

MAGYAR KÉPZŐMŰVÉSZETI EGYETEM

Doktori Iskola

Mestermunka

EGY KÖTŐANYAG VIZSGÁLATI PROTOKOLL BEMUTATÁSA –
EGY RENESZÁNSZ TÁBLAKÉP ÉS EGY EGYIPTOMI SZARKOFÁG
KÖTŐANYAGAINAK ELEMZÉSE

Varga Tímea

Témavezető:

Galambos Éva DLA

2018

Tartalom

I. BEVEZETÉS.....	3
II. A DOLGOZATBAN BEMUTATOTT VIZSGÁLATOK LÉPÉSEI	3
II.1. Fénymikroszkópos vizsgálatok	3
II.2. Mikrokémiai tesztek szervesetlen anyagokra.....	3
II.3. Cseppentéses tesztek.....	4
II.4. SEM-EDS vizsgálatok	4
II.5. FTIR mérések.....	4
III. ÖTFÉLE CSEPPENTÉSES (SPOT) KÖTŐANYAGTESZT BEMUTATÁSA STANDARDOKON	5
III.1. Schiff vagy PAS (Periodic Acid Schiff) reakció – fehérje kimutatására.....	5
III.2. Szappanképzés (hab teszt) - száradó olajok kimutatására.....	9
III.3. Bial's teszt – növényi gumik kimutatására	11
III.4. Storch/Morawski reakció – természetes gyanták kimutatására	15
III.5. Kálium-jodidos (Lugol oldatos) teszt – keményítő és dextrin kimutatására	18
IV. A VIZSGÁLATSOR ALKALMAZÁSA KÉT MŰTÁRGY ESETÉBEN	20
II.1 Altobello Melone: Krisztus színeváltozása	20
II.1.1. Fénymikroszkópos vizsgálatok és mikrokémiai tesztek szervesetlen összetevőkre	20
IV.1.2. Cseppentéses tesztek	39
IV.1.3. SEM-EDS.....	48
IV.1.4. FTIR mérések kötőanyag meghatározásra.....	54
IV.1.5. A mintákon végzett vizsgálatok összegzése a kötőanyag meghatározás szempontjából	58
II.2 Az 51.638 leltári számú római szarkofág (Szépművészeti Múzeum, Egyiptomi osztály)	60
IV.2.1. Fénymikroszkópos vizsgálatok és mikrokémiai tesztek szervesetlen összetevőkre	60
IV.2.2. Cseppentéses tesztek	76
IV.2.3. SEM-EDS.....	84
IV.2.4. FTIR	93
IV.1.5. A mintákon végzett vizsgálatok összegzése a kötőanyag meghatározás szempontjából	99
V. A VIZSGÁLATOK SORÁN SZERZETT TAPASZTALATOK ÖSSZEGZÉSE.....	101
VI. IRODALOMJEGYZÉK	102
VII. KÉPJEGYZÉK.....	103
VIII. MELLÉKLETEK	119

I.BEVEZETÉS

Valószínűleg ahány restaurálással, vagy restaurátorképzéssel, műtárgyak kutatásával foglalkozó intézmény van a világon, annyi különböző protokoll létezik a kötőanyag kutatásra. Hogy ki milyen tesztek és méréseket alkalmaz, meghatározza, hogy milyen felszereléssel rendelkezik, mire van anyagi lehetősége, és milyen tapasztalatokat szerzett az egyes eljárásokkal. Természetesen a legideálisabb eset az lenne, ha minden műtárgy vizsgálatakor a legtöbb, és legpontosabb eredményeket adó tesztek és méréseket végeznénk el, de erre sajnos általában nincs lehetőség. Ebben a munkában egy olyan vizsgálatsort mutatok be, amely kémiai-fizikai reakciókon alapuló tesztek, és műszeres vizsgálatokat is alkalmaz. Az egyes technikákkal kapott eredményeket egymással kiegészítve következtethetünk a rétegek kötőanyagára.

A cseppentéses (spot test) tesztek alternatívát jelentenek a metszetszínezéssel szemben. Kivitelezésük nem túl bonyolult és költséges, de szakmai felkészültséget és megfelelő laborkörülményeket kívánnak meg. A dolgozatban részletesen, lépésenként bemutatásra kerül 5 féle, kötőanyagtípusra specifikus teszt. A lehetséges pozitív eredményeket standardokon mutatjuk be, majd két műtárgy mintáin más technikákkal kiegészítve, egy vizsgálatsor részeként is.

II. A DOLGOZATBAN BEMUTATOTT VIZSGÁLATOK LÉPÉSEI

II.1. Fénymikroszkópos vizsgálatok

A műtárgyakból vett minták fénymikroszkópos vizsgálatával alapvető információkhoz jutunk. A keresztmetszet csiszolatok alapján a rétegszerkezetet, a szemcsepreparátumokkal a pigmentek mikroszkópos jellemzőit, és sok esetben a típusát is meg tudjuk határozni. A további tesztekhez és műszeres mérésekhez elengedhetetlen kiindulási alapot jelentenek ezek a vizsgálatok: a cseppentéses tesztekhez ezek alapján preparáljuk a mintákat a megfelelő rétegekből, a műszeres elemzéseket pedig általában keresztmetszeten végezzük. A fénymikroszkópos vizsgálatokra a Magyar Képzőművészeti Egyetem Restaurátor tanszékének laborjában került sor, Zeiss Discovery V20 sztereo mikroszkóp, illetve Zeiss Axioimager 2 (2x-40x) polarizációs mikroszkóp használatával. A felvételeket AxioCam MRc5 kamerával, és Canon D500-as tükörreflexes fényképezőgéppel készítettük.

II.2. Mikrokémiai tesztek szervesetlen anyagokra

A szervesetlen anyagokra végzett egyszerű mikrokémiai tesztek (pl. kálium-ferrocianid teszt vastartalom, kén-hidrogén teszt réz- és ólomtartalom kimutatására, savas megcseppentés karbonátok meghatározásához) olyan kiegészítő információkat adnak, amelyek lényegesek lehetnek a kötőanyag elemzés szempontjából. Bizonyos szervesetlen összetevők jelenléte hatással lehet a további tesztek eredményeire. Jó példa erre, hogy a savas alapú tesztek kiértékelhetőségét a kioldódó karbonát tartalom igen

megnehezíti, vagy például ha egy réteg ólomfehéret tartalmaz, az befolyásolhatja az FTIR mérések eredményességét is a kötőanyag esetében. A mikrokémiai tesztek a Magyar Képzőművészeti Egyetem Restaurátor tanszékének laborjában készültek.

II.3. Cseppentéses tesztek

Ezekhez a kémiai reakciókon alapuló vizsgálatokhoz viszonylag kis mennyiségű mintára van szükség és a megfelelő reagensekre. Az eljárások elég érzékenyek és szelektívek, de természetesen ezeknél is előfordulnak olyan körülmények, amelyeket a kivitelezéskor figyelembe kell venni. A cseppentéses tesztekkel bizonyos elemek vagy összetevők meghatározására van lehetőség, viszonylag egyszerűen és költséghatékonyan. Ezeknek az eljárásoknak is megvannak a korlátaik, csupán egy anyagtípus jelenlétét vagy hiányát jelzik, a pontos és biztos eredményekhez egyéb vizsgálatok is szükségesek.

Fel kell hívni továbbá a figyelmet, hogy ezek a kémiai tesztek egyes esetekben veszélyes, vagy mérgező anyagok használatát jelentik. Ezért a vizsgálatokat csak képzett szakembernek (labor technikus, kémikus) megfelelő körülmények között (elszívóval vagy vegyifülkével felszerelt labor), és megfelelő védőöltözetben végezzék (köpeny, szemüveg, kesztyű, esetleg maszk). A cseppentéses tesztek a Pardubicei Egyetem Restaurátor tanszékének laborjában készültek, szakmai felügyelet mellett.

A cseppentéses, vagy mikrokémiai tesztek a következőképp oszthatók fel:

- Elem specifikus reakciók
- Csoport specifikus reakciók

II.4. SEM-EDS vizsgálatok

A SEM-EDS vizsgálatokkal meghatározhatjuk, hogy egy-egy réteg milyen kémiai elemeket tartalmaz. Mivel a technika csak az elemekre vonatkozóan ad információt, a legbiztosabban a fénymikroszkópos vizsgálatok eredményeivel összevetve következtethetünk a pigmentek, töltőanyagok típusára. A SEM-EDS vizsgálatokra a Pardubicei Egyetem Restaurátor tanszékének laborjában került sor, Tescan márkájú, Mira3 berendezéssel.

