseh festményen pedig szintén ugyanez a vörös pigment egy „8-as számmal lett jelölve.¹⁹ A Keresztvitel című festményen a cseh gyűjteményből, Krisztus ruháján egy „l” betűhöz hasonló jelölést találtak, míg az oltár másik oldalán Mária köpenyén pedig egy „P” betűt. Krisztus ruhája később szürkés-kékes színűre lett festve, míg Máriaé kék, az utóbbin azonban a jelzés az aláfestésnél szerves vörös alkalmazására is utalhat, a Rakovnik oltárképhez hasonlóan (11.ábra).²⁰

A jelölés néha a színre, néha pedig a felhasznált pigmentre utal. A jelzések célja a festőknek adott instrukció volt, akik nem feltétlenül voltak azonosak az alárajz készítőjével. Ulrike Nürnberger szerint a jelek szolgálhattak még a festményhez szükséges pigmentek listájaként is, ezáltal a megrendelő tudomást szerezhetett az elkészítendő mű költségeiről. Nagyobb munkák esetén a jelek segíthettek a művésznek a végső kompozíció színösszeállításában. Abban az esetben amikor a mester meg akarta változtatni a színt, a jelet kicserélte egy másikra.²¹

11. ábra: Színre utaló jelölések				
SZÍN	JELÖLÉS	IRR		VIS
(fehér)	w/weiß			
(arany okker)	gl			
(zöld)	levél		 ²	
(barnás-vörös)	p/pr, prawn			
(szerves vörös)	„l”, „P”, „pr”	 ³	 ⁴	
(világos vörös)	r/v			
(kék)	b, bla/sat bla			
(szürke)	gra			

² Ismeretlen mester- Három apostol, 1510 k., IRR, részlet

³ A Rockycanny vagy Litomerice oltár mestere- Keresztvitel, 1496-1500 k., IRR, részlet

⁴ A Rockycanny vagy Litomerice oltár mestere-Királyok imádása, 1496-1500 k., IRR, részlet

ALÁRAJZOK DETEKTÁLHATÓSÁGA INFRAVÖRÖS TARTOMÁNYBAN

3.1 Fototechnikai módszerek korai alkalmazása és fejlődésük

Az infravörös sugárzás felfedezése William Herschel csillagász nevéhez fűződik, aki 1800-ban leírta, hogy az elektromágneses spektrum túlnyúlik a látható tartományon. Körülbelül 780nm-től 1mm-ig terjed, vége pedig egybeolvad a mikrohullámú tartományba. A Planck-törvény szerint $[E = hc/X,]$ az IR-fotonok energiája kisebb, ezért speciális detektálási módszereket kell alkalmazni.²²

Az infravörös fényképezés az 1900-as évek elejéig nem volt lehetséges, a legkorábbi fényképek az 1910 körül készültek, az első világháború alatt pedig a technikát továbbfejlesztették a légi fényképezés javítására.²³ Az eljárás festészetben való alkalmazása az 1930-as években fejlődött ki és azóta használt, ez az időszak körülbelül egybeesik a festményvizsgálatok publikálásának elterjedésével.²⁴ A legelső európai infravörös vizsgálatok főként a 15. századi holland és flamand festményekre koncentráltak.²⁵ Hollandia volt talán az első ország, ahol ez a vizsgálati módszer először elterjedt és mind a mai napig vezető ezen a területen.²⁶

Az infravörös felvétel készítéséhez, kezdetben fényérzékenyített üvegfotólemezeket használtak. Az így előkészített fényképészeti anyag infravörös tartományban 1300nm-ig volt alkalmazható, emellett a látható és ultraibolya fényre is érzékeny volt, ezért a spektrum ezen részének kizárására fehér vagy vörös szűrőket alkalmaztak. Később már a kereskedelemben kapható filmanyagokat is lehetett használni 900nm-ig terjedő érzékenységgel. A láthatóhoz képest hosszabb hullámhossztartomány miatt a kamera fókuszpontja eltolódott, ezért vagy meg kellett növelni a tárgy távolságot, vagy újra kellett fókuszálni az objektívet.²⁷

A digitális fényképezőgépek CCD- vagy CMOS-érzékelője pedig már nemcsak a látható fényre, hanem a kb. 1100 nm-ig terjedő IR-sugárzásra is érzékeny volt. A 90-es évektől számos érzékelőt (detektort) fedeztek fel az IR-spektrum rögzítésére, viszont akkoriban nagy hátrányuk volt az alacsony felbontás.²⁸ Ezen hátrányuk miatt, nem volt ritka, hogy egy műalkotás dokumentálásához több száz reflektogramot kellett készíteni. Ezeket a fényképeket, korábban a monitor képernyőjének lefényképezésével,²⁹ a 80-as 90-es évektől kezdve pedig különböző szoftverek, segítségével rakták össze egy reflektogrammá.³⁰ A mozaik torzításmentes elkészítése gyakran nem volt egyszerű.³¹ (12. ábra)

A 21. századtól kezdve nagyban javult a reflektogrammok szoftveres feldolgozása, részben az Adobe Photoshop által.³² A 20. század utolsó éveiben pedig számos készülékhez infravörös

félvezető érzékelőket kezdtek használni. Az első ilyen FPA kamerák⁵ platina-szilicid (PtSi) detektort tartalmaztak, amely a vizsgálatok alapján képes javítani a Vidikon rendszer teljesítményén és az érzékenységet tovább növeli. Ezen kívül még számos detektor lett kifejlesztve, ezek összetételét és érzékenységi tartományát az alábbi táblázat összegzi.³³

Dolgozatban később csak a detektor rövidítésének nevét használom.

A LEGGYAKRABBAN HASZNÁLT ÉRZÉKELŐK		
DETEKTOR	ÖSSZETÉTEL	INFRAVÖRÖS ÉRZÉKENYSÉGI TARTOMÁNY
Vidikon cső	PbO-Sb	500nm-1900nm (vagy 2200nm)
CCD	szilikon	750-1050nm
PtSi	platina-szilicid	1200nm-2500nm
InGaAs	indium-gallium-arzenid	900nm-1700nm
InSb	indium-antimonid	1000-3000nm (esetenként 5000nm)
MCT	kadmium-higany-tellurid	1000nm-2500nm



12. ábra: Mária köpenye, Mahmatsu N 214 Vidicon (1975) detektor, képmozaik

⁵ FPA: Focal Plane Array, egy olyan jellemzően téglalap alakú szenzor, amely az objektív fókuszsíkjában található. Bizonyos hullámhosszúságú fotonokat érzékel, majd a számuk függvényében elektromos töltést, ellenállást vagy feszültséget generál, ezt ezután méri, majd felhasználja a kép elkészítéséhez.
https://en.wikipedia.org/wiki/Staring_array 2024. 11.11.

3.1.1 Infravörös fotográfia (IRP, NWIR) és infravörös-reflektográfia (IRR, SWIR)

Az alárajzok vizsgálatához a legelterjedtebb fototechnikai módszerek az infravörös fotográfia (IRP, NIR) és az infravörös-reflektográfia (IRR, SWIR). Az alkalmazott technikától függően a felvétel eredménye egy IR-fénykép vagy egy IR-reflektogram. Vizsgálathoz az infravörös spektrum közeli infravörös tartományában a 2500 nm-ig terjedő sugárzást használják, mert magasabb hullámhosszokon megnő az abszorpció és csökken a festékrétegek átlátszósága.³⁴

Infravörös fotózás forradalmához erősen hozzájárultak J.R.J. van Asperen de Boer kutatásai és disszertációja az infravörös-reflektográfiával kapcsolatban, így az új technika alkalmazása a 1970-es évektől kezdve, áttörést jelentett a festmények analízisében.³⁵

Az infravörös fotográfia (IRP vagy NIR⁶) egy olyan roncsolásmentes vizsgálat, amely főként a festéstechnika megismerését, az utólagos beavatkozások detektálását és a pigmenthasználat meghatározását segíti. A műtárgyról visszaverődő (reflektálódó) sugarak detektálása a 760, esetenként pedig 700-1100 nm-es tartományban történik.³⁶

Ezzel szemben az infravörös-reflektográfiát (IRR vagy SWIR⁷) már alárajzok vizualizálására is használják, hiszen a műtárgyról visszaverődő (reflektálódó) sugarak detektálása az 1100-2500 nm-es tartományban történik.³⁷

Mindezekből az következik, hogy az infravörös-reflektogramok többet elárulhatnak az alárajzról, mint az infravörös fényképek. Hatékonyságuk a réztartalmú zöld és kék pigmenttel festett területeken látványos az infravörös felvételekkel szemben.³⁸

Az IRR felvételek nagyobb hatékonysága azonban nem minden esetben igazolt. Idősebb Pieter Bruegel, A fátyol felemelése- Dulle Griet című képén, Dulle Griet törének alárajza, infravörös felvételen jobban látható, mint infravörös-reflexiós felvételen. Ebből az következik, hogy egyes esetekben a láthatóhoz közelebbi hullámhossz tartomány is éppúgy hatékony lehet, mint a távolabbi.³⁹

Fontos megemlíteni, hogy attól, hogy nem látható alárajz, az IRP vagy IRR felvételen ez még nem jelenti azt, hogy nincs jelen, lehet, hogy a festett réteg takarja, vagy transzparens maga az alárajzhoz használt anyag, tehát nem regisztrálható a vizsgált infravörös tartományban.⁴⁰

⁶ IRP: Infrared photographie-infravörös fotográfia, NIR: near-infrared imaging közeli infravörös képalkotás.

⁷ IRR: Infrared-reflectography-infravörös-reflektográfia, SWIR-short-wave infrared imaging, rövidhullámú infravörös képalkotás.



13. ábra: Gerard David- Királyok imádása, 1515-1523. részlet, balról jobbra: VIS, IRP, IRR



14. ábra: id. Pieter Bruegel- A fátyol felemelése, Dulle Grie törének részlete, a) VIS; b) IRR; c) IRP

3.1.2 Infravörös termográfia-MWIR, LWIR

Az IRP és IRR felvételen túl nagyobb hullámhosszon is készíthető felvétel, ez nevezzük infravörös termográfiának. A közepes-hullámhosszú infravörös képalkotás (MWIR) esetében 3000-5000 nm-ig történik a képalkotás, míg hosszú-hullámhosszú infravörösnél (LWIR) pedig 8000-14000nm között.⁴¹

Minden mérsékelt felmelegedett tárgy sugárzást bocsát ki ebben a tartományban, a passzív termográfiával ellentétben az aktív, azaz a szóban forgó termográfia, olyan külső hőforrást használ, amely a minta hőmérsékletét növeli/gerjeszti, ezáltal hőáramlást indít el. Ezek a hőáramlások a minta belső szerkezetétől függően, a felületén különböző hőmérsékleti viszonyokat eredményeznek. Így a minta belső szerkezetével kapcsolatos információk kinyerhetők a felületi hőmérséklet eloszlás alapján és hőkamerával rögzíthetők.

A besugárzás után hőkamerával több kép is készíthető, melynek eredménye egy, a hőmérséklet alakulását dokumentáló adatsor. Ezt az adatsort termogrammnak nevezik, a csekély feldolgozása, vagy feldolgozás nélküli megközelítést pedig impulzusos/impulzív termográfiának (pulse thermography).

A festmények mélyebb rétegei tehát az alárajz vizsgálatához is, olyan technikát alkalmaznak, amely képes korrigálni a besugárzás egyenetlenségeit és kiemelni a hőmérséklet kis változásait. Ilyen jellegű módszert, például az impulzusfázis-termográfiát (PPT)⁸ sikeresen alkalmazták vászonképek vizsgálatánál. Egy másik megközelítés a főkomponens termográfia (PCT) pedig azon az elven alapul, hogy a minta nem hibás területének⁹ felületi hőmérséklete az idő fordított négyzetgyökével arányosan csökken.⁴²

A „Porté egy öreg zenésről című képen (15. ábra) a NIR és SWIR felvételeket az MWIR felvétellel összevetve megállapítható, hogy a grafit alárajzból a termográf képen csak néhány vonal jelenik meg, míg a másik két felvételen részletesebben tanulmányozható. Halvány vonalak, tehát vékony grafit rétegek nem befolyásolják a felületi hőmérsékletet.⁴³

⁸ PPT- pulse phase thermography.

⁹ Hiba lehet például a minta esetleges egyenetlensége, repedések, anyaghiány stb.

15. ábra: Thomas Faed-Öreg zenész portréja fuvolával, 19.század, magántulajdon



Normál felvétel



IRP/NWIR felvétel (700-1100nm, CCD érzékelő)



IRR/SWIR felvétel (900-1700nm, InGaAs érzékelő)



MWIR felvétel (3000-5000nm, PCT)

3.1.3 Átmenőfényes infravörös- infravörös-reflexiós és infravörös termográf felvételek

A hagyományos, reflexiós elven alapuló infravörös felvételek mellett, átmenőfényes fototechnikai eljárásokat is kipróbáltak alárajzok láthatóvá tételére. Egy kutatásban két, kifejezetten erre a célra készített, szénalapú anyaggal alárajzolt festményt vizsgáltak, majd a hagyományos visszaverődésen alapuló infravörös felvételt összehasonlították, az infravörös sugárzás áteresztésén alapuló megközelítéssel. ⁴⁴

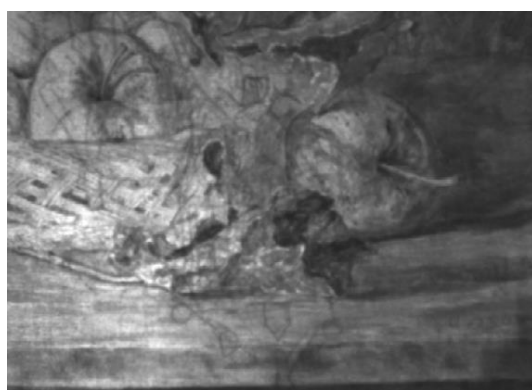
Már a hagyományos módon CCD kamerával és halogén lámpákkal megvilágítva is megfigyelhető volt, hogy sokkal jobb eredményt értek el, ha a fényforrást a festmény mögé helyezték. ⁴⁵ (17. ábra)

A vizsgálatokat megismételték termográf kamerával, ebben az esetben az találták, hogy a felvételek sokkal több információt adtak az alárajzról. (19. ábra)⁴⁶

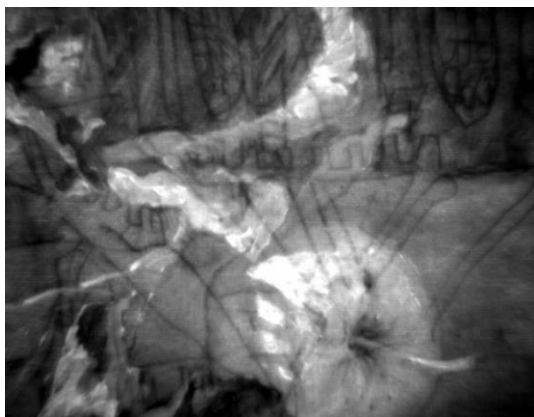
Az átmenőfényes felvételkészítés, meglehetősen jó módszer lehet különböző alárajzok detektálásához, a fényforrás és a kamerarendszer megfelelő kombinálásával pedig nagyon részletgazdag felvételek készíthetők. Egyedüli hátránya, hogy csak átvilágítható hordozó esetében alkalmazható, így fatáblaképek esetén nem jöhet szóba.



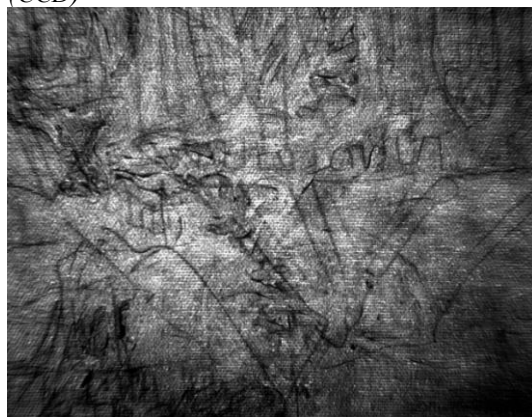
16. ábra: IRP felvétel (CCD)



17. ábra: Átmenőfényes infravörös felvétel (CCD)



18. ábra: Reflexiós termográf felvétel



19. ábra: Átmenőfényes termográf infravörös felvétel

3.2 Az alárajz megjeleníthetőségét befolyásoló tényezők

Egy adott alárajz láthatóvá tételéhez optimális spektrális sáv meghatározásában két fő tényező játszik szerepet, a festékréteg áteresztése és az alárajz elnyelése. Mindkettőnek megvan a maga hullámhosszfüggése, ezért minden egyes alárajz/pigment kombináció egyedi lesz.⁴⁷

Az alapozás visszaverőképesége, a festékréteg fedőképessége és az alárajz anyagának abszorpciós képessége tehát jelentősen befolyásolják azt, hogy az IRP vagy IRR felvételen végül látható-e az alárajz.