II.5. FTIR mérések

Az FTIR vizsgálattal a rétegben található összetevőkre a molekula kötés rezgések alapján következtethetünk. Bizonyos szervesetlen összetevők nagymértékben befolyásolják a kötőanyag típusának meghatározhatóságát, mint például a gipsz. Az FTIR méréseket a prágai Technikai Múzeum laborjában végezték, Nicolet iN 10 mikroszkóppal, germánium ATR kristály alkalmazásával.

III. ÖTFÉLE CSEPPENTÉSES (SPOT) KÖTŐANYAGTESZT BEMUTATÁSA STANDARDOKON

A tesztek anyagai és lépéseinek leírása Bayer K., Bayerová, T.: Basics of binding media and pigment identification, 2018, című egyetemi jegyzete alapján készült, a standardok kivitelezésében Karol Bayer állt a szerző segítségére, a felvételeket a szerző készítette

III.1. Schiff vagy PAS (Periodic Acid Schiff) reakció – fehérje kimutatására

Csoport specifikus reakció pirrol származékokra

Szükséges anyagok és felszerelés

- Dimetil-amino-benzaldehid
- koncentrált hangyasav
- kapilláris cső, 100mm, 80μl
- túszelepes Bunsen-égő
- szűrőpapír

A vizsgálat elve

Fehérje specifikus teszt, a többi kötőanyagtípus nem adhat rá pozitív eredményt. Melegítés hatására a fehérje szétesik (pirolizálódik¹), és illékony pirrol² származékok keletkeznek (I). A gáz halmazállapotú származékok reagálnak a reagens p-dimetil-amino-benzaldehiddel³ (II), és egy kondenzációs termék - Schiff bázis⁴ jön létre - ami újrarendeződik egy lila színű kinin-származékká.

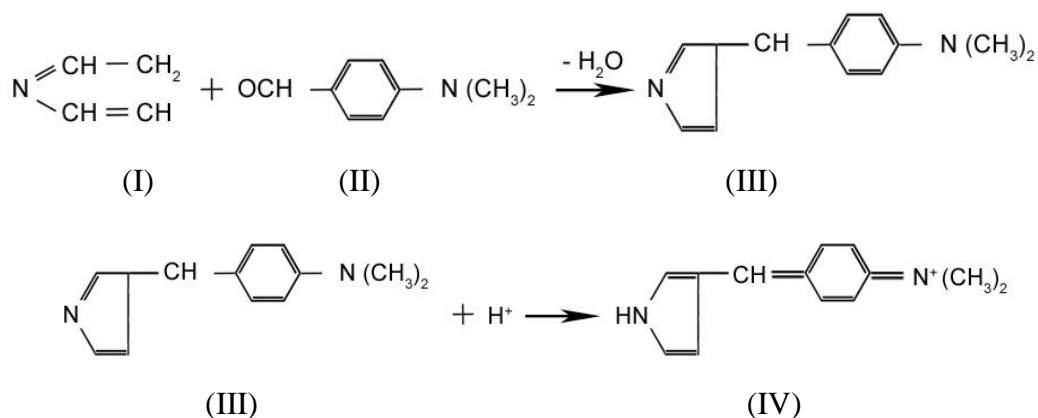
¹ Magas hőmérséklet eredményeképpen létrejövő kémiai bomlás. Kémiai Kislexikon Typotex Elektronikus Kiadó Kft. 2007 <https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/oxford-typotex-kemiai/ch01s17.html> 2018.05.16.

² C₄H₅N, öttagú, gyűrűs aromás vegyület. <http://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termeszettudomanyok/kemia/szerves-kemia/nitrogentartalmu-heteroaromas-vegyuletek/a-pirrol-az-imidazol-es-a-purin> 2018.05.16.

³ C₉H₁₁NO, CAS Number: 100-10-7 <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/4-dimethylamino-benzaldehyde#section=Top> 2018.05.16.

⁴ Olyan vegyület, amely egy aromás aminosav és egy aldehid vagy keton kondenzációjával keletkezik. Pl.: $RNH_2 + R'CHO \rightarrow RN:CHR' + H_2O$

A vegyületek gyakran kristályosak; a szerves kémiában az aromás aminok meghatározására használják (előállítják a Schiff-bázist és mérik az olvadáspontot). Nevét a német kémikus, Hugo Schiff (1834-1915) után kapta. Kémiai Kislexikon Typotex Elektronikus Kiadó Kft. 2007 <https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/oxford-typotex-kemiai/ch01s17.html> 2018.05.16.



1. kép: A reakció folyamata

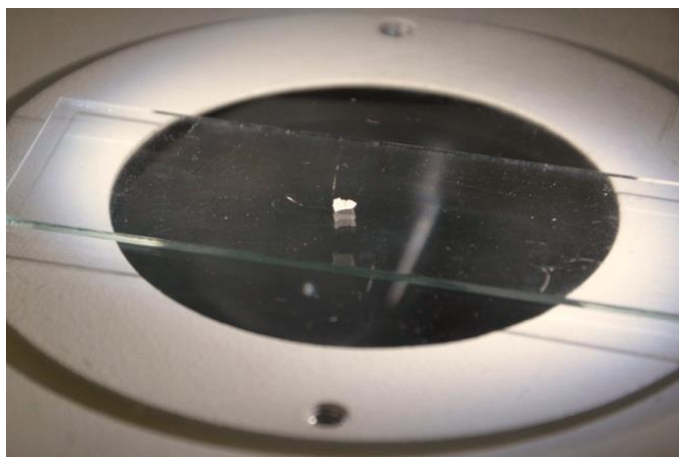
A reagens elkészítése

A por formában kapható p-dimetil-amino-benzaldehidből körülbelül 2 g-nyit teszünk egy nagyobb műanyag mintatartó aljába, és pipettával a koncentrált hangyasavból⁵ 2-3 cseppet cseppentünk rá. Nem baj, ha marad a reagensből szilárd állagú az oldatban, ez jelzi, hogy biztosan telített.

A vizsgálat menete



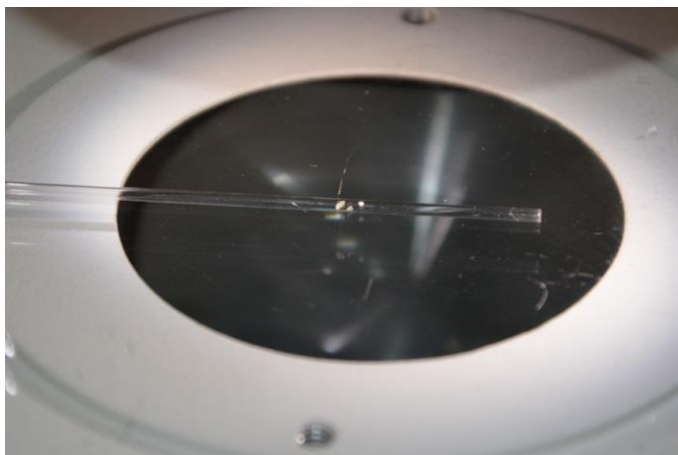
2. kép: Az elkészített P-DAB reagens és a szükséges anyagok: p-Dimetil-amino-benzaldehid és metánsav (hangyasav)



3. kép: A szétválasztott réteg darabkája

1. Sztereo mikroszkóppal kiválasztjuk a vizsgálni kívánt réteget, majd különválasztjuk őket egy megfelelő szikével.
2. Egy 80µl-es kémcsőbe tesszük a mintát, és egy megfelelő eszközzel (tű, vagy gömbölyű végű üvegeszköz) kb. 2 cm mélyre nyomjuk bele.

⁵ **metánsav (hangyasav):** Színtelen, csípős szagú és ízű folyadék: HCOOH; relatív sűrűsége: 1,2; op.: 8 °C; fp.: 101 °C. Előállítható a nátriumsóból (nátrium-metanoát) koncentrált kénsav hatására. A természetben a hangyákban, és szúrós csalánokban fordul elő. A legegyszerűbb karbonsav. Kémiai Kislexikon Typotex Elektronikus Kiadó Kft. 2007 <https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/oxford-typotex-kemiai/ch01s17.html> 2018.05.16.

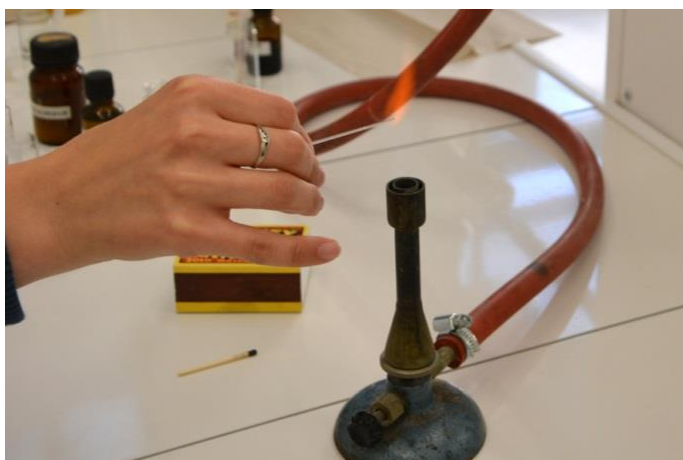


4. kép: A szétválasztott réteg darabkáit a kapillárisba helyezzük, kb. 2 cm-nyire az egyik végétől



5. kép: A minta a kapillárisban

3. Gázláng felett megolvasztjuk a kémcső végét, és összezárjuk vele a kémcsövet. Nem szabad megfogni a kémcső nyitottan maradó végét, mert szennyeződés kerülhet a csőre, ami befolyásolhatja a tesztet. (A gázlángnak elég magas hőmérsékletűnek kell lennie, olyan erősnek, hogy ne lássuk a láng narancssárga színét, hanem csak a kék részt. Ha elég sok levegőt engedünk a rendszerbe, hangosabb lesz, és a láng is kevésbé lesz látható. A láng két kék részből fog állni, a belső, kisebb kék rész külső peremén a legmagasabb a hőmérséklet. Körbe-körbe kell forgatni a csövet, hogy ne deformálódjon el, ne hajoljon el a cső. Végül mikroszkóp alatt ellenőrizni kell, hogy lezárult-e a vége.)



6. kép: A kémcső végét gázláng felett összeolvasztjuk - bezárjuk

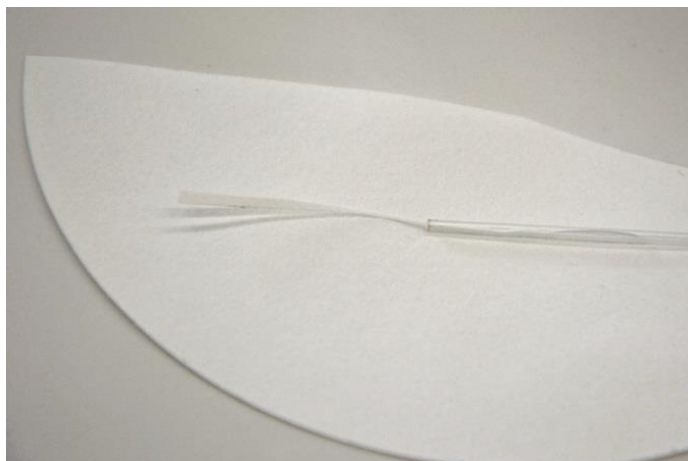


7. kép: A mintát lerázzuk a kapilláris összezárt végébe

4. Lerázzuk a mintát a kapilláris összezárt végébe.
5. Szűrőpapírból olyan vékony darabot vágunk, amit bele tudunk a kémcső nyitottan hagyott végébe illeszteni, körülbelül a cső harmadáig. Ellenőrizzük a levágott darabot, hogy biztosan belefér-e a kapillárisba.
6. A szűrőpapírt belemártjuk a reagensbe, kb. 2 cm-nyire, majd visszatesszük a kapilláris nyitott végébe.



8. kép: A szűrőpapírból vékony csíkot vágunk

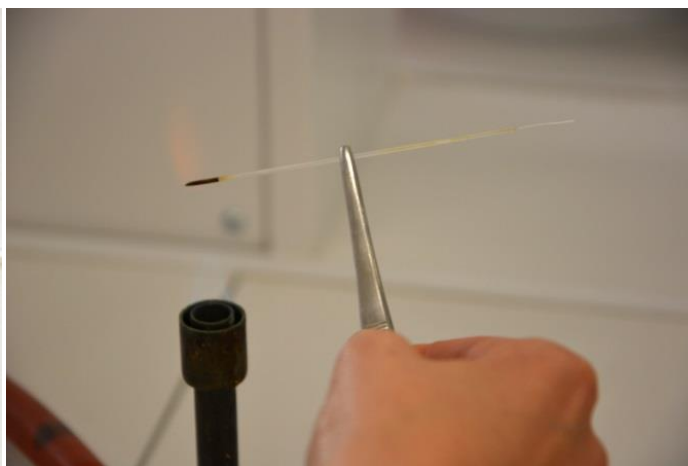


9. kép: A levágott papírt a kémcsőbe próbáljuk

7. A kémcső zárt végét lassan a gázláng fölé közelítjük, folyamatosan mozgatva megmelegítjük, hogy elkerüljük az üveg megolvadását és elhajlását. A kémcső közepét is átmelegítjük, hogy a keletkező gáz ne csapódjon ki a kémcső hidegen maradó oldalán. Fokozatosan tovább tartjuk a lángban, és melegítjük tovább a mintát, körülbelül 2 percen keresztül. A keletkező gáz lilásan elszínezi a papír reagensbe mártott végét, ha fehérje van a mintában. A minta elszenesedhet a vizsgálat közben, de ez nem befolyásolja az eredményt.



10. kép: A szűrőpapír végét a reagensbe mártjuk, majd visszaillesztjük a kapillárisba



11. kép: Gázláng felett fokozatosan melegítjük a mintát

A minták előkészítésénél a vizsgálatra törekednünk kell arra, hogy csak egy rétegből származzon a kaparék. Ezt nagyon vékony rétegek esetén szinte lehetetlen elérni, ezért tisztában kell vele lennünk, hogy pontosan mely rétegeket tartalmazza a mintánk. Ha például egy olaj festményből vett festékréteget vizsgálunk, és ennek vastagsága csupán 20 mikron körüli, szinte biztos, hogy a kaparékunkban marad alapozóréteg is. Az alapozók tipikus kötőanyaga állati fehérje (enyv), ami pozitív reakciót adhat, így a vizsgálat a festékréteg szempontjából hamis eredményt hozhat.

III.2. Szappanképzés (hab teszt) - száradó olajok kimutatására

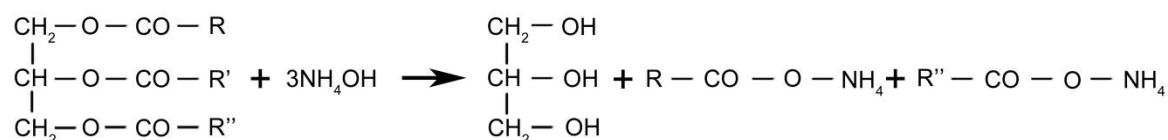
Csoport-specifikus reakció

Szükséges anyagok és felszerelés

- Ammónium-hidroxid 26%-os (tömény)
- Hidrogén-peroxid 30%-os (tömény)
- tárgylemez

A vizsgálat elve

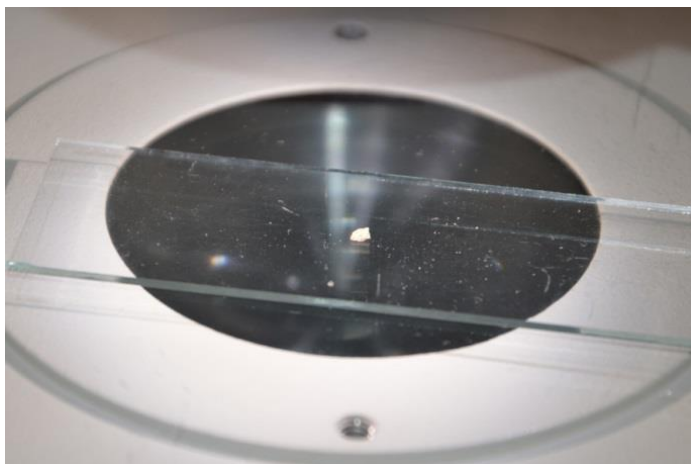
A száradó olajokban található zsírsavak vagy észterek lúggal történő elszappanosításakor hab (felület aktív anyag) képződik. Ammónium-hidroxidot alkalmazva a reakcióhoz ammónia hab keletkezik. Hidrogén-peroxid hozzáadásával oxigén szabadul fel, és stabil hab képződik a felületen.