Az alapozás/imprimatúra és az alárajz közötti abszorpciós különbség- az alapozás visszaverő képessége

Az alárajz akkor látható a felvételen, ha a rajzolt vonalak és az alapozás visszaverő képessége eléggé eltérő ahhoz, hogy a felvételek észrevehető kontrasztot adjon. A 14-16. századi európai festmények legnagyobb része fehér színű alapozóra készült. A fehér anyagok, mint például a kalcium-szulfát (gesso) és a kalcium-karbonát (kréta), visszaverő képessége jellemzően nagy az IR tartományban. A hullámhossz növekedésével reflexiójuk erősen csökken, azonban így is elegendő, hogy optimális kontrasztot adjon egy megfelelő abszorpcióval rendelkező alárajzzal.⁴⁸ A 15-16. századtól megjelenő színes imprimatúrák, aláfestések, majd alapozások az összetételüktől függően nagyobb abszorpcióval rendelkeznek, így nehezebb elkülöníteni tőlük az alárajzot. A színes alapozásokra gyakran világos, emellett hozzá viszonyítva hasonló abszorpciójú alárajz került, pl: Vasari szénfekete helyett a fehér szabókrétát ajánlja. Az alárajz elkülöníthetősége az imprimatúrák és aláfestések vastagságától és homogenitásától is függ.⁴⁹

A festékréteg fedőképessége

Az alárajzra került festett réteg fedőképességét, amely alapvetően pigmentből és kötőanyagból tevődik össze, több tényező is befolyásolja. A pigmentek és a kötőanyag törésmutatójának aránya, a sugárzás hullámhossza, a réteg vastagsága, a pigment-térfogat koncentrációja, a részecskeméret/szemcseméret, a részecskék/szemcsék alakja, a részecskeméret eloszlás és a diszperzációs fok.

A festett réteg pigment-kötőanyag törésmutató aránya, úgy hat a fedőképességre, hogy abban az esetben, ha a két törésmutató között nagy a különbség, akkor a festékréteg fedő/opak, a sugárzást kevésbé engedi át. Minél közelebb áll a kötőanyag és a pigment törésmutatója egymáshoz, annál kisebb a határfelület reflexiója, tehát annál jobban átereszt a sugárzást.⁵⁰

A rétegek anyagainak törésmutatója növekszik a hullámhossz csökkenésével, így kevesebb sugárzás jut el az alsóbb rétegekig. Ebből az következik, hogy rövidebb hullámhossz tartományban kisebb az esélye, hogy az IR sugárzás elérje az alárajz anyagának rétegét.

A réteg vastagsága és a magasabb abszorpció között az a különbség, hogy minél vastagabb egy adott festett réteg annál több pigmentrészecske található benne, így annál nagyobb a részecskéken történő reflexió, szóródás és az abszorpció mértéke, tehát annál kevesebb sugárzás képes áthatolni rajta; nagyobb lesz a fedőképessége.⁵¹

A pigment-térfogat koncentrációja (PVC)¹⁰, úgy hat a fedőképességre, hogy ha a térfogat koncentráció alacsony, akkor kevesebb pigment lép kölcsönhatásba a sugárzással, tehát a fedési vastagság növekszik.⁵²

A részecskék mérete úgy befolyásolja a fedőképességet, hogy minden hullámhosszon létezik egy maximális részecskeméret, amelyen nem képes a sugárzás áthatolni.⁵³

A festett réteg tömörsége, azaz zártságának mértékét a szemcsék alakja befolyásolja. Minél zártabb egy réteg, tehát minél több szögletes, tűs szemcse alkotja, annál nehezebben tud a sugárzás áthatolni rajta kölcsönhatás nélkül.

A réteg zártságát a szemcseméret eloszlás is befolyásolja, tehát minél heterogénebb a festékréteg szemcseméret eloszlása, annál zártabb-így fedőbb-réteget képes létrehozni.

A diszperziós fok pedig a pigment és kötőanyag összedolgozására, azaz diszpergáltságára utal. Ha a rétegben sok az aggregátum, akkor nőhet a fedőképesség.⁵⁴

Az alárajz anyagának abszorpciós képességére az előbb felsorolt tényezők éppúgy hatnak, abban az esetben, ha az egy diszperz, pigment-kötőanyag rendszer.

A szén alapú pigmentekről egyes források azt írják, hogy 700-900nm-ig elnyelik az IR sugárzást ezért jól láthatóak, míg a vörös pigmentek és a fémek ezzel szemben nem detektálhatóak. A valódi kép ennél kissé bonyolultabb, fémek esetében például a korróziós termék is erősen hat a reflexióra, így egyes anyagok IR tartományban vizsgálható tulajdonságairól az alábbiakban bővebben értekezünk.⁵⁵

¹⁰ PVC-Pigment volume concentration, Asperen de Boer ezzel a rövidítéssel jelzi a pigment térfogat koncentrációt.

3.3 Főbb vonalkarakterek

Ha az imént felsoroltak alapján minden körülmény adott, a vonalkarakter alapján, nagyrészt folyékony és szilárd anyagok különböztethetők meg egymástól. A folyékony anyagok jellemzője, hogy szélük folyamatos és „puha” a vonal szélessége változó, a széleken jellemzően több a festékanyag, a vonalak végein pedig cseppecske lehet. A vonalak jellegét a felhordáshoz használt eszköz határozza meg. Szilárd anyagok esetében a húzott vonalak szélessége kevésbé változatos, szélük jellemzően szemcsésebb.⁵⁶ (20. ábra)

A legtöbb esetben nem határozható meg pontosan az alárajzhoz használt anyag, így csak azt írják le, ami egyértelműen elmondható, például: az IRR felvételen opak, folyékony anyag, feltehetően ecsettel felhordva, mint Lucas Cranach munkája esetén is.⁵⁷ (22. ábra) A Puchner-oltárkép esetében pedig az erősen IR-abszorbens vonalak jellegéből arra következtettek, hogy a részben tollat használtak a felvitelhez.⁵⁸ (21. ábra)

Összességében elmondható, hogy csupán infravörös felvételek alapján nem határozható meg biztonsággal az alárajz anyaga. A vizsgálatokat elemanalitikai és nagyműszeres eljárásokkal kiegészítve már sokkal átfogóbb képet kaphatunk.

20. ábra: Különböző anyagokkal húzott vonalak



Fekete kréta

Grafit

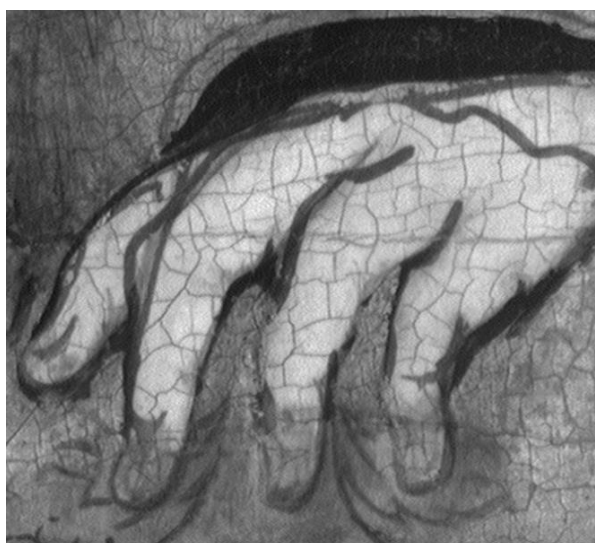
Ezüstceruza

Ecset

Nádtoll



21. ábra: Nicholas Puchner nagymester oltárképe, 1482 k., részlet, National Gallery in Prague, IRR (231., 229.)



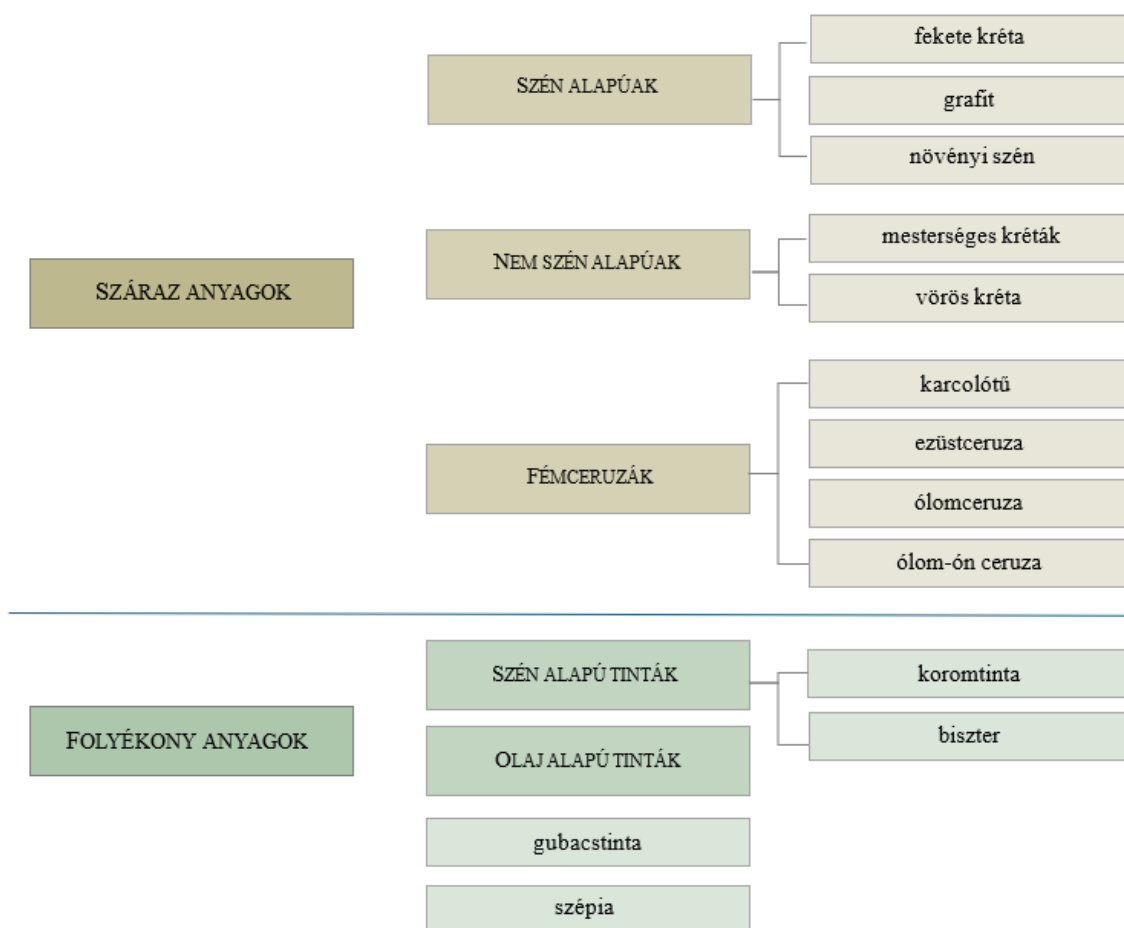
22. ábra: Lucas Cranach-Szent Katalin oltár, Szent Krisztina és Szent Otília, 1506, részlet, The National Gallery, London IRR

ALÁRAJZ ANYAGAI

4.1 Anyagok csoportosításának módja

Dolgozatomban az alárájzhoz használt anyagokat két nagy kategóriába és azon belül összetétel alapján külön alkategóriákba soroltam. A csoportosítás módját az infravörös felvételeken való eltérő megjelenés, például folyékony és szilárd anyagok esetén és az elemi összetétel, például a széntartalom határozza meg, hiszen ennek okán az anyag jellegzetesen erős elnyelést produkál infravörös tartományban.

Az anyagok csoportosítását az alábbi táblázat szemlélteti. (.ábra) A továbbiakban ezen rendszer szerint mutatom be az anyagokat.



23. ábra: Alárájzok anyagainak csoportosítása

4.2 Száraz anyagok, szén alapúak

4.2.1 Faszén

Rajzolásra való használata egészen a paleotikumig, a középső magdalénai korból, i. e. 15000 körülről vezethető vissza. Feltételezik, viszont, hogy a 15. századig nem használták önmagában, hiszen nem tapad meg a felületen.⁵⁹ A faszén égetését meghatározott körülmények között, gondosan végezték, hogy az a legkedvezőbb tulajdonságokkal bírjon.

Területenként eltérő növényi részekből készítették el, görög kolostorokban gyakran dió- vagy mitruszfából, Olaszországban kezdetben fűzfából, majd a reneszánszban buxusból és gyümölcsfából, 1700 körül pedig szilvafából és hársfából.

Fő előnye, hogy könnyen letörölhető, ezáltal a vele készült rajz korrigálható, emellett könnyen beszerezhető és olcsó anyag volt. Mivel nem tapad meg a felületen, ezért a legtöbb recept, például Cennini is azt javasolja, hogy rajzolás után egy másik anyaggal áthúzva a főbb vonalakat, a maradék szénét távolítsák el, hiszen beszennyezi a festett rétegeket, ecsettel könnyen elseperhető. Ennek alapján feltételezhető, hogy önmagában ritka az alárajzokon.⁶⁰

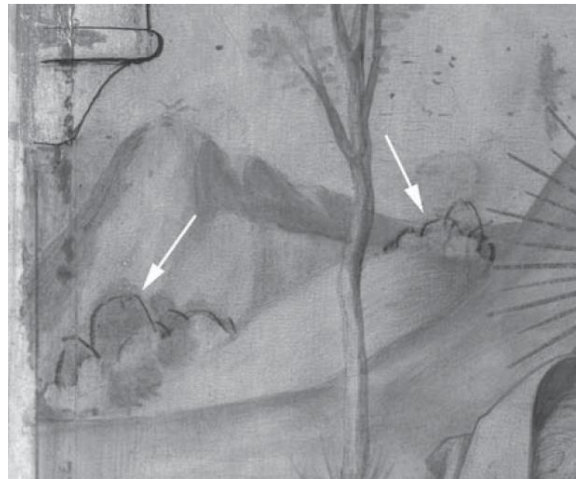
Alárajzban feltehetőleg nagyobb méretű munkák esetén alkalmazták a leggyakrabban, például: Veronese- Dáriusz családja Nagy Sándor előtről, 1560 körülől. Hans Holbein, Kasheim oltárának Vizitáció jelenetén (24-25. ábra) és Gerard David alárajzain is fellelhető.⁶¹ Később még a 20. században is alkalmazták, erre példa Paul Delvaux három műve: Pár gyermekkel az erdőben (1928-29) (26. ábra), A pár (1929) és a Fiatal nő álmodik (1931).⁶²

Egyes források szerint csak 1400nm-ig detektálható,⁶³ azonban a vizsgálatok alapján még 2000nm-en is jól látszik,⁶⁴ egyéb források szerint pedig egészen 4000nm-ig látható marad széntartalma miatt.⁶⁵ Furcsa módon a fűzfaszénnel húzott vonal, széntartalma ellenére a közeli infravörös tartományban transzparensnek mutatkozik (27.ábra),⁶⁶ így felmerülhet a kérdés, hogy a faanyag hatással lehet az infravörös tartományú megjelenésre.