12. kép: A reakció folyamata

A vizsgálat menete

1. A mintát egy süllyesztett tárgylemez közepére tesszük, és kicsit szétnyomjuk egy fém eszközzel, hogy nagyjából por állagú legyen.

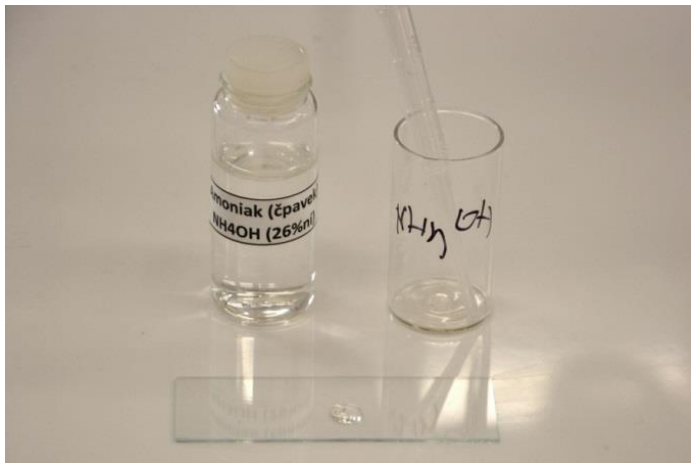


13. kép: A vizsgálandó réteg darabkája

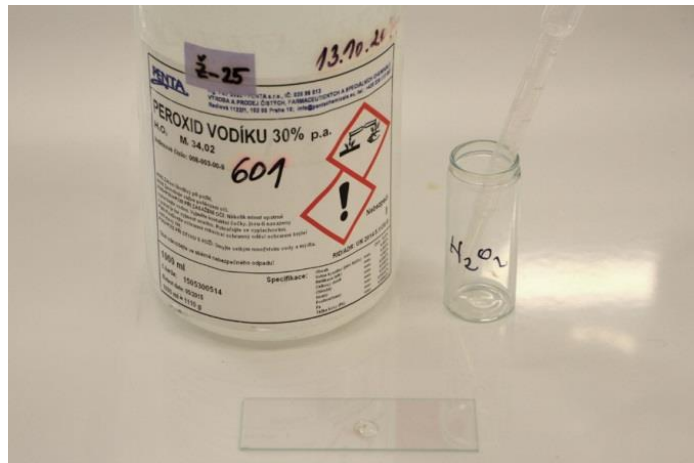


14. kép: A mintát porítjuk

2. Egy nagyobb pipettával körülbelül 2 csepp 26%-os (tömény) ammónium-hidroxidot (NH_4OH) cseppentünk rá.



15. kép: Tömény ammónium-hidroxidot cseppentünk a mintára



16. kép: Tömény hidrogén-peroxidot adunk az oldathoz

3. Ezután 1-2 csepp friss hidrogén-peroxidot cseppentünk (30% p.a.) az ammónium-hidroxidba. Ha az oldat felületén sűrű, stabil hab képződik, ami percekig megmarad, akkor olaj van a mintában.



17. kép: A megcseppentett minta a tárgylemezen



18. kép: A pozitív reakció eredménye stabil hab

A teszthez használt hidrogén-peroxidnak „frissnek” kell lennie – vagyis a hosszabb ideig kisebb üvegben tárolt anyag nem biztos, hogy jól fog működni.

Más anyagok is képesek buborékokat, esetleg habot képezni, ha ezen a módon kezeljük őket – például egyes gyanták is. Ezekben az esetekben azonban a hab nem stabil, kevésbé „sűrű”, és pár perc alatt eltűnik az oldat felületéről.

Csakúgy, mint a Schiff reakció esetében, ennél a tesztnél is nagyon fontos, hogy a vizsgálandó rétegeket precízen szétválasszuk a hamis eredmények elkerülése érdekében.

III.3. Bial's teszt – növényi gumik kimutatására

Csoport specifikus reakció pentózra

Szükséges anyagok és felszerelés

- Orcinol (5-methyl-resorcinol)
- koncentrált sósav (HCl)
- 10%-os vas-klorid oldat (FeCl)
- kapilláris, 100mm, 80μl
- tárgylemez
- túszelepes Bunsen-égő
- glicerín
- kisméretű főzőpohár vagy kémcső
- kémcsőfogó

A vizsgálat elve

A növényi gumik (pl. gumiarábikum, gyümölcsfa gumik), és a keményítő vagy keményítő származékok a poliszacharidok⁶ közé tartoznak, de makromolekuláik között kémiai összetételbeli különbség van. A keményítők ugyanis kizárólag hexózból⁷ épülnek fel (vagyis cellulózból), míg a növényi gumik pentózt⁸ is tartalmaznak. Melegítés hatására a pentóz molekulák széthasadnak, és sósavval reagálva (dehidratáció⁹) furfurool¹⁰ (furanaldehid) keletkezik. Orcinollal¹¹ (5-methyl-resorcinol) reagáltatva a furfuroolt, zöld színű fukszin¹² származék alakul ki.

⁶ Monoszacharid (egyszerű cukor) molekulák hosszú láncából álló szénhidrátok bármely csoportja. A homopoliszacharidok csak egy típusú monoszacharidból állnak; a heteropoliszacharidok két, vagy több típusúból. Néhány fontos poliszacharid: a keményítő, a glikogén és a cellulóz. Kémiai Kislexikon Typotex Elektronikus Kiadó Kft. 2007 <https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/oxford-typotex-kemiai/ch01s17.html> 2018.05.18.

⁷ Monoszacharid, amelynek hat szénatom van a molekulájában. Kémiai Kislexikon Typotex Elektronikus Kiadó Kft. 2007 <https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/oxford-typotex-kemiai/ch01s08.html> 2018.05.18.

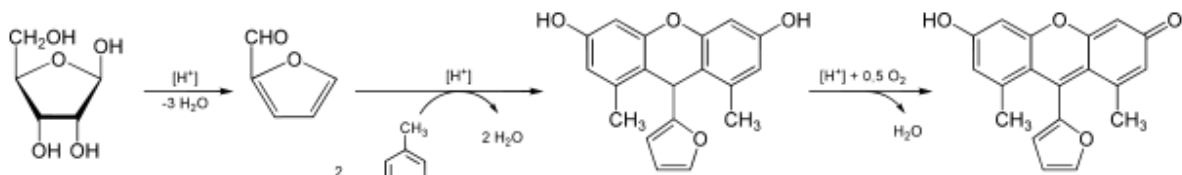
⁸ Monoszacharid, amely molekulánként öt szénatomot tartalmaz. Kémiai Kislexikon Typotex Elektronikus Kiadó Kft. 2007 <https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/oxford-typotex-kemiai/ch01s17.html> 2018.05.18.

⁹ Kémiai reakció, amelyben egy vegyület 2:1 arányban veszít hidrogént és oxigént. Azok az anyagok, mint például a tömény kénsav, amelyek képesek a H₂O elvonására ilyen módon, a dehidratálószerrek. Kémiai Kislexikon Typotex Elektronikus Kiadó Kft. 2007 <https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/oxford-typotex-kemiai/ch01s04.html> 2018.05.18.

¹⁰ Színtelen folyadék, C₅H₄O₂. A furán aldehidszármazéka; Kémiai Kislexikon Typotex Elektronikus Kiadó Kft. 2007 <https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/oxford-typotex-kemiai/ch01s06.html> 2018.05.18.

¹¹ Analitikai reagens. CAS number: 6153-39-5, CH₃C₆H₃-1,3-(OH)₂ · H₂O. <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/o1875?lang=hu®ion=HU> 2018.05.18.