Elemanalitikai módszerekkel a szén (C) mellett, kálium (K), foszfor (P), kalcium (Ca), szilícium (Si) és kén (S) tartalom mutatható ki.⁶⁷



24. ábra: Hans Holbein-Vizitáció (Kasheim oltár), részlet, 1502 k., Munich, Alte Pinakothek



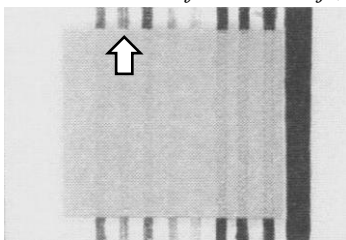
25. ábra: Hans Holbein-Vizitáció (Kasheim oltár), 1502 k. IRR, részlet, Munich, Alte Pinakothek



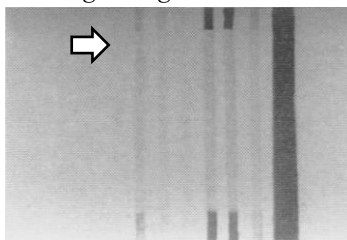
26. ábra: Paul Delvaux-Pár gyermekkel az erdőben (1928-29), részlet, normál, IRR



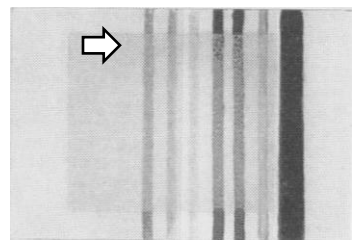
27. ábra: Fűzfaszén alárajz, ólom-ón sárga réteg alatt



Normál felvétel

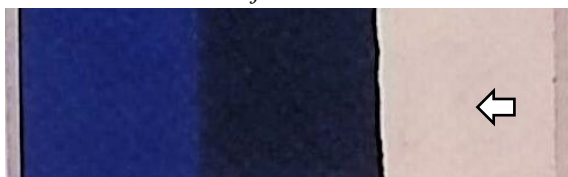


Vidicon IR felvétel, 900-1500nm



PtSi IRR felvétel, 1500-2000nm

28. ábra: Szénrel rajzolt vonal



Normál felvétel



IRR

4.2.2 Olajozott szén

A nyers szén gyenge tapadása elkenődést, alárajz esetén, pedig a festett rétegek elkoszolását eredményezte. Már Volpato tanácsa is, hogy a szénrudakat "közönséges olajjal" kell kezelni, arra irányult, hogy kiküszöbölje ezt a problémát.⁶⁸

Elkészítésének módja abból állt, hogy a szárszenet friss lenolajba mártották, amely szilárdabbá tette. A vele húzott vonal a nyers szénnél sötétebb, száradás után pedig teljesen maszatmentes.⁶⁹ A lenolajjal kezelt szén hátránya, hogy a lenolaj száradó olaj lévén, oxidációval térhálósodik, ezáltal a lenolajba mártott szén három-négy héten belül kikeményszik, nehezebbé téve ezáltal a további használatot.⁷⁰

Olaszországban a velenciek és a bolognaiak használták, Hollandiában pedig Rubens, van Dyck és Jordaens. Andrea del Verrocchio, Guercino, Guido Reni és Tintoretto is előszeretettel használta rajzaihoz.⁷¹ Bruegel expresszív vonalai kapcsán is felmerült, hogy az alárajzban ezt az anyagot használta (29. ábra).⁷²

Mivel összetétele a szénnel megegyező így infravörös tulajdonságai is hasonlóak.



29. ábra: Pieter Bruegel- Az esküvői tánc, 1566, Detroit Institute of Arts, IRR

4.2.3 Grafit

A grafit ásványi változata csaknem egészében tiszta szénből áll, amely előfordulhat kristályos vagy amorf formában is. Leggyakrabban metamorf kőzetekben fordul elő pirit és szén társaságában. A grafit puha, szürke színű, fémes, rugalmas lemezekből álló, oszlopos, ritkábban táblás kristály. Szintetikus előállított változata, amelyet úgyn. „grafitizálható” szénből nyernek, 1897 óta kapható.⁷³

Egyes források szerint már az ókorban is használták, melynek oka, hogy a Plinius által használt „plum-bago” kifejezést grafitként is értelmezték.⁷⁴ Egyéb szerzők szerint használata a 16. század végéig kizárt, abból kifolyólag, hogy a késő középkori alkímia még nem ismerhette a valódi grafit, bizmut és a fekete agyagpala használatát.⁷⁵

Előnye, hogy viszonylag tartós, letörölhető és a legfinomabb vonalak meghúzására is alkalmas.

Alárajzhoz használhatta id. Pieter Bruegel a Két Majom (1562) című képén,⁷⁶ egyes művészettörténészek szerint pedig Jan van Eyck és kicsit később Hans Memling és William Turner⁷⁷ is használta. (30. ábra)⁷⁸

Mivel túlnyomórészt szénből áll ezért infravörös tulajdonságait ez határozza meg, így jól detektálható infravörös tartományban. Ideális esetben a természetes minták tartalmazhatnak szilícium-dioxidot (SiO_2), vas-oxidot (FeO) és agyagásványokat is.⁷⁹



30. ábra: Joseph Mallord William Turner- Cassiobury, Hertfordshire (Essex grófjának székhelye), részlet, normál és IRR felvétel

4.2.4 Fekete kréta

A kőkréta vagy fekete kréta, fekete pala vagy rajzoló pala néven is ismert, Olaszországban „terra nigra” vagy „pietra nigra”. A kréta elnevezés téveszserűen helytelen mert az csak a mészkőből készült fehér fajtára vonatkozik. Egyik változata a bányászati úton kinyert agyagos pala, amelyet a vörös krétához hasonlóan négyszögletes rudakra fűrészelnek.⁸⁰ Akár 30% szenet is tartalmazhat, nagyrészt azonban alumínium-szilikátokból és kvarcból áll.⁸¹

Napjainkban nagyon nehéz beszerezni. A legfontosabb lelőhelyek állítólag Piemontban és Spanyolországban voltak, de Portugáliában, Hollandiában és Németországban (Türingia és Felső-Frankföld) is lehet találni.⁸²

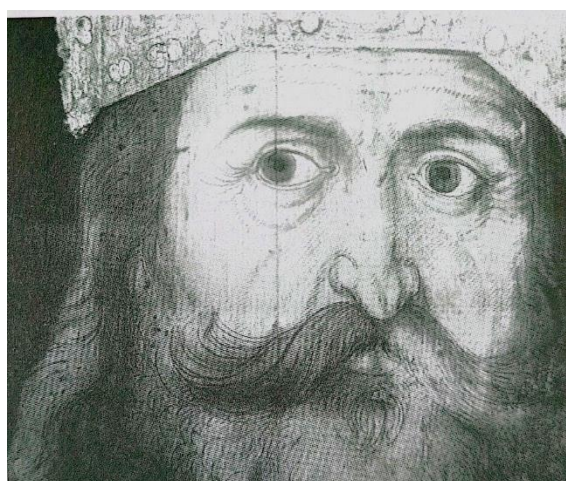
Jellegzetes barnásszürke nyomot hagy és gyakran karcos a szilikát összetevők miatt. A rajzolt vonal részben letörölhető, de egy része a felületen marad.⁸³ Előnye, hogy a szénél jóval precízebb vonalak húzhatóak vele.⁸⁴

Valószínűleg gyakran használhatták alárajzok készítéséhez, amely annak köszönhető, hogy finom vonalak húzhatóak vele és dinamikus munkamódszert tesz lehetővé.⁸⁵ Használatának központja Hollandia volt, gazdag nyersanyagkészlete miatt, amelyre erősen hatott az itáliai művészet, emellett fellelhető volt Spanyolországban és Franciaországban is.⁸⁶

Alárajzban használta Jan van Scorel,⁸⁷ Maarten van Heemskerck, Albrecht Dürer,⁸⁸ Hans Holbein,⁸⁹ Lucas Cranach,⁹⁰ Rogier van der Weyden⁹¹ és még sokan mások. (31-32. ábra)



31. ábra: Maarten van Heemskerck-Krisztus siratása, részlet, 1527-1530, Köln, Wallraf-Richartz Múzeum, IRR



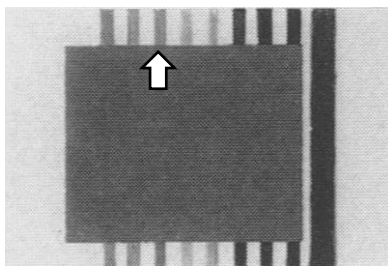
32. ábra: Albrecht Dürer-Nagy Károly császár mellképe, 1511-151, Germanisches Nationalmuseum, Nürnberg, IRR

Annak ellenére, hogy azonosítása bonyolult és meghatározása főként az IR felvételen való megjelenésén alapul. Úgy, hogy kizárják a folyékony anyagokat és a fémceruzákat. Ha ezek ki vannak zárva akkor az anyag valószínűleg száraz, és feltehetően fekete kréta is lehet, bár a széntől való megkülönböztetése további vizsgálatokat igényelhet. Néha amikor a keresztmetszeten az alárajzban fekete részek vannak, melyek a grafit fémes reflexióját produkálják és pehelyszerű a szemcsekarakterük, az fekete krétára is utalhat. Pl. Joachim Beuckealer-A négy elem, 1569-70 feltehetően van rajta, de nehéz az analízis. (. ábra)⁹²

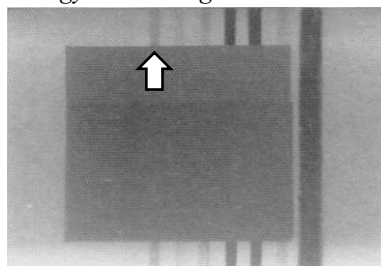
Infravörös felvételeken jól detektálható, a sugárzást elnyeli, ám két réteg erősen IR-abszorbens malachit réteg alatt már nem látható a vele húzott vonal (33. ábra).⁹³

Elemanalitikai módszerekkel vizsgálva, arányában körülbelül 30% szén (C) tartalom, magas szilícium (Si) tartalom jellemző rá, az alumínium (Al), kén (S), kálium (K) és vas (Fe) jelenléte mellett.⁹⁴

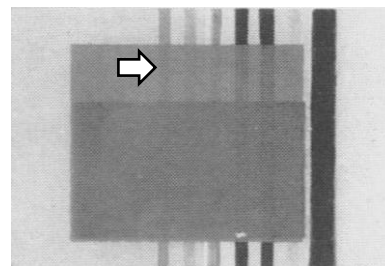
33. ábra: Fekete krétával húzott vonal egy és két réteg malachit alatt



Normál felvétel



Vidicon IR felvétel, 900-1500nm



PtSi IRR felvétel, 1500-2000nm

4.3 Egyéb szárazanyagok

4.3.1 Vörös kréta

Plinius a *Naturalis Historiae* című művében már különbséget tesz a vörösföld különböző fajtái között.⁹⁵ Baldinucci (1681) az „amatita” néven ismert hematit színezőanyagú krétát kifejezetten megfelelőnek találja rajzoláshoz. Leírja még hogy ennek a krétának a vörös mellett egy fekete változata is ismert, az alapján a téves elképzelés alapján, hogy a fekete kréta színezőanyaga a vöröshöz hasonlóan szintén hematit.⁹⁶

Ásványtani szempontból a vörös kréta a vörös vaskó (hematit), azaz pala kréta rokona, amely színező komponensként az alábbiakat tartalmazza: vízmentes vas-oxid (Fe_2O_3), alumínium-oxid és kvarc (Al_2O_3 , SiO_2), illetve a színanyagtól függően mangán-dioxid (MnO_2), is jelen lehet.⁹⁷ Mint természetes anyag, a vörös kréta számos árnyalatban, színben és tónusban elérhető, amely tulajdonságokat a kémiai összetétele határozza meg.⁹⁸ (34-35. ábra) A művészek szintén módosíthattak a kréta színén, hevítéssel vagy kalcinálással.^{11 99}

Kedvelt anyagnak számított, hiszen Cennini leírása lapján is jól tűri a dörzsölést, és a hosszas dörzsöléssel csak szebbé válik, ezáltal nem kell attól tartani, hogy a rá kerülő festett rétegeket elszínezi. Már a 12. században is előfordultak vörös krétával készített alárajzok, hiszen ez az eszköz a szénfekete mellett az egyik legrégebbi színezőanyag.¹⁰⁰

Anyagát id. Lucas Cranach és Mathias Grünewald alárajzain sikerült detektálni, utóbbi Stuppach Madonna című táblájának keresztmetszete pedig analitikai bizonyítékkal szolgál rá. Idősebb Holbein, mint segédeszközt használta alárajzhoz, erre példa, hogy Kaisheimi oltárkép tábláin kerettel jelölte a képkivágást (. ábra).¹⁰¹



34. ábra: Öt különböző természetes vöröskréta mintadarabjai. Az óramutató járásával megegyezően balról jobbra haladva: Theley régióból, Arizonából, Franciaországból, Németországból és a Taunus régióból származó példányok.



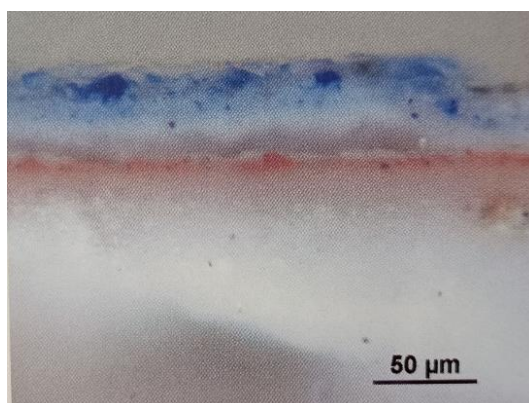
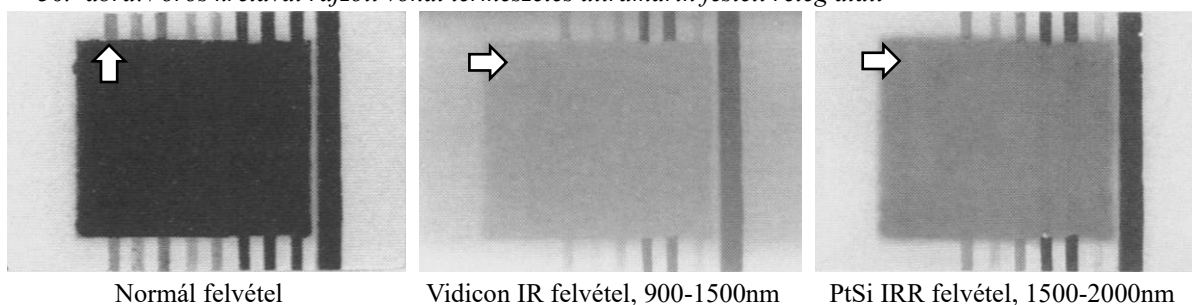
35. ábra: Német természetes vörös kréta nyers tömbje, fűrészszel vékony lapokra fűrészelve. A kész éleket kihegyezve, hagyományos nádból készült tollba helyezték.

¹¹ Kalcinálásnak nevezzük az olyan célú hevítést, ami az illékony összetevők eltávolítására irányul. Forrás: <https://www.britannica.com/technology/traditional-ceramics> 2014.11.03.

Infravörös felvételeken mivel a sugárzást nem nyeli el, így nehezen mutatható ki. A 36. ábrán jól látható, hogy a vörös krétával húzott vonal 900nm felett már abszolút nem jeleníthető meg.¹⁰² Egyes források szerint azonban, a láthatóhoz igen közeli IR tartományban, körülbelül 850nm-ig detektálható.¹⁰³

Habár IRR felvételen nehezen vagy egyáltalán nem detektálható, keresztmetszeten azonosították a terboni oltárkép mesterének Szent Barbara megfeszítése című képén és az Ara Coeli Madonna képen (37. ábra), utóbbin a vörös okkert korommal keverve használták.¹⁰⁴

36. ábra: Vörös krétával rajzolt vonal természetes ultramarin festett réteg alatt



37. ábra: Ara Coeli Madonna, keresztmetszet-csiszolat, normál felvétel

4.3.2 Mesterséges kréta

A lámpakoromfeketéből és kötőanyagból készült krétákról szóló első jelentések 1520-körülről származnak. Lomazzo „nuovo modo”-nak (új módnak) nevezte a művészi kréta feltalálását, amit Leonardo da Vincinek is tulajdonított. Hamarosan Olaszországban is megjelentek az új pasztellkréták és más színekben is elkezdtek gyártani őket, pl: vörös kréta, cinóber, okker.

Ezek pigment és töltőanyag keverékek voltak, amelyekhez vízben oldódó kötőanyagot pl: gumirarábikumot, halenyvet, fügetejet adtak. Egyes esetekben a pigmentet nedvesen összedolgozták a kaolinnal, majd tragantgumit vagy egyéb kötőanyagot hozzáadva, a pasztát szálakká préselték, megszáritották majd darabokra vágták.¹⁰⁵

Pontosan nem lehet megmondani, hogy milyen mértékben volt elterjedt a mesterséges kréta alárajzok esetében, különösen azért, mert a korai változatok még nagyon hasonlítottak a természetes krétához. Fő különbség a színező komponensek nagyobb aránya. Ifjabb Cranach Szent János feje, nürnbergi Germanisches Nationalmuseum, 1584-es szárnyasoltár, feltehetően mesterségesen előállított kréta az alárajz (38. ábra).¹⁰⁶



38. ábra: Lucas Cranach-Szív alakú szárnyas oltár, (Colditz-oltár):
Krisztus keresztre feszítése [középső kép], 1584, normál és IRR felvétel

4.4 Fémceruzák

4.4.1 Ezüstceruza

Az ókori Rómában arról volt népszerű, hogy nagyon finom vonalakat lehetett vele rajzolni, a középkorban pedig, csak kiváltságos körökben használták íróeszközként. A gótikában ritkán készült tisztán ezüst ceruzás rajz, az eszköz csak a korai reneszánszsal vált általánossá figurális ábrázolások esetén. Fénykora a 15. század közepe volt, ekkoriban a legtökéletesebb rajzeszköznek tekintették. A 17. században néhány kivételtől eltekintve csak ritkán alkalmazták, a 18. században pedig a német Anton Graff miniatűrjeinek anyagát képezi.¹⁰⁷ Mivel a középkorban alig ért kevesebbet, mint az arany, ezért csak a hegye készült ezüsből, a nyele jellemzően valamilyen könnyen előállítható, olcsóbb fém volt.

Előnye, hogy szinte törhetetlen és gazdaságosan kopik. A vele rajzolt vonal halvány szürke színű és elkenődésbiztos, erősebb vonalakat pedig ismételt meghúzással lehet elérni. Hátránya, hogy a hibás vonalakat csak kaparással lehet eltávolítani.¹⁰⁸ Használatának feltétele a kemény, magas töltőanyag tartalmú alapozó.¹⁰⁹ Ha nem elég kemény, akkor a rajzolás során képes a felületbe mélyedéseket vájni.¹¹⁰ Girolamo Muziano egyik táblaképén ilyen bemélyedéseket véltek felfedezni súrlófényben. (40. ábra) Általában az ezüstceruzás rajzokhoz csontfehér tartalmú alapozást használtak.¹¹¹

Jan van Eyck, Szent Barbarát ábrázoló fatáblájának alárajza, feltehetően ezzel az anyaggal készült.¹¹² (39. ábra) Gyakran kombinálták egyéb eszközökkel például szénnel vagy tintával, így az alárajzban ezek az anyagok is felmerülhetnek bár a színet gyakran a vázlat elkészültével letörölték a felületről.



39. ábra: Jan van Eyck- Szent Barbara, 1437, Metropolitan Művészeti Múzeum, New York



40. ábra: Girolamo Muziano- Madonna az aranyakállal, 16. század, Esseni Művészeti Fórum, IRR

Az ezüst ceruzával készült rajzok 800-1700 nm-es tartományban már részben vagy teljesen áteresztik a sugárzást.

Egy átfogóbb kutatásban a British Múzeum és firenzei Uffizi Galéria 15. századi olasz rajzait vizsgálták IRR, XRF¹² és RAMAN spektroszkópia¹³ segítségével. Az alábbi táblázat pedig a British Múzeum néhány művét mutatja be, amelyekről megállapítható, hogy a vizsgált IR tartományban a legtöbb ezüst ceruzás rajz transzparens, illetve a rajzot gyakran ólom ceruzával és különböző tintákkal kombinálták.

A két ezüstceruzás rajz, amely nem transzparens Raffaello Szűzanya feje és Benozzo Gozzoli, Ember a lóval című munkája, utóbbin az ezüst teljesen átlátszatlan, így feltehetően ólmot is tartalmazhat, míg az előbbi csak részben enged át.¹¹³ (41.ábra)

41. ábra: British Múzeum és a firenzei Uffizi Galéria kutatása				
Alkotó	Mű címe	Hordozó	Fém ceruzák	Megjegyzés
Raffaello Sanzio	A Szűz feje Norton Simon festményéhez	szürkésfehér alapozású papír	nagyreszt ezüst alapú, de vannak ólom alapú vonalak	az ezüst vonal részben opak IR sugárzás hatására
Benozzo Gozzoli/Pessellino	Férfi lóval	kékre alapozott papír	ezüst ceruza?	az ezüst vonal opak IR sugárzás hatására
Pietro Perugino	Férfifej	barnás-zöldes alapozású papír	ezüst és ólom alapú ceruzák	az ezüst vonal transzparens IR sugárzás hatására
Filippino Lippi	Két akt	szürke alapozású papír	ezüst és ólom alapú ceruzák	az ezüst vonal transzparens IR sugárzás hatására
Filippino Lippi	Álló női Szent, és fejetlen férfi	papír, előoldal rózsaszín alapozású, hátoldal okker alapozású	előoldal ezüst alapú hátoldal ezüst és ólom alapú	az ezüst vonal transzparens IR sugárzás hatására
Leonardo da Vinci	Harcos	alapozott papír	ezüst alapú	az ezüst vonal transzparens IR sugárzás hatására
Giovanni Antonio Boltraffio (Leonardo iskolája)	Drapéria a feltámadt Krisztushoz	kék alapozású papír	ezüst alapú	az ezüst vonal transzparens IR sugárzás hatására
Pietro Perugino	A bölcsék imádása	papír	elő és hátoldal is ólom alapú	az ezüst vonal transzparens IR sugárzás hatására

¹² XRF- Röntgen fluoreszcens analízis.

¹³ Raman spektroszkópia: olyan elemanalitikai módszer, amellyel a molekulák különböző rezgései alapján strukturális felépítésük meghatározható. A szerves anyagok széles köre nagyon jó Raman szórási tulajdonságokat mutat, így könnyen és hatékonyan vizsgálhatók. Forrás: https://en.wikipedia.org/wiki/Raman_spectroscopy, <http://pigmentum.hu/fooldal.php?oldal=18> 2024. 11.10.

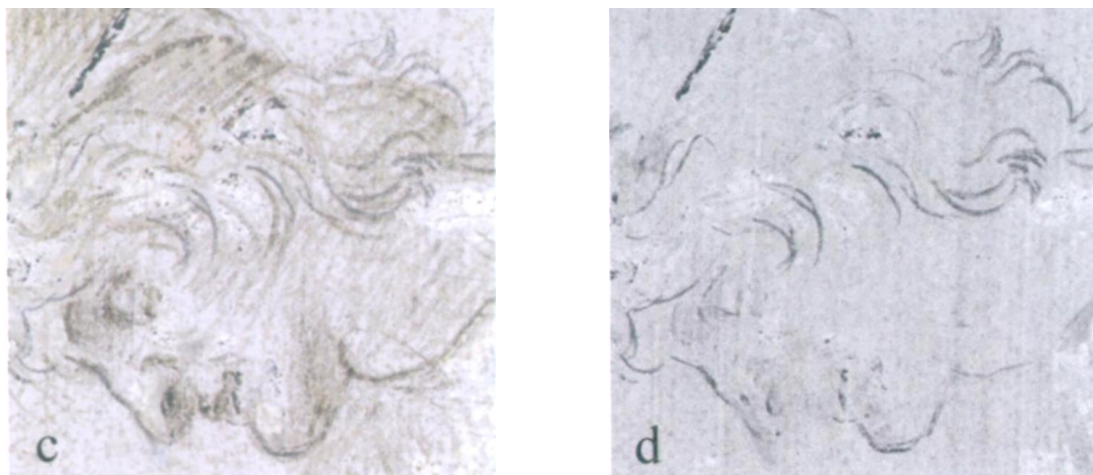
Fra Filippo Lippi rajzán megjelenő barnás színű vonalak XRF-vizsgálata ezüst jelenlétét igazolta egy kevés rézzel és higannyal, míg a fényes szürkés vonalak esetében ólom és ón jelenlétét. A normál és IRR felvételeket összehasonlítva, jól látható, hogy az ezüstceruzával rajzolt vonalak transzparenssek, míg az ólom-ón ceruzával rajzoltak opaknak mutatkoznak a vizsgált hullámhossz tartományban.¹¹⁴(42. ábra)

4.4.1.1 Ezüst korróziós termékek és láthatóság infravörös tartományban

Az ezüstceruzával rajzolt vonal infravörös tulajdonságait, nagyrészt korróziós termékeinek típusa határozza meg.¹¹⁵

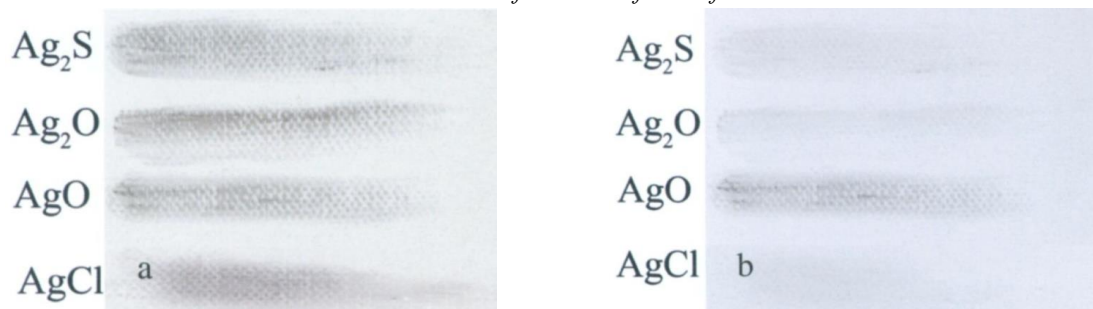
Különböző tesztpaneelen a leggyakoribb ezüst korróziós termékek, az ezüst-szulfid Ag_2S , ezüst (I)-és (II)-oxidok (Ag_2O , AgO), ezüst-klorid (AgCl) infravörös tulajdonságait vizsgálták. (43. ábra) Amint az ábrán látható, az ezüst-szulfid, ezüst (II)-oxid és az ezüst-klorid transzparens, míg az ezüst (I)-oxid átlátszatlannak tűnik, tehát feltehetően csak az utóbbi detektálható igazán IRR felvételen egy alárajz esetén is.¹¹⁶ Alárajz esetén egyes források szerint az ezüst-oxid korróziós termék, nedvesség hatására a felszínre vándorolhat.¹¹⁷

A leggyakoribb ezüst korróziós termék az ezüst-szulfid tehát nagyobb valószínűséggel detektálható a láthatóhoz közeli hullámhossz tartomány esetében.¹¹⁸



42. ábra: F. Lippi -Két akt, részlet c: VIS, d:800-1700nm

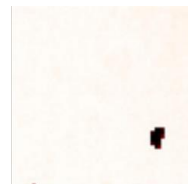
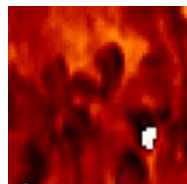
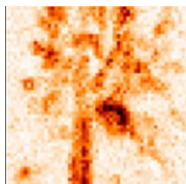
43. ábra: Ezüst korróziós termékek normál és infravörös-reflexiós felvételen



Újabb kutatások szerint azonban SR-XRF¹⁴ segítségével hatékonyan meghatározható, emellett pedig ezzel a technikával elemtérkép is elérhető.¹¹⁹ Az Ag- K α vonalai akkor is detektálhatóak, ha egy ólomfehér és egy cinóber réteg alá van rejtve, hiszen fluoreszcencia jeleik sikeresen áthatolnak rajta. Hosszabb behatási idő és a nagyobb térbeli felbontás pedig jelentősen javíthatja az elkészült elemtérképek kontrasztját.¹²⁰ (44. ábra)

44. ábra: Ezüstceruzás alárajz detektálhatósága SR-XRF segítségével

ROI#3-nagyobb felbontású felvétel

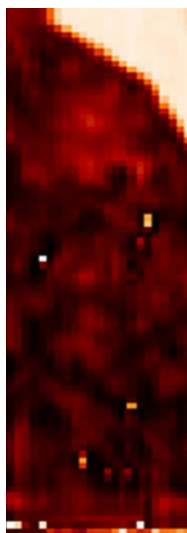
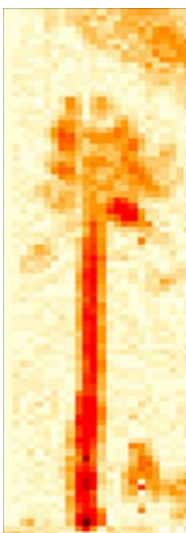


Alárajz részletei

AgK (alárajz)

PbLa (ólomfehér)

HgL (m. cinóber)



¹⁴ SR-XRF- synchrotron X-ray fluorescence spectroscopy, szinkrotron sugárzású röntgenfluoreszcencia spektrometria. Annyiban tér el az XRF-től, hogy ebben az esetben nagy intenzitású röntgensugarakat alkalmaznak, előállításukhoz pedig egy részecskegyorsító vagy vagy szinkrotron berendezés használata szükséges. Forrás: DIK J., JANSSENS K., VAN DER SNICKT G., WALLERT A. (2008). Silverpoint underdrawing? A Note on its Visualization with Synchrotron Radiation based X-ray Fluorescence Analysis 383.

4.4.2 Ólomceruza

Az ólomceruza a római kor óta ismert, a fémceruzák közül a legelterjedtebb író- és rajzeszköz. Szinonimájává vált a 16. század végén megjelent és ma is használatos grafitceruza. A kódexek betűit általában ólomceruzával és tintával rajzolták. Mindennapi használatban pedig a pincemesterek és az intézők írtak vele kiméretű táblákra. Ezek a táblák váltották fel a régi viasztáblákat, amelyek addig a szokásos írófelületet jelentették.¹²¹ A papír meghonosodásával az ólomceruza fennmaradt, hiszen a szén mellett a puha érzékeny felületen szintén megfelelőnek bizonyult.

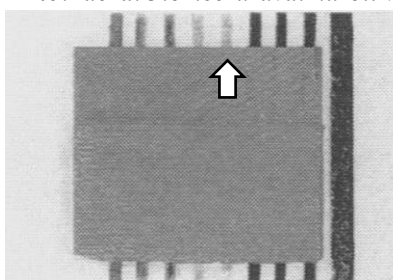
Nagy előnye, hogy az ezüsttel ellentétben a vele húzott vonal javítható.¹²² Cennino Cennini ezt javasolja: „ha időnként javítani akarsz egy ceruzavonáson, vegyél néhány morzsát dörzsöld meg vele a papírt, és töröld le, amit el akarsz távolítani.”¹²³ Hátránya, hogy kis keménysége miatt gyorsan kopik, így a vele húzott vonal szélesebb és sötétebb, mint az ezüstceruzával húzotté.

A gótika és az azt követő korszakok mesterei a festőalap mellett, pergamenre, papírra rajzoláshoz is használták.¹²⁴ Tisztán ólomceruzás alárajzra még nem találtam példát.

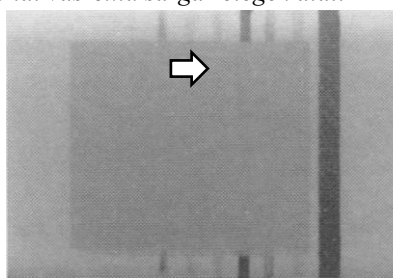
Infravörös tartományban a vele húzott vonal sötétben jelenik meg, bár abszorpciója jóval gyengébb, mint egy szenes tintának, így egy Mars-sárga réteg alatt nehezen detektálható.¹²⁵

Elemanalitikai módszerekkel az ólom mellett réz- (Cu), ezüst- (Ag), antimon- (Sb), bizmut- (Bi), kén- (S), esetlen ón (Sn) tartalom is mérhető lehet.¹²⁶

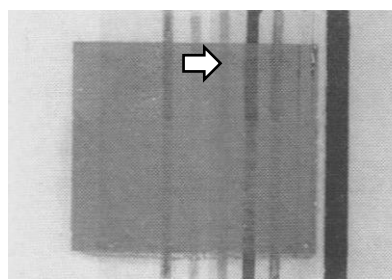
45. ábra: Ólomceruzával húzott vonal vas-oxid sárga rétegek alatt



Normál felvétel



Vidicon IR felvétel, 900-1500nm



PtSi IRR felvétel, 1500-2000nm

4.4.3 Ólom-ón ceruza

Az ólom és az ón igen ismert történeti fémötvözet, amelyet már a római kor óta használtak, leginkább ólomcsövek fugázára.¹²⁷ Theophilus Presbiter étekezése volt az első forrás, amely festmények felvázolásához ajánlja, krétával alapozott fatáblára.

Az ón, amely önmagában nem hagy nyomot, az ötvözet keményítő komponense, ebből következik, hogy az ón önmagában nem alkalmas rajzeszköznek. Az ólmot az ón mellett bizmutterrel is ötvözheték. Közepes keménységű és viszonylag változatlan vastagságú vonalak húzhatóak vele, emellett a tiszta ólomnál jóval kevésbé kopik.¹²⁸ Cennino Cennini az ólom-ón ceruzát csak ólomceruza: "con istil di piombo" néven említi,¹²⁹ a festészetről szóló értekezésében pedig, elkészítéséhez két rész ólmot és egy rész jól kalapált ónt ajánl.¹³⁰

Egyes források szerint, az ezüstceruzához hasonlóan, az ólom-ón ceruza rajz szintén reagál a környezettel, így idővel sötétedik. Ez a jelenség alárajzok esetében is megtörténhet, annak ellenére, hogy azokat festett rétegek takarják.¹³¹ Míg ezzel ellentétben más források azt állítják, hogy az ólom-ón alapú fémceruzás vonalak általában csak enyhén sötétednek el, vagy változatlanok maradnak.¹³² Az ólom és az ón hajlamos főleg fémoxid(ok)ból álló passzíváló réteget képezni, amely korlátozza a további reakciót/korróziót.¹³³

Összességében elmondható, hogy kevés műtárgyon detektálták, azonban Conrad von Soest feltehetően számos munkájához ezt a rajzeszközt használhatta (47. ábra).¹³⁴ Raffaello Aldobrandini Madonna című festményén MA-XRF¹⁵ segítségével szintén ez az eszköz lett detektálva.¹³⁵ (46. ábra)



46. ábra: Raffaello Sanzio - Aldobrandini Madonna (1510), részlet, IRR



47. ábra: Conrad von Soest: „Krisztus mennybemenetele”, 15.sz. eleje IRR

¹⁵ MA-XRF- macro-XRF. Az XRF-hez hasonló elven működik, annyi különbséggel, hogy sokkal kisebb területen mér (100-500µm) így pontosabb és ezzel a módszerrel mapping is elérhető.