¹² Anilin származék, eredetileg textilipari színezék. Változatait analitikai reagensként használják. Fluorescent and luminescent probes for Biological activity, A practical guide to technology for quantitative real-time analysis, second edition, Edited by: WT-Mason, Biological techniques series, Academic press 1999



zöld színű komplex

19. kép: A reakció folyamata

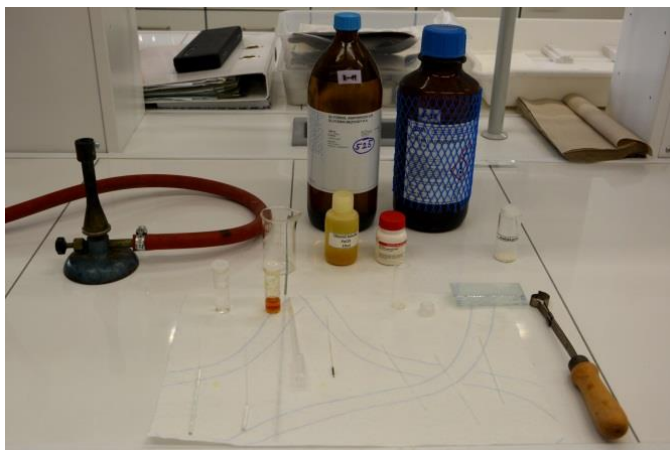
A Bial's reagens elkészítése

A reagens: telített orcinol oldat készítése koncentrált sósavban (HCl) (körülbelül 0,4g orcinol 1 ml koncentrált sósavban)

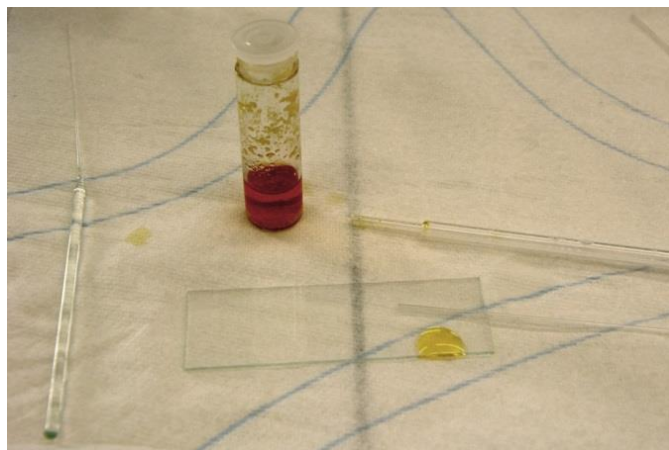
B reagens: 10%-os vas-klorid oldat (FeCl_3)

Közvetlenül a teszt előtt keverjük össze 1 ml A reagenssel 2,5 ml B reagenst

A vizsgálat menete

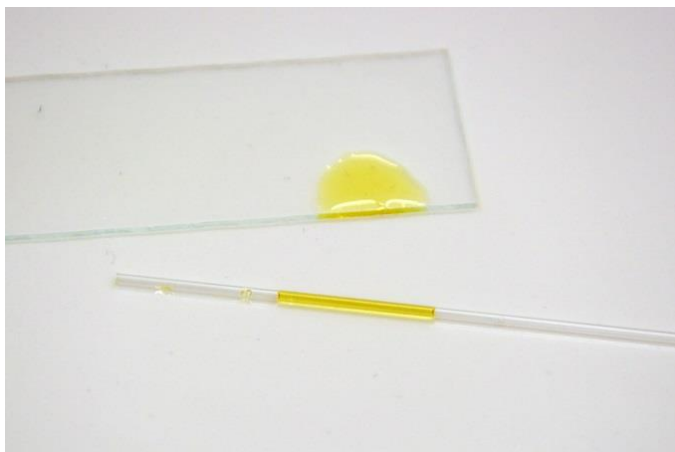


20. kép: A vizsgálathoz szükséges anyagok és eszközök



21. kép: A reagensből egy tárgylemez szélére cseppentünk

1. A mintát a kapillárisba helyezzük, megfelelő eszközzel (tű, gömbölyű végű üvegpálcika) körülbelül 1 cm-nyire betoljuk a cső végétől.
2. A reagensből két-három cseppet egy tárgylemez szélére cseppentünk, és a kapillárist merőlegesen a lemez oldalához tartva felszívunk belőle egy keveset.
3. Körülbelül 2 cm-nyire beljebb mozgatjuk az oldatot a kapilláris végétől, majd gázláng felett óvatosan forgatva lezárjuk a cső végét.

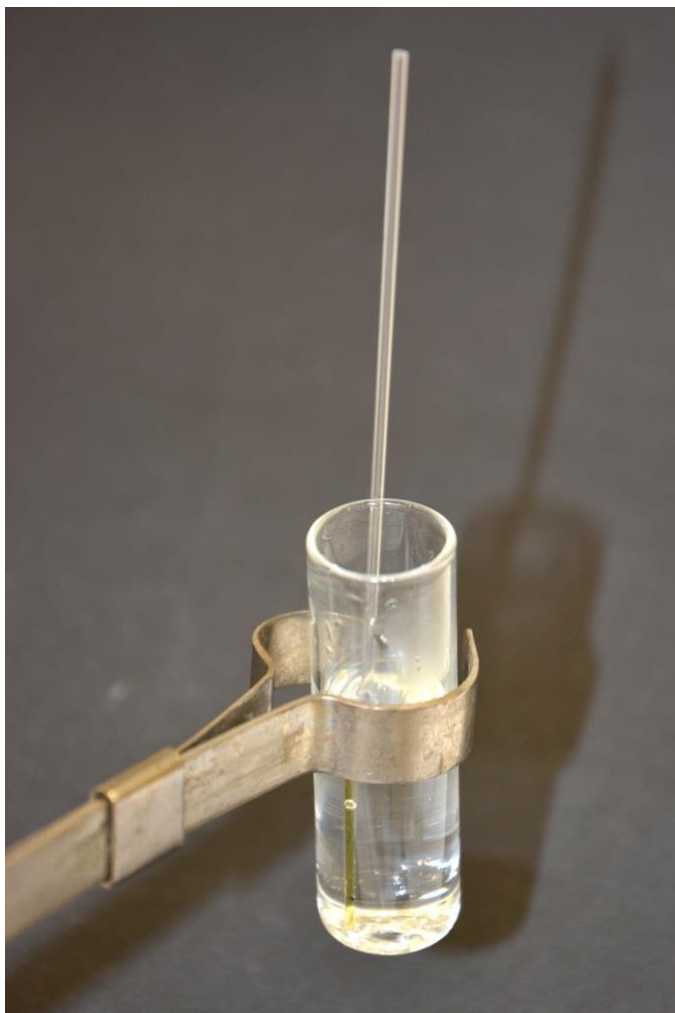


22. kép: Kis mennyiséget felszívunk a kapillárisba a reagensből

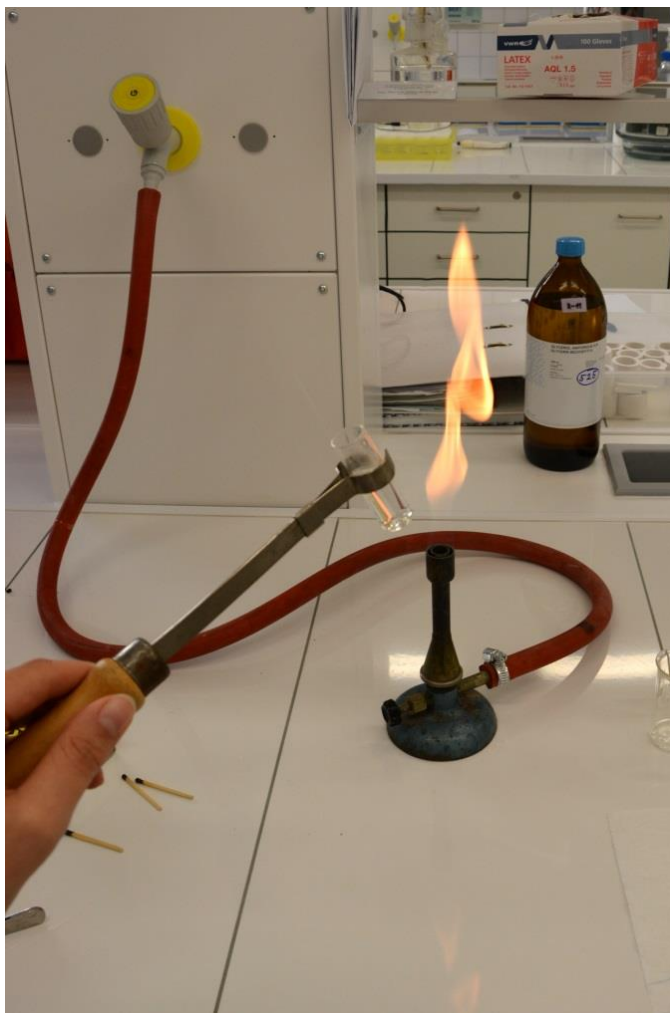


23. kép: Gázláng felett lezárjuk a cső végét

4. Megvárjuk, amíg a cső vége kihűl, majd lerázzuk a reagenst a mintával a kapilláris zárt aljába. Nem szabad levegőnek maradnia az oldat alatt, mert melegítéskor kifröccsenhet, és balesetet okozhat.