<https://www.bruker.com/en/products-and-solutions/elemental-analyzers/micro-xrf-spectrometers/m6-jetstream.html> 2024.11.10.

4.5 Szén alapú tinták

4.5.1 Koromtinta

A szenes tintát, amely a legfinomabb faszénből, kátrányból és szerves szennyezőkből állt, Egyiptomban Kínában és Indiában már több évezreden át használták íráshoz és rajzoláshoz. Már az i. e. 2. évezredben jól átgondolt eljárásokkal nyertek kormot a tintához.¹³⁶

Európában legnagyobbbrészt a gyertyából, olajlámpából (lenolaj), fából (olajfa, szőlő) és különböző gyantákból származó korom volt elterjedt.¹³⁷ A tinta kötőanyaga egy ragasztóféle kémiaailag szénhidrát és/vagy fehérje, például gumiarábikum, enyv (halenyv, csontenyv) és tojásfehérje volt.¹³⁸

Minden bizonnyal ez volt a leggyakrabban használt tinta alárajzok esetében.¹³⁹ Holbein a Krisztus koronázása című táblaképén valószínűleg, vas-gallusz tintával keverve használta, amely a mélyebb tónus elérése miatt bevett gyakorlat volt akkoriban.¹⁴⁰ (49. ábra) Cseh táblaképeken is gyakran feltételezik használatát. Példa erre a Trebon oltár mesterétől Madonna Szent Bertalan és Szent Margit között című táblakép 1380 utánról, ahol tisztán, míg a Feltámadás/ Szent Jakab, Szent Bertalan és Szent Fülöp táblaképeken pedig vörös okkerrel keverve alkalmazták.¹⁴¹ A Nové Sady-ból származó Keresztrefeszítés jeleneten az alárajz a festett rétegeken keresztül is tisztán látható, hiszen a köztes ólomfehér tartalmú réteg ami valószínűleg az imprimatúra hiányzik.¹⁴² (48. ábra)



48. ábra: Ismeretlen mester- Keresztrefeszítés, (részlet), 1430 k., Nemzeti Galéria Prága, IRR



49. ábra: Hans Holbein-Krisztus koronázása (Dominikánus oltárkép) 1500 k., Frankfurt, Städel Museum, IRR

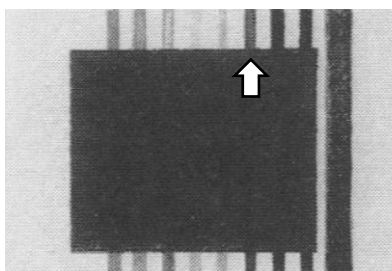
A szén alapú tinták széntartalmuk és nagyon finom szemcsészetük miatt, mind IRP és IRR felvételen 900-tól egészen 2000 nm-ig -és feltehetően a szénhez hasonlóan magasabb hullámhosszon is- elnyelik a sugárzást, így ez a módszer elemanalízissel kombinálva alkalmas lehet detektálásukra.¹⁴³ Infravörös tartományban való erős elnyelésük miatt, a velük húzott vonal a többi alárajz anyaggal szemben referenciaként is használható.¹⁴⁴

Ez az erős abszorpció egy, nagyobb hullámhossztartományban pedig két réteg azurit alatt is érzékelhető marad. A nyíllal jelölt tiszta szenes tintával húzott vonal, amely fele arányban vas gallusz tintát is tartalmaz, hasonlóan jelenik meg a felvételen, ebből következik, hogy az elnyelés önmagában nem igazolja, hogy tisztán szén alapú tintáról lehet szó, ezért mindenképpen szükségesek az elemanalitikai vizsgálatok is. (50. ábra)¹⁴⁵

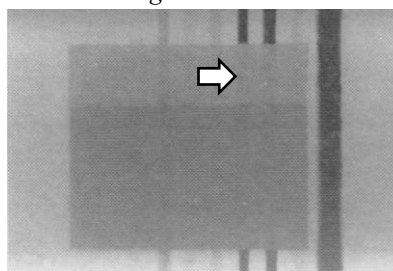
Fő összetevője a szén (C), mellett alumínium (Al), kálium (K), kalcium (Ca), kén (S), szilícium-dioxid (SiO_2) és vas (Fe) szennyezők is kimutathatóak.¹⁴⁶ A Holt-tengeri tekercseket vizsgálva néhányánál jelentős mennyiségű réztartalmat is detektáltak, míg a Herkulaneumi-papiruszokon pedig ólom volt kimutatható.¹⁴⁷

Az utóbbi évtizedekben a Raman-spektroszkópia is egyre népszerűbbé vált szén alapú tinták azonosításakor, mivel azt remélték, hogy ezzel a módszerrel különbséget lehet majd tenni a növényi szén és a koromtinta között, sajnos az ilyen jellegű azonosítást igen megnehezíti a számos különböző recept.¹⁴⁸

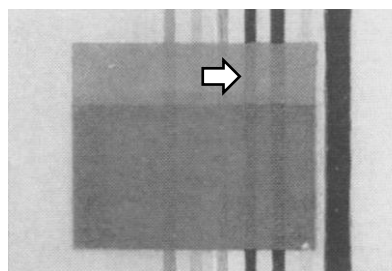
50. ábra: Koromtintával húzott vonal azurit rétegek alatt



Normál felvétel



Vidicon IR felvétel, 900-1500nm



PtSi IRR felvétel, 1500-2000nm

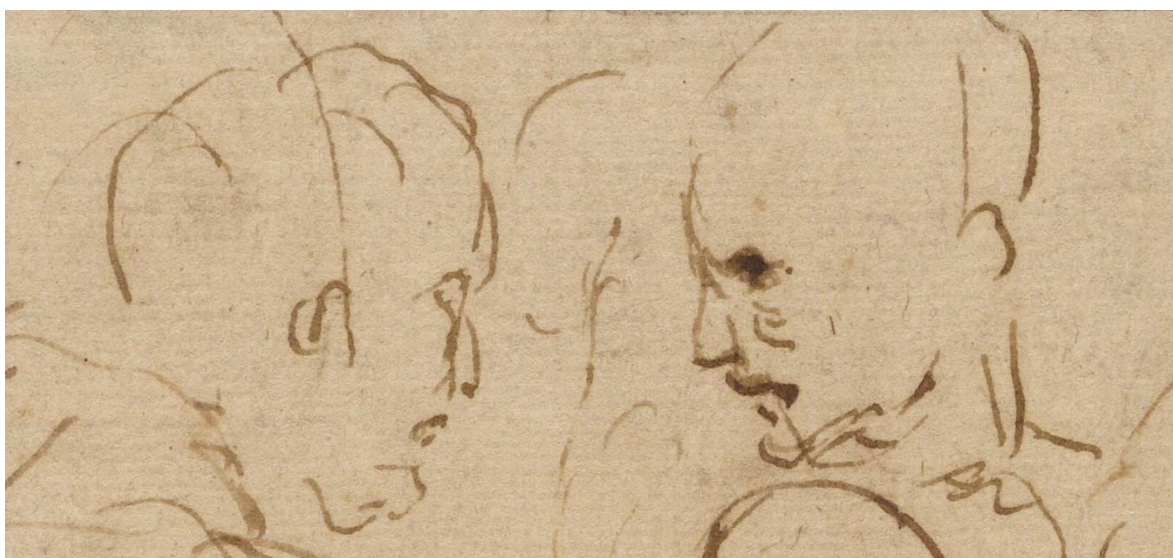
4.5.2 Biszter

A „bistre” kifejezés egyik legkorábbi említése Mademoiselle (Cathérine) Perrot de l'Académie Royale 1625-ből származó művében található és a keményfákból, például bükkfából származó korom kivonatát értették alatta.^{149 150} Esetenként a keményfák helyett gyantát égettek és annak a füstjéből nyerték a színanyagot. Ez a típusú koromtinta a 19. század elején teljesen felváltotta a szépiát.

Előállításához koromra van szükség olyan kéményből, amely csak a fafüstöt szállítja. Vízzel keverve ez a sötétbarna, zsíros massa könnyen feloldódik, és hátrahagy egy homokszerű üledéket maga után, amelyet aztán le lehet szűrni.

A biszterrel rajzolt vonal sárgásbarna vagy vörös színű és meleg tónusú, a színárnyalatot mindig az égetett fa típusa határozza meg. A legjobb színt bükkfából, különösen a rézbükkből nyerik, míg a legsötétebb színt feltehetően a tölgy adja.¹⁵¹ A tinta kötőanyagot nem tartalmaz.¹⁵² A szépiánál érzékenyebb a fényre és különböző fehérítőszerekre.¹⁵³

Korai felhasználásra példa lehet a 14. századi olasz könyvillusztrációk kontúrozása és árnyékolása. Raffaello firenzei könyvlapjai állítólag részben tintával részben pedig ezzel az anyaggal készültek, míg Rembrandt számos ecset és tollrajzán felismerhető a biszter barna színe.¹⁵⁴ Raffaello a vatikáni Stanza della Segnatura teremben készülő freskóihoz is barna tintával készített vázlatokat, bár nem kizárt, hogy biszter helyett vas-gallusz tintát alkalmazott.¹⁵⁵ (51. ábra)



51. ábra: Raffaello Sanzio- Tanulmányok a „Dipsuta” című freskóhoz, (1509–1511), J. Paul Getty Múzeum, Los Angeles, részlet

4.6 Egyéb tinták

4.6.1 Szépia

A szépia tinta színanyagát egy barna pigment adja, amely a fejlábúak különböző fajainak, elsősorban a *Sepia officinalis* L. tintahalnak tintaszákjából származik. A szépia fajok pigmentje melanint tartalmaz. A melanin pigmentek csoportját általában két típusra, a fekete eumelaninokra és a vörösesbarna pheomelaninokra osztják. Az eumelaninok a tirozin oxidációjából származó indolos egységekből, míg a pheomelaninok a ciszteinil-dopa molekulák oxidációjából származó benzotiazin származékokból állnak. Fontos, hogy szépia esetében csak tisztán az eumelanin van jelen.

A pigmentet úgy állították elő, hogy a halott állatok mirigyeit/tintaszákjait a napon kiszárították, hogy tartalmuk megszilárduljon. Ezután a szilárd anyagot szóda vagy kálisó oldatban főzték, amelynek hatására a színezőanyag kioldódott a zsákból. Az oldatot szűrik, majd savat adnak hozzá ezáltal kicsapva a pigmentet, amelyet szűrőre gyűjtenek, mosnak és szárítanak.¹⁵⁶

A 15-17. században nagyon ritkán használták alárajzokhoz.¹⁵⁷ Harley (1982) arra utal, hogy amikor a szépia a XIX. század elején vált elérhetővé, akkor részben kiszorította az indiai tintát és a bisztert.¹⁵⁸ Alárajzhoz való használatára eddig nincs igazolt példa.

4.6.2. Olaj alapú tinták

Az olaj alapú tinták is elég gyakoriak lehettek a késő 15. és 16. században.¹⁵⁹ Egy tanulmány szerint Holbein és műhelye a vizes tinták mellett olaj alapú tintákat is alkalmazott alárajzaihoz. Erre példa lehet a „Grey Passion” azaz Szürke passió táblák, amelyek egyikének, pontosabban A Keresztről való levétel fatáblának EDX eredménye, a vékonyabban felhordott részeken kék vitriol-réz-szulfát-és verdigris-réz-acetát- jelenlétét igazolta olajos kötőanyag szikkatívként.¹⁶⁰

4.6.3 Gubacstinta/Vas-gallusz tinta

A kezdetben használt koromtinta pergamenhez való rossz tapadása és vízre való érzékenysége vezetett stabilabb tinták kereséséhez, a rátalálás azonban valószínűleg véletlen lehetett. Nem ismeretes idáig, hogy hogyan jöttek rá arra, hogy a vas-sók és a cserzőanyagok közötti reakció eredményeként sötét színű anyag képződik. Egyes feltételezések szerint a koromtintához adott, vagy véletlenül belekerült vas-sók reagálhattak a pergamen kevés cserzőanyagával, és egy, a pergamenhez jól kötődő anyag képződött.

Időszámításunk előtt 300 körül Bizáncban már leírták a vas-sók és a cserzőanyag kémiai reakcióját,¹⁶¹ később pedig Plinius is ír a használatáról, az első európai receptet pedig i. u. 7. századra datálják.¹⁶²

A gubacsok maguk gömb alakú váladékok, amelyeket néhány növény és fa termel, a paraziták által okozott irritációra válaszul. (52. ábra) A tölgygalluszt az Európában elterjedt nőstény darazsak okozzák, de számos más egyéb gallusz létezik fajtától függően. A galluszok egy ideig otthont adnak, a bennük nevelkedő darázslárváknak, majd azok kirepülve egy lyukat hagynak maguk után.¹⁶³ (53. ábra)

A tinta színanyagát részben a gubacsból kinyerhető gallotanninok adják, ezek a vas-szulfáttal oldatban reagálva, savas közegben sötét színű vas-gallátot képeznek.¹⁶⁴ Azonban a tinta felvitelkor még nem, a későbbi színét produkálja, hiszen a levegő oxigénjének hatására oxidálódva, mélyebb lilás színt ér el, míg minden gallát pirogallollá nem alakul.¹⁶⁵



52. ábra: Lerakott peték körül növekvő gubacsok

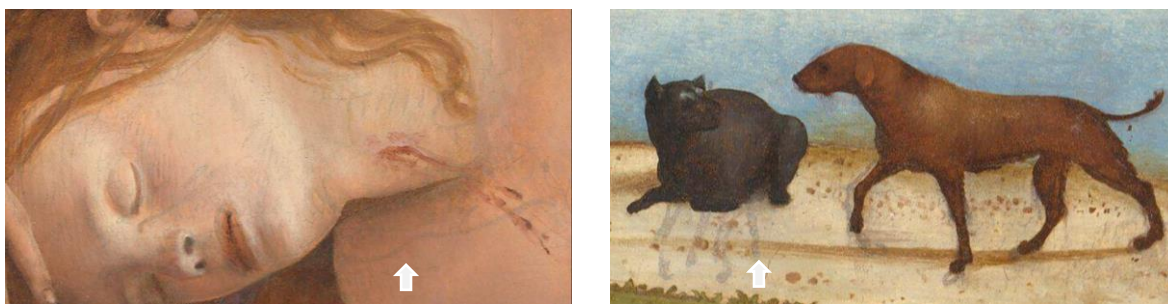


53. ábra: Tölgygallusz darázs

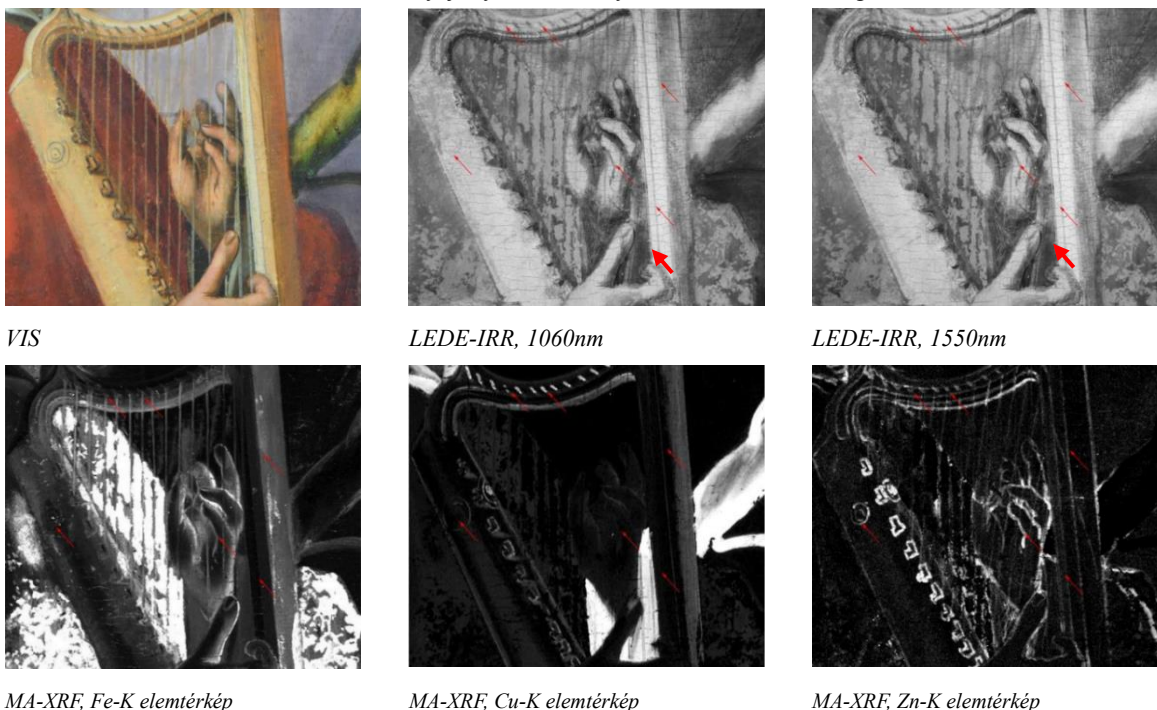
Fra Angelico, Szent Domonkos oltárán, Krisztus mennyei udvarban való megdicsőülése táblaképen és a Hitetlen Tamás képén, feltehetően ezt az anyagot használta, emellett Pierro di Cosimo „Egy nimfa felett gyászoló szatír” című képén is sikerült azonosítani¹⁶⁶ (54. ábra) Hans Holbein képeit, köztük a Jessze fája című képét is vizsgálták LEDE-IRR¹⁶, MA-XRF, és SEM-EDX segítségével.¹⁶⁷ Az alárajz vonalai az Fe-K és Cu-K elemtérképeken gyengén, viszont a Zn-K elemtérképen erősen rajzolódnak ki, tehát a cink-szulfát mint szennyezőanyag azonosítható.¹⁶⁸ (55. ábra)

Mivel a 19. századig nem léteztek cink alapú pigmentek, így Zn-K térképek használata indokoltnak tűnik. Azonban vitriolokat cinkkel, vagy anélkül adalékként is használtak festékek tulajdonságainak módosítására, emellett a cink gyakori szennyezője a rézalapú pigmenteknek is, így a Zn-K térkép önmagában kevés.¹⁶⁹

54. ábra: Pierro di Cosimo-Nimfa felett gyászoló szatír, 1495, National Gallery London, látható alárajz



55. ábra: id. Hans Holbein-Jessze fája: fototechnikai felvételek és elemtérképek



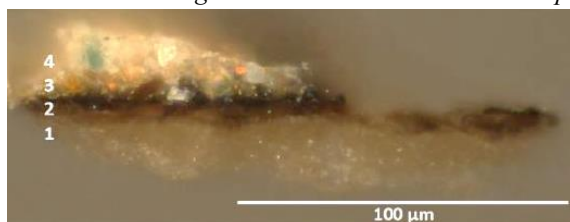
¹⁶ LEDE-IRR-LED-excited IRR, szűk hullámhossz tartományú, LED-gerjesztésű infravörös-reflexiós felvételt készítés.

id. Hans Holbein festményén az alárajz rétegét is érintő mintán, kettes számmal egy kissé áttetsző barnás réteg jelenik meg,¹⁷⁰ SEM-EDX¹⁷ használatával pedig vas, réz, cink és alumínium jelenlétét igazolták.¹⁷¹ Cima da Conegliano festményén pedig egy az előbbihez hasonló barnás színű réteg látható, amely kevésbé penetrál az alapozóba és 30-50µm-onként megrepedt. UV-lumineszcens felvételen a réteg sötét.¹⁷²

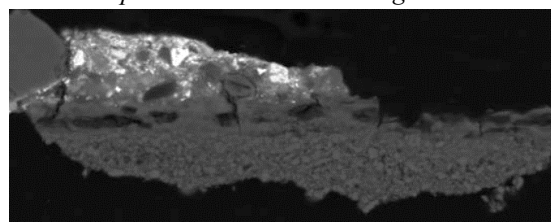
Egyes források szerint IRR felvételen nehezen detektálható,¹⁷³ míg mások szerint csak 1300nm-en transzparens.¹⁷⁴ Egy kutatásban azt találták, hogy 1500nm-ig még halványan látható marad. Abszorpciós tulajdonságai 900nm-en a legkedvezőbbek, a hullámhossz növekedésével pedig áteresztése folyamatosan nő. Az ólom-ón sárga réteg alatt, amely 1200nm-en és nagyobb hullámhossz tartományban is átenged, még viszonylag jól detektálható.¹⁷⁵

Összefoglalva, infravörös tartományban körülbelül 1400nm-ig detektálható. Mivel szervesetlen összetevőket tartalmaz, ezért XRF és MA-XRF segítségével azonosítható. Előbbinél a vas, réz, mangán, magnézium, alumínium és kén mérhető,¹⁷⁶ míg MA-XRF használatával az elemtérképen a Fe-K, Cu-K és Zn-K együttes jelenléte utal rá.

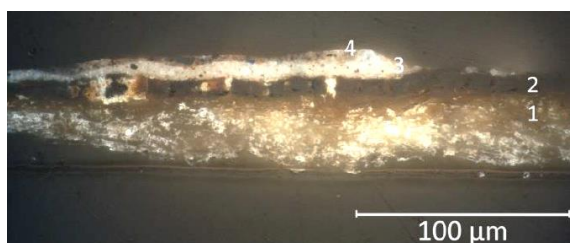
4. ábra: Vas gallusz tintát tartalmazó minták optikai mikroszkópos és elemanalitikai vizsgálatai



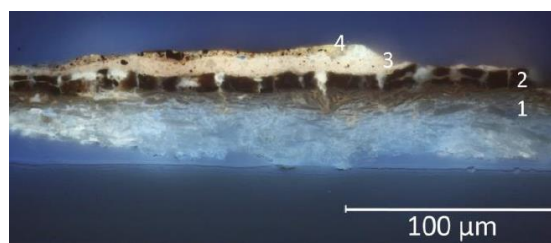
id. Hans Holbein-Jessze fája, VIS



SEM-EDX

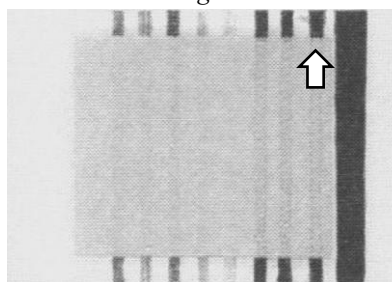


Cima da Conegliano-Szűz a Gyermekekkel, VIS

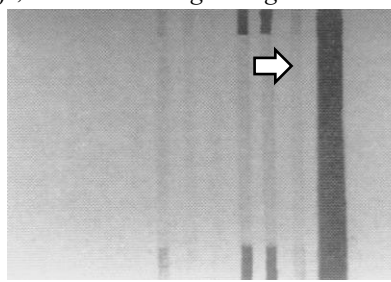


UV-lu

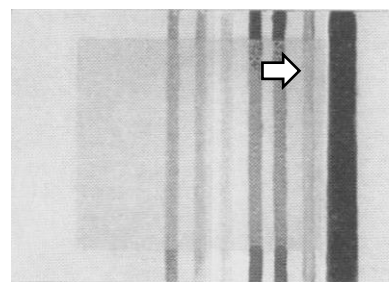
5. ábra: Vas-gallusz tintás alárajz, az ólom-ón sárga réteg alatt



Normál felvétel



Vidicon IR felvétel, 900-1500nm



PtSi IRR felvétel, 1500-2000nm

¹⁷ SEM-EDX- „szkenning”, azaz pásztázó elektron mikroszkóp.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az alábbi táblázat jól példázza, hogy infravörös tartományban jellemzően a széntartalmú alárajzok detektálhatóak nagyobb hullámhosszon is, pontos anyagmeghatározásukhoz azonban a nagyműszeres vizsgálatok, például FTIR¹⁸, RAMAN spektroszkópia¹⁹ elengedhetetlenek. Ezek alapján a szén alapú alárajzok további vizsgálatai, túlnyomórészt ilyen módszerekkel lehetségesek, esetenként polarizációs mikroszkópos vizsgálatokkal kiegészítve.

A fémceruzák detektálása kedvező esetben már az egyetemen is alkalmazott kézi XRF készülékkel is lehetséges, infravörös felvételen azonban nem minden esetben detektálhatóak.

Tinták esetén a széntartalmúaknál és a többi szerves tintánál az előbb említett nagyműszeres vizsgálatok, míg vas-gallusz tinta esetén, infravörös tartományú megjelenése, illetve a rá jellemző elemek detektálása szükséges.

	ANYAG	ÖSSZETÉLTLEL	IRP, IRR	PÉLDÁK ALÁRAJZRA
SZÉNTARTALMÚAK	Faszén	C, K, P, Ca, Si, S	sötét	Veronese, Hans Hobein, Gerard David
	Olajozott szén	C, K, P, Ca, Si, S, O	sötét	id. Pieter Bruegel, Andrea del Verrocchio, Guercino, Guido Reni, Tintoretto
	Grafít	C, Si, Fe, O	sötét	Jan van Eyck, Hans Memling, Gieseppe Piattoli, William Turner
	Palakréta	30% C, Si, Al, S, K, Fe	sötét széntartalomtól függően	Jan van Scorel, Maarten van Heemskerck, Albrecht Dürer, Hans Holbein, Lucas Cranach, Rogier van der Weyden, Jean-Honoré Fragonard, Joachim Beuckelaer
EGYÉB A.	Vörös kréta	Fe, Mn, Si, Al, O	transzparens, csak 900 nm-ig detektálható	Hans Holbein, Joachim Beuckelaer
	Mesterséges kréták		összetételtől függ	
FÉM CERUZÁK	Ezüstceruza	Ag, S, Cl, O	korrozíós terméke határozza meg, AgO, detektálható, a legtöbb változata 800-1700nm között transzparens	Jan van Eyck, Girolamo Muziano, Pietro Perugino, Giovanni Antonio Boltraffio, Fra Filippo Lippi
	Ólomceruza	Pb, Cu, Ag, Sb, Bi, S, Sn	sötét, abszorbens rétegek alatt nehezen detektálható	Filippino Lippi
	Ólom-ón ceruza	Pb, Sn	sötét, abszorbens rétegek alatt nehezen detektálható	Conrad von Soest, Raffaello Sanzio
	Gubacstinta	Fe, S, Zn, Cu	1300nm <transzparens	Fra Angelico, Pierro di Cosimo, Hans Holbein, Cima da Conegliano
TINTÁK	Koromtinta	C, Al, K, Ca, S, Si, Fe, O	sötét, 900-tól 2000-nm-ig	15. sz-i cseh táblaképfestők
	Biszter	C, Al, K, Ca, S, SiO, Fe	sötét	Raffaello rajzai
	Szépia	szerves anyagok	?	15-17. században ritkán
	Olaj alapú tinták	Cu, S, C, O	a felhasznált pigmenttől függ	Holbein és műhelye

¹⁸ FTIR- Fourier-transform infrared spectroscopy. Olyan analitikai módszer, amellyel különböző halmazállapotú anyagok, abszorpciós, emissziós, fotokonduktív vagy Raman-szórásának infravörös spektrumát határozzák meg. Ez a módszer molekuláris kötések meghatározását teszi lehetővé, így szerves anyagokhoz is alkalmazható. <http://pigmentum.hu/fooldal.php?oldal=18> 2024. 11.10.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- BECKERS, J., VOGELS, A., STOCK, J. V. D., WATTEEUW, L. (2021). *Imaging Utopia- New Perspectives on Northern Renaissance Art*. (Papers Presented at the Twentieth Symposium for the Study of Underdrawing and Technology in Painting held in Mechelen and Leuven), 11-13 January 2017
- BELLUCCI, R., FROSININI, C., PEZZATI, L. (2011). *Caravaggio's underdrawing: a 'Quest for the Grail'?*
- BOMFORD, D., ed. (2002). *Art in the Making: Underdrawing in Renaissance Painting*, National Gallery London Publications. Yale University Press.
- CENNINO CENNINI- *Il libro dell'arte, o Trattato della pittura*, 10. fejezet
- CREAGH, C. D., BRADLEY, D. A. (2000.) *Radiation in Art and Archeometry*. Elsevier Science B.V., Amsterdam
- CURRIE, C., ALLART, D., FRANSEN, B., STROO, C., VANWIJNSBERGHE, D. (2021). *The Bruegel Success Story*, Papers Presented at Symposium XXI for the Study of Underdrawing and Technology in Painting, Brussels, 12–14 September 2018
- DAHM, K. (2004). 'The stylus revealed: A metalpoint identification study of fifteenth- and sixteenth-century Italian drawings in the Metropolitan Museum of Art', *The Paper Conservator* 28
- DANOVÁ, H., SHLUMSKÁ, S. (2017). *What the Eyes Cannot See-Underdrawing in 14th-16th Century Panel Paintings from the Collections of the National Gallery in Prague*. Prague
- DERZELLE, E., STRIVAY, D. DEFEYT., A., KLEIN, S-J., VANDEPITTE, F., C. DEFEYT. (2023). Paul Delvaux: The Study of Nine Paintings by Non-Invasive Methods. *MDPI, Heritage, Basel, Switzerland*, 6
- DIK J., JANSSENS K., VAN DER SNICKT G., WALLERT A. (2008). Silverpoint underdrawing? A Note on its Visualization with Synchrotron Radiation based X-ray Fluorescence Analysis
- DINWIDDIE, R.B., DEAN, S. W. (2006). *Case Study of IR Reflectivity to Detect and Document the Underdrawing of a 19th Century Oil Painting*. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge
- DUNKERTON, J., & PENNY, N. (1993). The Infrared Examination of Raphael's 'Garvagh Madonna'. *National Gallery Technical Bulletin*
- EASTAUGH N., WALSH V., CHAPLIN T., SIDDALL R. (2004). *The Pigment Compendium-A dictionary of historical pigments*. Oxford
- FARIES M., SPRONK R. (2003). *Recent Developments in the Technical Examination of Early Netherlandish Painting: Methodology, Limitations & Perspectives*. Harvard University Art Museums, Cambridge
- FUCHS, R. (1995). Spektrale Fenster zur Vergangenheit Ein neues Reflektographieverfahren zur Untersuchung von Buchmalerei und historischem Schriftgut. *The Science of Nature*,
- GAVRILOV, D., MAEVA, E., GRUBE, O., VODYANOV, I., MAEV, R. (2013). Experimental Comparative Study Of The Applicability Of Infrared Techniques For Non-Destructive Evaluation Of Paintings. *Journal of the American Institute for Conservation* 52(1)
- GERKEN, M., SANDER, J., KREKEL, C. Visualising Iron Gall Ink Underdrawings In 16th Century Paintings In-Situ By Micro-XRF Scanning. *Heritage Science*, 10(78)
- HAHN O., KANNGEIßER B., MALZER W. (2005). X-ray Fluorescence Analysis of Iron Gall Inks, Pencils and Coloured Crayons. *Studies in Conservation*. 50(1)
- HUDSON, C., GREENBERG, M., GILMAN, B., WATSON, S., PASSELA, C. (1997). *Masterpieces of the J. Paul Getty Museum-Drawings*. J. Paul Getty Museum, Los Angeles, California
- J. R. J. VAN ASPEREN DE BOER, J. DIJKSTRA, R. VAN SCHOUTE, C. M. A. DALDERUP, J. P. FILEDT KOK. (1992). *Underdrawing in Paintings of the Rogier Van Der Weyden and Master of Flémalle Groups*. Waanders Uitgevers
- J.R. J. VAN ASPEREN DE BOER. (1970). *Infrared-reflectography-A Contribution to the Examination of Earlier European Paintings*. Amsterdam