24. kép: Kémcsőfogóval mozgatjuk a kémcsövet



25. kép: Gázláng felett óvatosan melegítjük a kémcsövet

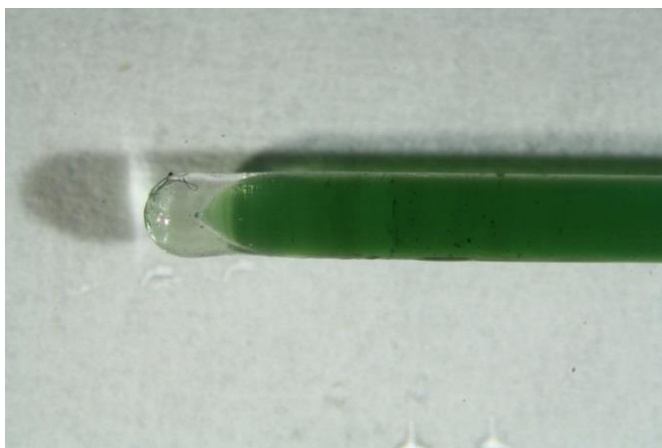
5. Glicerint töltünk egy kisméretű kémcsőbe vagy főzőpohárba. A kapillárist a reagenssel belehelyezzük, a glicerinnek el kell lepnie a reagenst. A kapilláris nyitott végének a vizsgálatot végző személytől ellenkező irányba kell esnie, hogy az esetleg kifröccsenő reagens ne okozzon

sérülést! Egy fém kémcsőfogóval mozgatjuk az üveget a gázláng fölé.

6. A gázlángot nagy intenzitásra állítjuk (a lángnak csak a kék középső része látszódjon, a hőmérsékletet növeljük ilyen módon), és a láng külső részébe (a nem látható rész, ahol a hőmérséklet alacsonyabb) tartjuk pár pillanatra az üveget. Kivesszük a lángból, és a kapillárist kiemeljük a glicerinnél, megrázogatjuk a reagenst, és visszaengedjük a csövet az oldatba. Ismét a láng külső részéhez mozgatjuk az üveget, az előző lépést ismételjük körülbelül 5-10 percig. Miután átforrósodott a glicerinnel, és benne a reagens, ha a minta pentózt tartalmaz, a sárga színű oldat zölddél változik. A színreakció kizárólag pentóz jelenlétében következik be.



26. kép: A mintával összekevert Bial's reagens a melegítés előtt



27. kép: Pozitív eredmény, zöld szín

III.4. Storch/Morawski reakció – természetes gyanták kimutatására

Csoport-specifikus reakció

Szükséges anyagok és felszerelés

- Ecetsav-anhidrid¹³ ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$)
- koncentrált kénsav (H_2SO_4)
- óraüveg
- üveg pipetták
- túszelepes Bunsen-égő
- fém csipesz
- tárgylemez
- kapilláris cső, 100mm, 80 μl

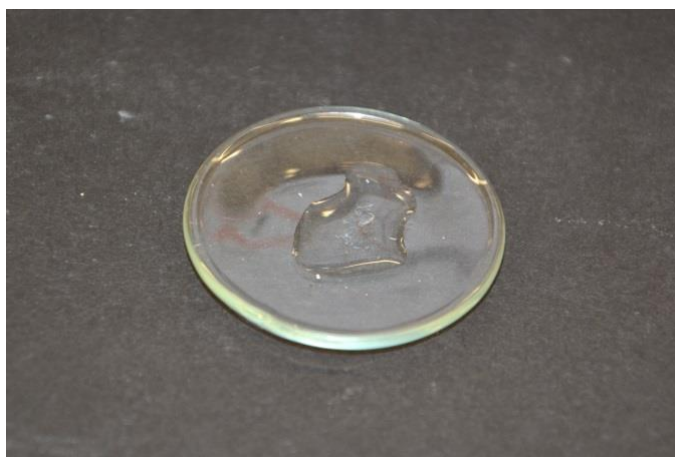
A vizsgálat elve

A gyanták és balzsamok színes reakció termékeket hoznak létre, a reakció mechanizmusa nem teljesen tisztázott.

A vizsgálat menete



28. kép: A teszthez szükséges anyagok és eszközök

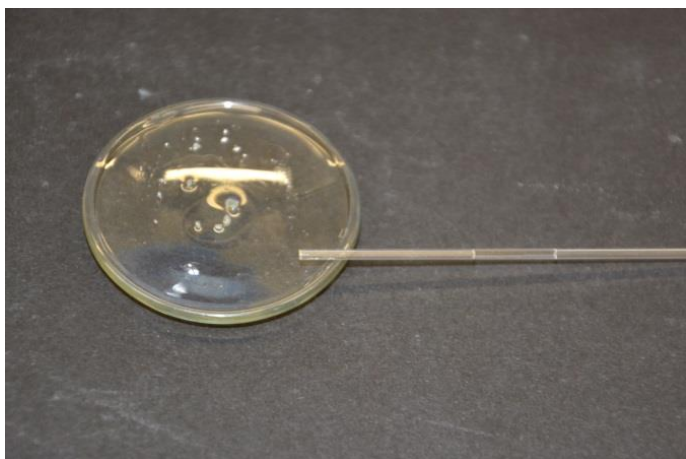


29. kép: A mintára ecetsav-anhidridet cseppentünk

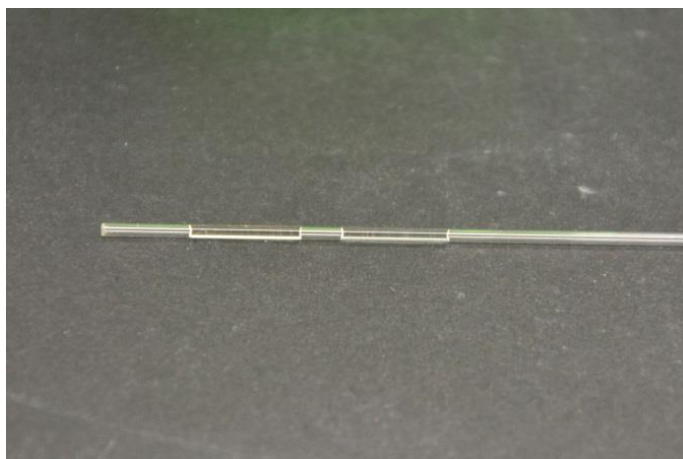
1. A mintát egy óraüvegre tesszük. Rácseppentünk egy nagyméretű üveg pipettából 2-3 csepp ecetsav-anhidridet.
2. Fém csipesszel fogjuk meg az óraüveget, és gázláng felett óvatos melegítéssel oldjuk fel a gyantát az ecetsav anhidridben. Viszonylag alacsony hőmérsékleten dolgozzunk (a láng legyen látható). Az óraüveget lassan mozgassuk körbe-körbe a láng felső része felett, nem tesszük bele a közepébe,

¹³ Csípős szagú, színtelen folyadék, $(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$, fp. 139.5 °C. Használják szerves szintézisekben acetilező szerként (-OH vagy -NH csoportot támad) és az aszpirin és cellulóz műanyagok gyártásánál. Vízzel hidrolizálva etánsavat ad. Kémiai Kislexikon Typotex Elektronikus Kiadó Kft. 2007 https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/oxford-typotex-kemiai/ch01s05.html#etansav_anhidrid 2018.05.18.

vegyük ki időnként a lángból. Ne tartsuk egy helyben az óraüveget, mert szétrepedhet a közepe. Nem baj, ha a sav elpárolog, töltsünk újabb cseppet a mintára, ha még nem oldódott fel. Mindig viseljünk kesztyűt, köpenyt és szemüveget, mert a sav szétfröccsenhet, ha túlhevül.