- KALUŽA, M., OLBRYCHT, R., KOPEĆ, M. (2016). Application of thermography for painting underdrawing detection. *Lodz Univ. of Technology, 90-924, Wolczanska Str., Lodz, Poland*
- KAMMERER, P., ZOLDA, E., SABLATNIG, R. (2003). Computer Aided Analysis of Underdrawings in Infrared Reflectograms. *4th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage*, pp. 1–9.
- KASTALY B., – ALBRECHTNÉ KUNSZERI G., BEÖTHYNÉ KOZOCSA I., GAJDÓ GY., JÁRÓ M., TÍMÁRNÉ BALÁZSY Á., PANKASZI I., MIKESY P. (2000). *A könyv- és papírestaurátor szakképzés jegyzetei-Kéziratok, nyomtatványok és grafikák író- és festékanyagai: összetételük, készítésük, vizsgálatuk, károsodásuk, rögzítésük és védelmük. a grafikai technikák felismerésének alapjai*. Országos Széchényi Könyvtár, Budapest
- MAYHEW T. D., HERNANDEZ S. L. ANDERSON P., SERAPHIN S. (2014). Natural Red Chalk in Traditional Old Master Drawings. *Journal of the American Institute for Conservation*
- NICHOLS K. (2002). Turner's Use of Graphite Underdrawing in His Watercolor "Cassiobury Park, Hertfordshire". *Master Drawings. 40*(8)
- RABIN, I. (2021). Material Studies of Historic Inks: Transition from Carbon to Iron-Gall Inks. In M. Eid & L. Raggetti (Ed.), *Traces of Ink: Experiences of Philology and Replication* (pp. 70-78). Boston, Netherland; Koninklijke Brill NV, Leiden
- SABLATNIG, R. (2006). *Texture and Profile Features for Drawing Media Recognition in Underdrawings*. Conference Paper,
- SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. (2004). *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. München
- SPRING, M., ROY, A. (2014). Rembrandt Now-Technical Practice, Conservation and Research. *Archetype*
- STONER, J. H., RUSHFIELD, R. (2012). *Conservation Of Easel Paintings*. Routledge, London and New York
- SZABÓ, K. (2021). Szakdolgozat-Infravörös-reflexiós- és lumineszcens vizsgálatok a restaurálásban. Magyar Képzőművészeti Egyetem, Restaurátor Tanszék
- TANIMOTO S., & VERRI G. (2009). A Note on the Examination of Silverpoint Drawings by Near-Infrared Reflectography. *Studies in Conservation*
- TAUBERT J. (2003). *Zur kunstwissenschaftlichen Auswertung von naturwissenschaftlichen Gemäldeuntersuchungen*. Siegl München
- VALADAS S., O JOÃO CRUZ A., CANDEIAS A. (2022). Charcoal or black stone? Reconstructions as a tool to study the behaviour of dry underdrawing materials within the paint structure of sixteenth century panel paintings. *Melo et al. Heritage Science*
- VIHART, A. (2005). Szakdolgozat-Kék, zöld szerves pigmentek és színezékek, Szerves és szervetlen feketék. Magyar Képzőművészeti Egyetem, Restaurátorképző Intézet
- WALMSLEY, E., METZGER, C., K. DELANEY, J., FLETCHER, C. (1994). Improved Visualization of Underdrawings with Solid-State Detectors Operating in the Infrared. *Studies in Conservation, 39*(4)
- WILSON, H. (2007). Analysis of the current research into the chemistry of Iron Gall Ink and its implications for Paper Conservation. *Honour School of Chemistry:Chemistry Part II*, St Anne's College
- WILSON, H. (2007). Analysis of the current research into the chemistry of Iron Gall Ink and its implications for Paper Conservation. *Honour School of Chemistry:Chemistry Part II*, St Anne's College
- WOLTERS, M. (2012). Drawing → Underdrawing → Painting: Compositional Evolution in the Working Process of Joachim Beuckelaer. *Historians of Netherlandish Art, 4*(2)

KÉPJEGYZÉK

1. ábra:	BOMFORD, D., ed. (2002). <i>Art in the Making: Underdrawing in Renaissance Painting</i> , National Gallery London Publications. Yale University Press. 49.
2. ábra:	Wolters, M. (2012). Drawing → Underdrawing → Painting: Compositional Evolution in the Working Process of Joachim Beuckelaer. <i>Historians of Netherlandish Art</i> , 4(2), 5.
3. ábra:	
4. ábra:	
5. ábra:	https://www.pubhist.com/w21608 2024.09.27.
6. ábra:	https://www.nationalgallery.org.uk/paintings/jan-brueghel-the-elder-the-adoration-of-the-kings 2024.10.13.
7. ábra:	https://elephant.art/wp-content/uploads/2018/12/J._Bosch_Adoration_of_the_Magi_Triptych.jpg 2024.10.08. https://s1.lzoom.me/big0/12/Pictorial art Jan Brueghel the Elder The Adoration 533847 1280x860.jpg 2024.10.08.
8. ábra:	BOMFORD, D., ed. (2002). <i>Art in the Making: Underdrawing in Renaissance Painting</i> , National Gallery London Publications. Yale University Press. 51.
9. ábra:	
10. ábra:	DANOVÁ, H., SHLUMSKÁ, S. <i>What the Eyes Cannot See</i> . 219.
11. ábra:	BECKERS, J., VOGELS, A., STOCK, J. V. D., WATTEEU, L. <i>Imaging Utopia</i> . 146.
12. ábra:	STONER, J. H., RUSHFIELD, R. <i>Conservation Of Easel Paintings</i> 298.
13. ábra:	CURRIE, C., ALLART, D., FRANSEN, B., STROO, C., VANWIJNSBERGHE, D. <i>The Bruegel Success Story</i> . 25.
14. ábra:	GAVRILOV, D., MAEVA, E., GRUBE, O., VODYANOV, I., MAEV, R. <i>Experimental Comparative Study Of The Applicability Of Infrared Techniques For Non-Destructive Evaluation Of Paintings</i> . 55.
15. ábra:	KALUŽA, M., OLBRYCHT, R., KOPEČ, M. <i>Application of thermography for painting underdrawing detection</i> . 361.
16. ábra:	
17. ábra:	
18. ábra:	
19. ábra:	SABLATNIG, R. <i>Texture and Profile Features for Drawing Media Recognition in Underdrawings</i> . 2.
20. ábra:	DANOVÁ, H., SHLUMSKÁ, S. <i>What the Eyes Cannot See</i> . 229.
21. ábra:	DANOVÁ, H., SHLUMSKÁ, S. <i>What the Eyes Cannot See</i> . 231.
22. ábra:	https://lucascranach.org/en/UK_NGL_6511-2 2024.11.12.
23. ábra:	https://app.fta.art/artwork/1726432c2f6100c88fc492f351b03f0717f40431 2024.09.20.
24. ábra:	BECKERS, J., VOGELS, A., STOCK, J. V. D., WATTEEU, L. <i>Imaging Utopia</i> . 141.
25. ábra:	DERZELLE, E., STRIVAY, D., DEFEYT, A., KLEIN, S.-J., VANDEPITTE, F., C. DEFEYT. Paul Delvaux: The Study of Nine Paintings by Non-Invasive Methods. 7187.
26. ábra:	WALMSLEY, E., METZGER, C., K. DELANEY, J., FLETCHER C. <i>Improved Visualization of Underdrawings with Solid-State Detectors Operating in the Infrared</i> . 222-23.
27. ábra:	BOMFORD, D., ed. <i>Art in the Making: Underdrawing in Renaissance Painting</i> . 17.
28. ábra:	CURRIE, C., ALLART, D., FRANSEN, B., STROO, C., VANWIJNSBERGHE, D. <i>The Bruegel Success Story</i> . 23.
29. ábra:	NICHOLS, K. <i>Turner's Use of Graphite Underdrawing in His Watercolor "Cassiobury Park, Hertfordshire"</i> . 299;300
30. ábra:	
31. ábra:	SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. <i>Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert</i> . 64.
32. ábra:	lásd:26.ábra
33. ábra:	Mayhew, T. D., Hernandez, S. L. Anderson, P., Seraphin, S. (2014). Natural Red Chalk in Traditional Old Master Drawings. <i>Journal of the American Institute for Conservation</i> 94;91.
34. ábra:	
35. ábra:	lásd:26.ábra
36. ábra:	DANOVÁ, H., SHLUMSKÁ, S. <i>What the Eyes Cannot See</i> . 54.
37. ábra:	https://lucascranach.org/de/DE_GNMN_Gm1116a 2024.10.16.
38. ábra:	https://www.metmuseum.org/art/collection/search/679024 2024.11.03.
39. ábra:	SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. <i>Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert</i> . 45
40. ábra:	TANIMOTO, S., & VERRI, G. A Note on the Examination of Silverpoint Drawings by Near-Infrared Reflectography. 108;109;112.
41. ábra:	
42. ábra:	
43. ábra:	DIK, J., JANSSENS, K., VAN DER SNICKT, G., WALLERT, A. <i>Silverpoint underdrawing?</i> 384.
44. ábra:	
45. ábra:	lásd:26.ábra
46.	DUNKERTON, J., & PENNY, N. The Infrared Examination of Raphael's 'Garvagh Madonna'. 14.
47.	SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. <i>Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert</i> , 53.
48. ábra:	DANOVÁ, H., SHLUMSKÁ, S. <i>What the Eyes Cannot See</i> . 143
49. ábra:	BECKERS, J., VOGELS, A., STOCK, J. V. D., WATTEEU, L. <i>Imaging Utopia</i> . 143.
50. ábra:	lásd:26.ábra
51. ábra:	HUDSON C., GREENBERG M., GILMAN B., WATSON S., PASSELA C. <i>Masterpieces of the J. Paul Getty Museum-Drawings</i> . 18.

52. ábra:	https://bugoftheweek.com/blog/2022/11/21/whats-that-on-an-oak-leaf-animal-plant-fungus-nah-gall-insect-galls-wasps-cynipidae 2024. 10. 20.
53. ábra:	
54. ábra:	https://www.nationalgallery.org.uk/paintings/piero-di-cosimo-a-satyr-mourning-over-a-nymph 2024.11.03.
55. ábra:	GERKEN, M., SANDER, J., KREKEL, C. Visualising Iron Gall Ink Underdrawings In 16th Century Paintings In-Situ By Micro-XRF Scanning. 10;5
56. ábra:	
57. ábra:	lásd:26.ábra

- ¹ STONER, J. H., RUSHFIELD, R. Stoner. Conservation Of Easel Paintings. Routledge, 167.
- ² SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert.* 24.
- SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert.* 24.
- ⁴ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert.* 25.
- ⁵ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert.* 26.
- ⁶ BELLUCCI, R., FROSININI, C., PEZZATI, L. Caravaggio's underdrawing: a 'Quest for the Grail'? 119.
- ⁷ BELLUCCI, R., FROSININI, C., PEZZATI, L. Caravaggio's underdrawing: a 'Quest for the Grail'? 120.
- ⁸ DINWIDDIE, R. B., DEAN, S. W. *Case Study of IR Reflectivity to Detect and Document the Underdrawing of a 19th Century Oil Painting.* 11.
- ⁹ DERZELLE, E., STRIVAY, D., DEFEY, A., KLEIN, S.-J., VANDEPITTE, F., C. DEFEY. Paul Delvaux: *The Study of Nine Paintings by Non-Invasive Methods.* 7187.
- ¹⁰ BOMFORD, D., ed. *Art in the making -Underdrawings in renaissance paintings,* 48.
- ¹¹ WOLTERS, M. *Drawing → Underdrawing → Painting: Compositional Evolution in the Working Process of Joachim Beuckelaer.* 4.
- ¹² WOLTERS, M. *Drawing → Underdrawing → Painting: Compositional Evolution in the Working Process of Joachim Beuckelaer.* 6.
- ¹³ BOMFORD, D., ed. *Art in the making -Underdrawings in renaissance paintings,* 51.
- ¹⁴ DANOVA, H., SHLUMSKÁ, S. *What the Eyes Cannot See.* 218.
- ¹⁵ DANOVA, H., SHLUMSKÁ, S. *What the Eyes Cannot See.* 15.
- ¹⁶ BECKERS, J., VOGELS, A., STOCK, J. V. D., WATTEEU, L. *Imaging Utopia.* 145. és DANOVA, H., SHLUMSKÁ, S. *What the Eyes Cannot See.* 15.
- ¹⁷ TAUBERT J. *Zur kunstwissenschaftlichen Auswertung von naturwissenschaftlichen Gemäldeuntersuchungen.* 53.
- ¹⁸ BECKERS, J., VOGELS, A., STOCK, J. V. D., WATTEEU, L. *Imaging Utopia.* 145.
- ¹⁹ DANOVA, H., SHLUMSKÁ, S. *What the Eyes Cannot See.* 15.
- ²⁰ DANOVA, H., SHLUMSKÁ, S. *What the Eyes Cannot See.* 242.
- ²¹ DANOVA, H., SHLUMSKÁ, S. *What the Eyes Cannot See.* 15.
- ²² CREAGH, C. D., BRADLEY, D. A. *Radiation in Art and Archeometry.* 40.
- ²³ STONER, J. H., RUSHFIELD, R. *Conservation Of Easel Paintings* 296.
- ²⁴ BOMFORD, D., ed. *Art in the making -Underdrawings in renaissance paintings* 10.
- ²⁵ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. (2004). *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert.* München, 18.
- ²⁶ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. (2004). *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert.* München, 19.
- ²⁷ DANOVA, H., SHLUMSKÁ, S. *What the Eyes Cannot See.* 46.
- ²⁸ DANOVA, H., SHLUMSKÁ, S. *What the Eyes Cannot See.* 47.
- ²⁹ STONER, J. H., RUSHFIELD, R. *Conservation Of Easel Paintings.* 297.
- ³⁰ FARIES M., SPRONK R. *Recent Developments in the Technical Examination of Early Netherlandish Painting: Methodology, Limitations & Perspectives.* 117.
- ³¹ CREAGH, C. D., BRADLEY, D. A. (2000.) *Radiation in Art and Archeometry.* 49.
- ³² STONER, J. H., RUSHFIELD, R. *Conservation Of Easel Paintings.* 297.
- ³³ STONER, J. H., RUSHFIELD, R. (2012). *Conservation Of Easel Paintings.* 298.
- ³⁴ DANOVA, H., SHLUMSKÁ, S. *What the Eyes Cannot See.* 45.
- ³⁵ SPRING, M., ROY, A. *Rembrandt Now-Technical Practice, Conservation and Research.* 20.
- ³⁶ GAVRILOV, D., MAEVA, E., GRUBE, O., VODYANOV, I., MAEV, R. *Experimental Comparative Study Of The Applicability Of Infrared Techniques For Non-Destructive Evaluation Of Paintings.* 48.
- ³⁷ SZABÓ K. *Szakdolgozat-Infravörös-reflexiós- és lumineszcens vizsgálatok a restaurálásban.* 12.
- ³⁸ BOMFORD, D., ed. *Art in the making -Underdrawings in renaissance paintings,* National Gallery Company, London, 2002, 16.
- ³⁹ CURRIE, C., ALLART, D., FRANSEN, B., STROO, C., VANWIJNSBERGHE, D. *The Bruegel Success Story.* 23.
- ⁴⁰ BOMFORD, D., ed. *Art in the making -Underdrawings in renaissance paintings.* 16.
- ⁴¹ GAVRILOV, D., MAEVA, E., GRUBE, O., VODYANOV, I., MAEV, R. *Experimental Comparative Study Of The Applicability Of Infrared Techniques For Non-Destructive Evaluation Of Paintings.* 48.
- ⁴² GAVRILOV, D., MAEVA, E., GRUBE, O., VODYANOV, I., MAEV, R. *Experimental Comparative Study Of The Applicability Of Infrared Techniques For Non-Destructive Evaluation Of Paintings.* 49.
- ⁴³ GAVRILOV, D., MAEVA, E., GRUBE, O., VODYANOV, I., MAEV, R. *Experimental Comparative Study Of The Applicability Of Infrared Techniques For Non-Destructive Evaluation Of Paintings.* 57.
- ⁴⁴ KALUŽA, M., OLBRYCHT, R., KOPEĆ, M. *Application of thermography for painting underdrawing detection.* 360.
- ⁴⁵ KALUŽA, M., OLBRYCHT, R., KOPEĆ, M. *Application of thermography for painting underdrawing detection.* 362.
- ⁴⁶ KALUŽA, M., OLBRYCHT, R., KOPEĆ, M. *Application of thermography for painting underdrawing detection.* 363.
- ⁴⁷ WALMSLEY, E., METZGER, C., K. DELANEY, J., FLETCHER C. *Improved Visualization of Underdrawings with Solid-State Detectors Operating in the Infrared.* 228.
- ⁴⁸ SZABÓ, K. (2021). *Szakdolgozat-Infravörös-reflexiós- és lumineszcens vizsgálatok a restaurálásban.* 40.
- ⁴⁹ SZABÓ, K. (2021). *Szakdolgozat-Infravörös-reflexiós- és lumineszcens vizsgálatok a restaurálásban.* 41.