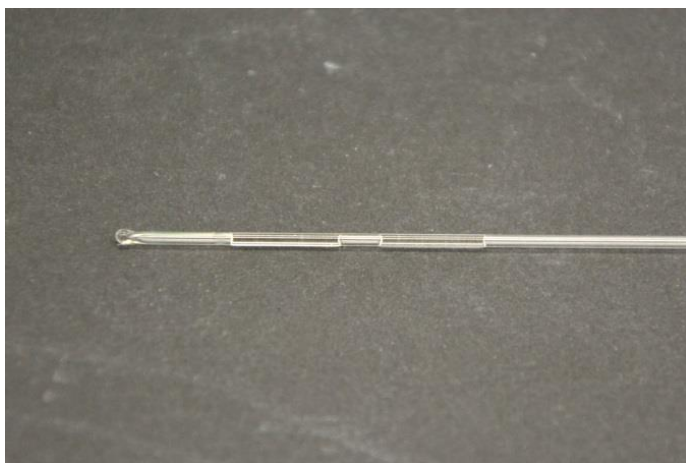


30. kép: A feloldott mintát kapillárisba szívjuk fel



31. kép: Kénsav és ecetsav-anhidridben feloldott minta a kapillárisban

3. Ha feloldódott a minta (vagy oldódott belőle egy kis mennyiség), szívjuk fel egy üveg pipettával az oldatot, és egy tárgylemez szélére cseppentsük (Lásd az ábrát a Bial's teszténél). A kapillárist érintsük hozzá a tárgylemez szélén lévő oldathoz, és szívjunk át bele egy keveset. Körülbelül egy centire „rázzuk le” a kapilláris nyílásától.
4. Egy másik tárgylemez szélére cseppentsünk egy üveg pipettával kénsavat, és szívjunk be a kapillárisba az ecetsav anhidrides oldattal megegyező mennyiségű kénsavat. Legyen közte levegő! „Rázzuk” kicsit le a kénsavat is, körülbelül 1 cm-nyire a kapillárisba.
5. Erős láng felett (magas hőmérsékleten) zárjuk le a kapilláris végét (Lásd az ábrát a Schiff reakciónál). Nagyon fontos hogy ennél a teszténél biztosan összeolvadjon a cső vége, hogy az utolsó lépésnél ne fröccsenjen ki a sav.



32. kép: A cső végét gázláng felett lezárjuk



33. kép: Pozitív eredmény, egyenletes lilás-barna szín

6. Hagyjuk kihűlni a kapillárist (kb. 1-2 perc) és az oldatokat rázzuk le az aljába, hogy

összekeveredjenek. Ha homogén, egyenletes színű lilás-barnás színt kapunk, a minta tartalmaz gyantát.

Poliszacharid tartalmú mintáknál félrevezető eredményt kaphatunk, mert ez az anyagcsoport is színreakciót ad, de szürkés színűt. További különbség, hogyha a minta nem oldódik fel ecetsav-anhidridben, és kis darabkák fognak maradni a kémcsőben. Amikor az utolsó lépésben létrejön a reakció, az elszíneződés nem egyenletes, homogén lesz, hanem kis szürke, sötét foltok keletkeznek a fel nem oldódott anyagból.

III.5. Kálium-jodidos (Lugol oldatos) teszt – keményítő és dextrin kimutatására

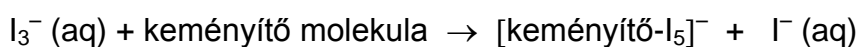
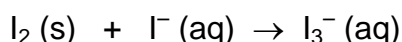
Csoport specifikus reakció

Szükséges anyagok és felszerelés

- Kálium-jodid oldat¹⁴
- tárgylemez

A vizsgálat elve

Amikor a jód atom a keményítő vagy dextrin molekulához köt, kék színű komplex jön létre (dextrin esetében nem inkább kékes-lila, barnás-vörös színű).



kék vagy barnás komplex

34. kép: A reakció folyamata

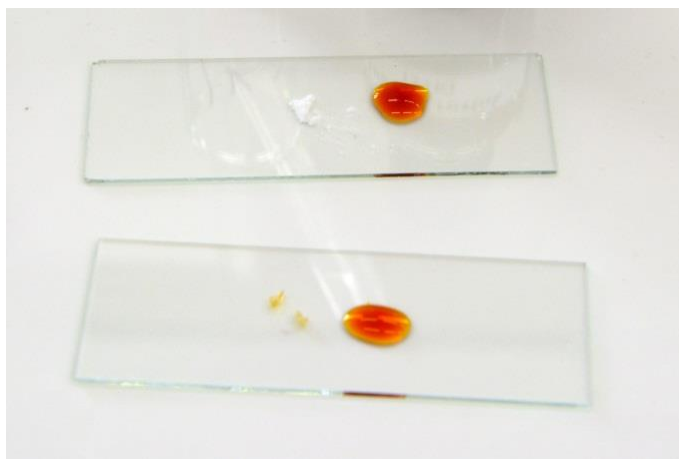
A reagens elkészítése

Mivel a jód rosszul oldódik vízben, jód és kálium-jodid keverékét használjuk az oldat előállításához. 2,5 g jódot és 1,7 g kálium-jodidot oldjunk fel 100 ml desztillált vízben.

A vizsgálat menete



35. kép: A vizsgálathoz szükséges anyagok és eszközök



36. kép: Cseppentsünk az oldatból a tárgylemezre a minta mellé

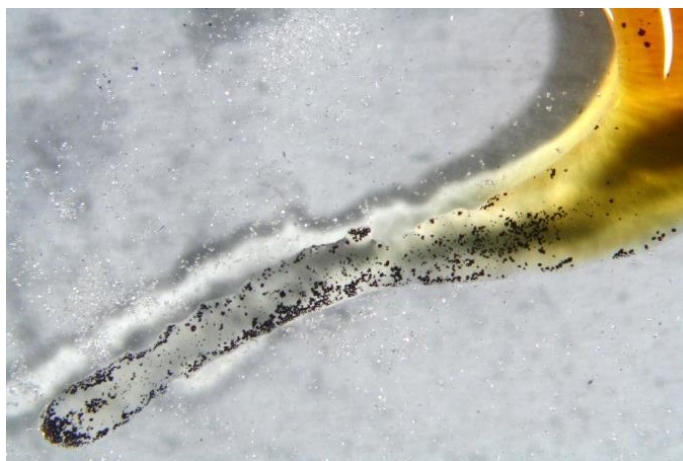
1. A mintát egy tárgylemezre tesszük.

¹⁴ Fehér, kristályos, szilárd anyag: KI, erősen keserű ízű, oldható vízben, etanolban, acetonban; szabályos; relatív sűrűsége: 3,13; op.: 681 °C fp.: 1330 °C. Előállítható: jódot forró kálium-hidroxid oldattal reagáltatva, majd frakcionált kristályosítással elválasztva a jodáttól (ami szintén keletkezik). A kálium-jodidot széles körben alkalmazzák analitikai reagensként, a fényképezésben, és az asztali sóhoz is adagolják adalékanyagként, a jódhiány miatt kialakuló golyvának és más rendellenességeknek megelőzésére. Kémiai Kislexikon Typotex Elektronikus Kiadó Kft. 2007 <https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/oxford-typotex-kemiai/ch01s11.html> 2018.05.18.

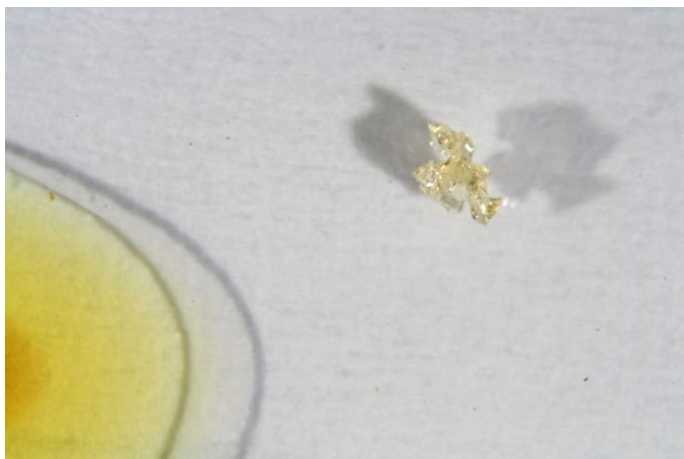
2. A kálium-jodid oldatot a minta mellé cseppentjük, nem közvetlenül a mintára.