- ⁵⁰ SZABÓ, K. (2021). Szakdolgozat-Infravörös-reflexiós- és lumineszcens vizsgálatok a restaurálásban. 42
- ⁵¹ SZABÓ, K. (2021). Szakdolgozat-Infravörös-reflexiós- és lumineszcens vizsgálatok a restaurálásban. 43.
- ⁵² J.R. J. VAN ASPEREN DE BOER. *Infrared-reflectography-A Contribution to the Examination of Earlier European Paintings*. 41.
- ⁵³ SZABÓ, K. (2021). Szakdolgozat-Infravörös-reflexiós- és lumineszcens vizsgálatok a restaurálásban. 45.
- ⁵⁴ SZABÓ K. Szakdolgozat-Infravörös-reflexiós- és lumineszcens vizsgálatok a restaurálásban. 46.
- ⁵⁵ DANOVÁ, H., SHLUMSKÁ, S. *What the Eyes Cannot See*. 49.
- ⁵⁶ KAMMERER, P., ZOLDA, E., SABLATNIG, R. *Computer Aided Analysis of Underdrawings in Infrared Reflectograms*. 1.
- ⁵⁷ https://lucascranach.org/de/UK_NGL_6511-2 2024.10.31.
- ⁵⁸ DANOVÁ, H., SHLUMSKÁ, S. *What the Eyes Cannot See*. 230.
- ⁵⁹ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. 56.*
- ⁶⁰ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. 57.*
- ⁶¹ BECKERS, J., VOGELS, A., STOCK, J. V. D., WATTEEU, L. *Imaging Utopia*. 141.
- ⁶² DERZELLE, E., STRIVAY, D. DEFYET., A., KLEIN, S-J., VANDEPITTE, F., C. DEFYET. Paul Delvaux: The Study of Nine Paintings by Non-Invasive Methods. 7199.
- ⁶³ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. 16.*
- ⁶⁴ WALMSLEY, E., METZGER, C., K. DELANEY, J., FLETCHER, C. *Improved Visualization of Underdrawings with Solid-State Detectors Operating in the Infrared*. 228.
- ⁶⁵ GAVRILOV, D., MAEVA, E., GRUBE, O., VODYANOV, I., MAEV, R. *Experimental Comparative Study Of The Applicability Of Infrared Techniques For Non-Destructive Evaluation Of Paintings*. 48.
- ⁶⁶ WALMSLEY, E., METZGER, C., K. DELANEY, J., FLETCHER C. *Improved Visualization of Underdrawings with Solid-State Detectors Operating in the Infrared*. 228.
- ⁶⁷ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. 105.*
- ⁶⁸ VALADAS, S., O JOÃO CRUZ, A., CANDEIAS, A. *Charcoal or black stone?* 1.
- ⁶⁹ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 59.
- ⁷⁰ VALADAS, S., O JOÃO CRUZ, A., CANDEIAS, A. *Charcoal or black stone?* 8.
- ⁷¹ CURRIE, C., ALLART, D., FRANSSEN, B., STROO, C., VANWIJNSBERGHE, D. *The Bruegel Success Story*. 95.
- ⁷² CURRIE, C., ALLART, D., FRANSSEN, B., STROO, C., VANWIJNSBERGHE, D. *The Bruegel Success Story*. 96.
- ⁷³ EASTAUGH, N., WALSH V., CHAPLIN, T., SIDDALL R. *The Pigment Compendium*. 173.
- ⁷⁴ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 71.
- ⁷⁵ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 72.
- ⁷⁶ CURRIE, C., ALLART, D., FRANSSEN, B., STROO, C., VANWIJNSBERGHE, D. *The Bruegel Success Story*. 99.
- ⁷⁷ NICHOLS, K. *Turner's Use of Graphite Underdrawing in His Watercolor "Cassiobury Park, Hertfordshire"*. 300.
- ⁷⁸ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 72.
- ⁷⁹ EASTAUGH N., WALSH V., CHAPLIN T., SIDDALL R. *The Pigment Compendium*. 173.
- ⁸⁰ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 60.
- ⁸¹ VIHART, A. Szakdolgozat-Kék, zöld szerves pigmentek és színezékek, Szerves és szervetlen feketék. 33.
- ⁸² SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 60.
- ⁸³ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 61.
- ⁸⁴ BOMFORD, D., ed. *Art in the making -Underdrawings in renaissance paintings*, 34.
- ⁸⁵ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 62.
- ⁸⁶ VALADAS, S., O JOÃO CRUZ, A., CANDEIAS, A. *Charcoal or black stone?* 3.
- ⁸⁷ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 63.
- ⁸⁸ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 64.
- ⁸⁹ BECKERS, J., VOGELS, A., STOCK, J. V. D., WATTEEU, L. *Imaging Utopia*. 140.
- ⁹⁰ BECKERS, J., VOGELS, A., STOCK, J. V. D., WATTEEU, L. *Imaging Utopia*. 145.
- ⁹¹ J. R. J. VAN ASPEREN DE BOER, J. DIJKSTRA, R. VAN SCHOUTE, C. M. A. DALDERUP, J. P. FILEDT KOK. *Underdrawing in Paintings of the Rogier Van Der Weyden and Master of Flémalle Groups*. 315.
- ⁹² BOMFORD, D., ed. *Art in the making -Underdrawings in renaissance paintings*, 35.
- ⁹³ WALMSLEY, E., METZGER, C., K. DELANEY, J., FLETCHER C. *Improved Visualization of Underdrawings with Solid-State Detectors Operating in the Infrared*. 222-223.
- ⁹⁴ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 105.
- ⁹⁵ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 68.
- ⁹⁶ Mayhew, T. D., Hernandez, S. L. Anderson, P., Seraphin, S. (2014). Natural Red Chalk in Traditional Old Master Drawings. *Journal of the American Institute for Conservation* 90.
- ⁹⁷ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 68.
- ⁹⁸ MAYHEW, T. D., HERNANDEZ, S. L. ANDERSON, P., SERAPHIN, S. *Natural Red Chalk in Traditional Old Master Drawings*. 94.
- ⁹⁹ MAYHEW, T. D., HERNANDEZ, S. L. ANDERSON, P., SERAPHIN, S. *Natural Red Chalk in Traditional Old Master Drawings*. 95.
- ¹⁰⁰ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 70.

- ¹⁰¹ BECKERS, J., VOGELS, A., STOCK, J. V. D., WATTEEU, L. *Imaging Utopia*. 140.
- ¹⁰² WALMSLEY, E., METZGER, C., K. DELANEY, J., FLETCHER C. *Improved Visualization of Underdrawings with Solid-State Detectors Operating in the Infrared*. 222-223.
- ¹⁰³ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 16.
- ¹⁰⁴ DANOVA, H., SHLUMSKÁ, S. *What the Eyes Cannot See*. 54.
- ¹⁰⁵ HAHN O., KANNGEIßER B., MALZER W. *X-ray Fluorescence Analysis of Iron Gall Inks, Pencils and Coloured Crayons*. 25.
- ¹⁰⁶ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 67.
- ¹⁰⁷ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 40-41.
- ¹⁰⁸ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 43.
- ¹⁰⁹ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 46.
- ¹¹⁰ BOMFORD, D., ed. *Art in the making -Underdrawings in renaissance paintings*, 36.
- ¹¹¹ TANIMOTO, S., & VERRI, G. A Note on the Examination of Silverpoint Drawings by Near-Infrared Reflectography. 107.
- ¹¹² SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 44.
- ¹¹³ TANIMOTO, S., & VERRI, G. A Note on the Examination of Silverpoint Drawings by Near-Infrared Reflectography. 106-107.
- ¹¹⁴ TANIMOTO, S., & VERRI, G. A Note on the Examination of Silverpoint Drawings by Near-Infrared Reflectography. 109-110.
- ¹¹⁵ TANIMOTO, S., & VERRI, G. A Note on the Examination of Silverpoint Drawings by Near-Infrared Reflectography. 106.
- ¹¹⁶ TANIMOTO, S., & VERRI, G. *A Note on the Examination of Silverpoint Drawings by Near-Infrared Reflectography*. 112.
- ¹¹⁷ FUCHS, R. *Spektrale Fenster zur Vergangenheit Ein neues Reflektographieverfahren zur Untersuchung von Buchmalerei und historischem Schriftgut*. 77.
- ¹¹⁸ TANIMOTO, S., & VERRI, G. *A Note on the Examination of Silverpoint Drawings by Near-Infrared Reflectography*. 112.
- ¹¹⁹ DIK, J., JANSSENS, K., VAN DER SNICKT, G., WALLERT, A. *Silverpoint underdrawing?* 383.
- ¹²⁰ DIK, J., JANSSENS, K., VAN DER SNICKT, G., WALLERT, A. *Silverpoint underdrawing?* 384.
- ¹²¹ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 48.
- ¹²² SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 49.
- ¹²³ CENNINO CENNINI- *Il libro dell'arte, o Trattato della pittura*, 10. fejezet
- ¹²⁴ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 50.
- ¹²⁵ WALMSLEY, E., METZGER, C., K. DELANEY, J., FLETCHER C. *Improved Visualization of Underdrawings with Solid-State Detectors Operating in the Infrared*. 222-223.
- ¹²⁶ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 105.
- ¹²⁷ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 50.
- ¹²⁸ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 51.
- ¹²⁹ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 37.
- ¹³⁰ Cennino Cennini- *Il libro dell'arte, o Trattato della pittura*, 11. fejezet
- ¹³¹ BOMFORD, D., ed. *Art in the making -Underdrawings in renaissance paintings*, 36.
- ¹³² Watrous, J. (1957). *The Craft of Old-Master Drawings*. University of Wisconsin Press, Madison 3-33.
- ¹³³ Tanimoto S., & Verri G. (2009). A Note on the Examination of Silverpoint Drawings by Near-Infrared Reflectography. *Studies in Conservation*, 110.
- ¹³⁴ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 53.
- ¹³⁵ BOMFORD, D., ed. *Art in the making -Underdrawings in renaissance paintings*, 37.
- ¹³⁶ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 96.
- ¹³⁷ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 97.
- ¹³⁸ KASTALY, B., – ALBRECHTNÉ KUNSZERI, G., BEÓTHYNE KOZOCSA, I., GAJDÓ, GY., JÁRÓ, M., TÍMÁRNÉ BALÁZSY, Á., PANKASZI I., MIKESY P. *A könyv- és papírestaurátor szakképzés jegyzetei*. 4.
- ¹³⁹ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 96-98.
- ¹⁴⁰ BECKERS, J., VOGELS, A., STOCK, J. V. D., WATTEEU, L. *Imaging Utopia*. 143.
- ¹⁴¹ DANOVA, H., SHLUMSKÁ, S. *What the Eyes Cannot See*. 57.
- ¹⁴² DANOVA, H., SHLUMSKÁ, S. *What the Eyes Cannot See*. 142.
- ¹⁴³ WALMSLEY, E., METZGER, C., K. DELANEY, J., FLETCHER C. *Improved Visualization of Underdrawings with Solid-State Detectors Operating in the Infrared*. 223.
- ¹⁴⁴ WALMSLEY, E., METZGER, C., K. DELANEY, J., FLETCHER C. *Improved Visualization of Underdrawings with Solid-State Detectors Operating in the Infrared*. 220.
- ¹⁴⁵ WALMSLEY, E., METZGER, C., K. DELANEY, J., FLETCHER C. *Improved Visualization of Underdrawings with Solid-State Detectors Operating in the Infrared*. 222-223.
- ¹⁴⁶ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert*. 106.
- ¹⁴⁷ RABIN, I. *Traces of Ink: Experiences of Philology and Replication* (pp. 70-78).
- ¹⁴⁸ RABIN, I. *Traces of Ink: Experiences of Philology and Replication* (pp. 70-78).

- ¹⁴⁹ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert.* 98.
- ¹⁵⁰ KASTALY, B., – ALBRECHTNÉ KUNSZERI, G., BEÖTHYNE KOZOCSA, I., GAJDÓ, GY., JÁRÓ, M., TÍMÁRNÉ BALÁZSY, Á., PANKASZI I., MIKESY P. *A könyv- és papírestaurátor szakképzés jegyzetei.* 8.
- ¹⁵¹ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert.* 99.
- ¹⁵² KASTALY, B., – ALBRECHTNÉ KUNSZERI, G., BEÖTHYNE KOZOCSA, I., GAJDÓ, GY., JÁRÓ, M., TÍMÁRNÉ BALÁZSY, Á., PANKASZI I., MIKESY P. *A könyv- és papírestaurátor szakképzés jegyzetei.* 25.
- ¹⁵³ KASTALY, B., – ALBRECHTNÉ KUNSZERI, G., BEÖTHYNE KOZOCSA, I., GAJDÓ, GY., JÁRÓ, M., TÍMÁRNÉ BALÁZSY, Á., PANKASZI I., MIKESY P. *A könyv- és papírestaurátor szakképzés jegyzetei.* 8.
- ¹⁵⁴ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert.* 99.
- ¹⁵⁵ HUDSON C., GREENBERG M., GILMAN B., WATSON S., PASSELA C. *Masterpieces of the J. Paul Getty Museum-Drawings.* 18.
- ¹⁵⁶ EASTAUGH, N., WALSH V., CHAPLIN, T., SIDDALL R. *The Pigment Compendium.* 337
- ¹⁵⁷ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert.* 102.
- ¹⁵⁸ EASTAUGH, N., WALSH V., CHAPLIN, T., SIDDALL R. *The Pigment Compendium.* 337.
- ¹⁵⁹ BOMFORD, D., ed. *Art in the making -Underdrawings in renaissance paintings,* 29.
- ¹⁶⁰ BECKERS, J., VOGELS, A., STOCK, J. V. D., WATTEEU, L. *Imaging Utopia.* 143.
- ¹⁶¹ KASTALY, B., – ALBRECHTNÉ KUNSZERI, G., BEÖTHYNE KOZOCSA, I., GAJDÓ, GY., JÁRÓ, M., TÍMÁRNÉ BALÁZSY, Á., PANKASZI I., MIKESY P. *A könyv- és papírestaurátor szakképzés jegyzetei.* 4.
- ¹⁶² GERKEN, M., SANDER, J., KREKEL, C. *Visualising Iron Gall Ink Underdrawings In 16th Century Paintings In-Situ By Micro-XRF Scanning.* 1.
- ¹⁶³ <https://bugoftheweek.com/blog/2022/11/21/whats-that-on-an-oak-leaf-animal-plant-fungus-nah-gall-insect-galls-wasps-cynipidae> 2024. 10. 20.
- ¹⁶⁴ BOMFORD, D., ed. *Art in the making -Underdrawings in renaissance paintings,* 31.
- ¹⁶⁵ WILSON, H. *Analysis of the current research into the chemistry of Iron Gall Ink and its implications for Paper Conservation.* 12.
- ¹⁶⁶ BOMFORD, D., ed. *Art in the making -Underdrawings in renaissance paintings,* National Gallery Company, London, 2002, 31.
- ¹⁶⁷ GERKEN, M., SANDER, J., KREKEL, C. *Visualising Iron Gall Ink Underdrawings In 16th Century Paintings In-Situ By Micro-XRF Scanning.* 1.
- ¹⁶⁸ GERKEN, M., SANDER, J., KREKEL, C. *Visualising Iron Gall Ink Underdrawings In 16th Century Paintings In-Situ By Micro-XRF Scanning.* 110.
- ¹⁶⁹ GERKEN, M., SANDER, J., KREKEL, C. *Visualising Iron Gall Ink Underdrawings In 16th Century Paintings In-Situ By Micro-XRF Scanning.* 11.
- ¹⁷⁰ GERKEN, M., SANDER, J., KREKEL, C. *Visualising Iron Gall Ink Underdrawings In 16th Century Paintings In-Situ By Micro-XRF Scanning.* 5.
- ¹⁷¹ GERKEN, M., SANDER, J., KREKEL, C. *Visualising Iron Gall Ink Underdrawings In 16th Century Paintings In-Situ By Micro-XRF Scanning.* 18.
- ¹⁷² GERKEN, M., SANDER, J., KREKEL, C. *Visualising Iron Gall Ink Underdrawings In 16th Century Paintings In-Situ By Micro-XRF Scanning.* 14.
- ¹⁷³ BOMFORD, D., ed. *Art in the making -Underdrawings in renaissance paintings,* 31.
- ¹⁷⁴ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert.* 16.
- ¹⁷⁵ WALMSLEY, E., METZGER, C., K. DELANEY, J., FLETCHER C. *Improved Visualization of Underdrawings with Solid-State Detectors Operating in the Infrared.* 222.
- ¹⁷⁶ SIEJEK, A., KIRSCH, K., HERAUSGEGEBEN VON INGO, S. *Die Unterzeichnung auf dem Malgrund-Graphische Mittel und Übertragungsverfahren im 15.-17. Jahrhundert.* 106.