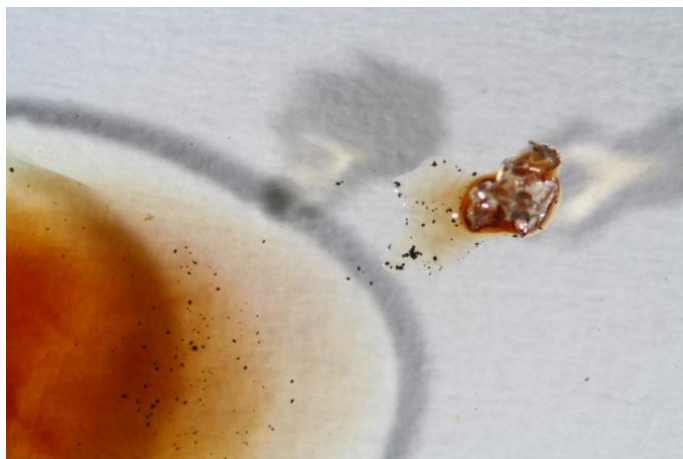
37. kép: A reagens a tiszta keményítő mellett



38. kép: Kék színű komplex jön létre



39. kép: A reagens a tiszta dextrin mellett



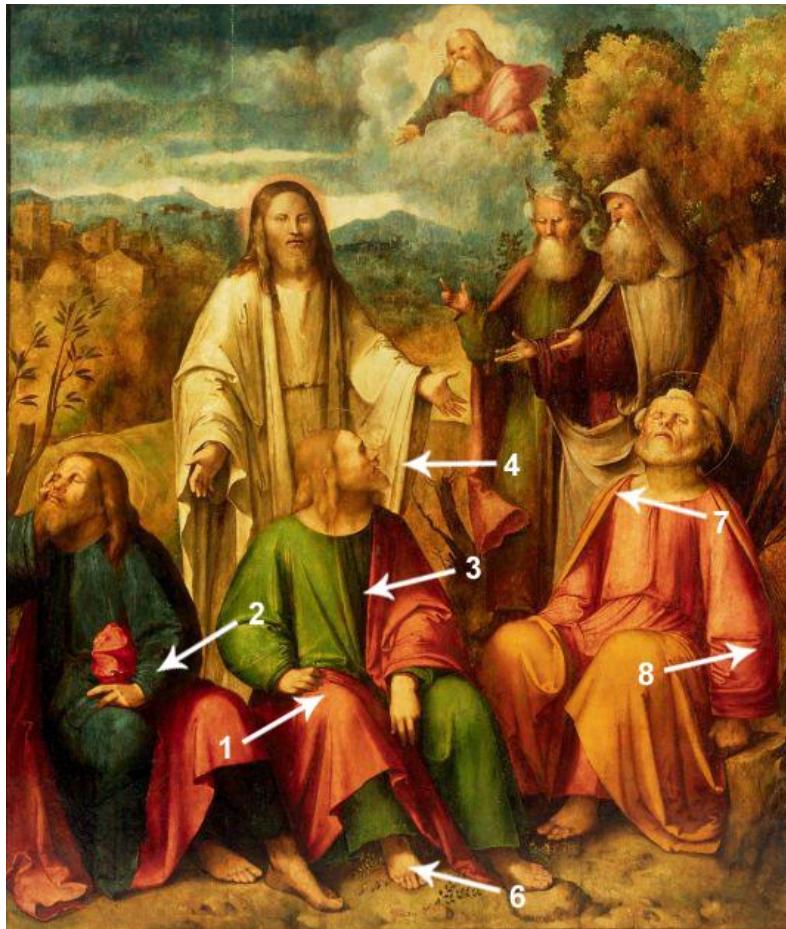
40. kép: Barnás színű komplex jön létre

3. Mikroszkóp alatt egy tűvel behúzzuk az oldat egy részét a mintába. Keményítő tartalom esetén sötétkék színű komplex jön létre, dextrin esetén pedig barna színű.

IV. A VIZSGÁLATSOR ALKALMAZÁSA KÉT MŰTÁRGY ESETÉBEN

II.1 Altobello Melone: Krisztus színeváltozása

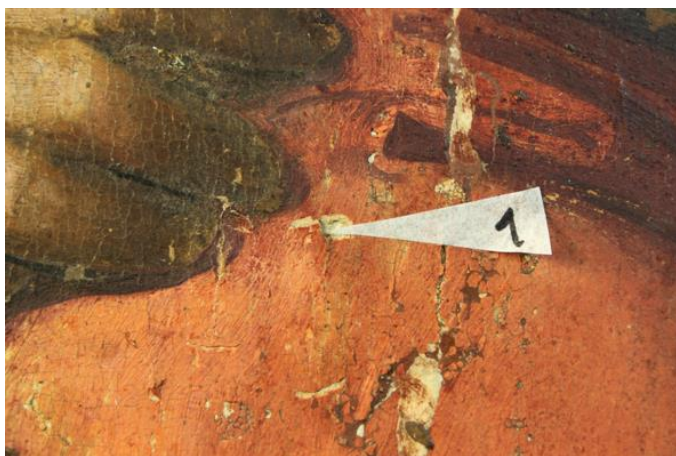
Mintavételi helyek



41. kép: Mintavételi helyek Altobello Melone: Krisztus színeváltozása című festményén¹⁵

II.1.1. Fénymikroszkópos vizsgálatok és mikrokémiai tesztek szervetlen összetevőkre

1. minta



42. kép: A mintavételi hely fotója

Az első mintát János köpenyéből vettük. A makro felvételen látható (balra), hogy a ruha színét egy világosabb vörös alapszínre felvitt sötétebb vörös lazúrral alakították ki. A két réteg a sztereo mikroszkópos képen is (lent, balra) látható.

¹⁵ Az ábrán csak a dolgozatban vizsgált minták helye van feltüntetve

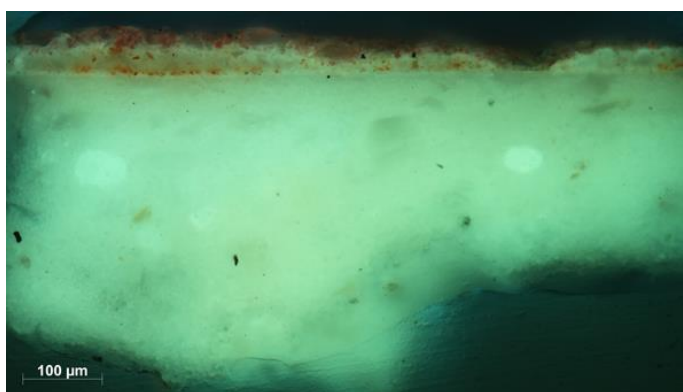
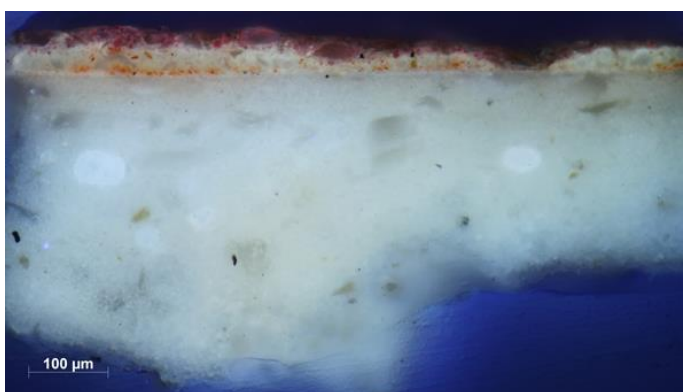


43. kép: A minta sztereo mikroszkópos képe felülnézet (balra) és alulnézet (jobbra)

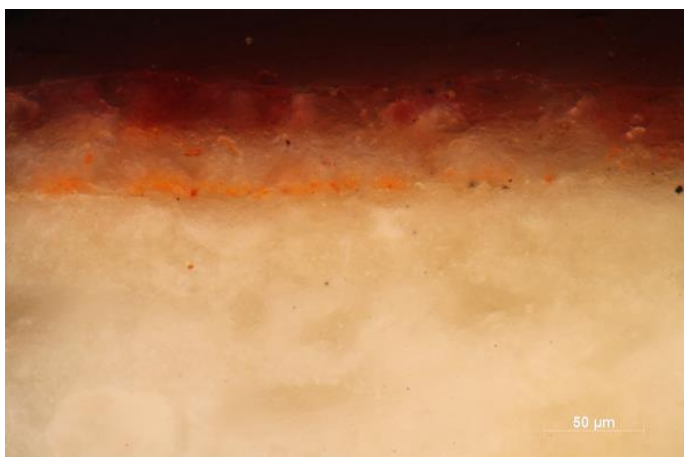


44. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív

Az alapozó fehér, kisméretű és nagyobb (akár 100-300 mikron körüli), szögletes szemcsékkel. Két festékréteget különböztethetünk meg. Alul a narancssárga, fehérrel kevert réteg látható, felette a rózsaszínes lazúr. A rózsaszín gömbölyded szemcsék UV és BV gerjesztésben lumineszkálnak, ami szerves színezékre utal.

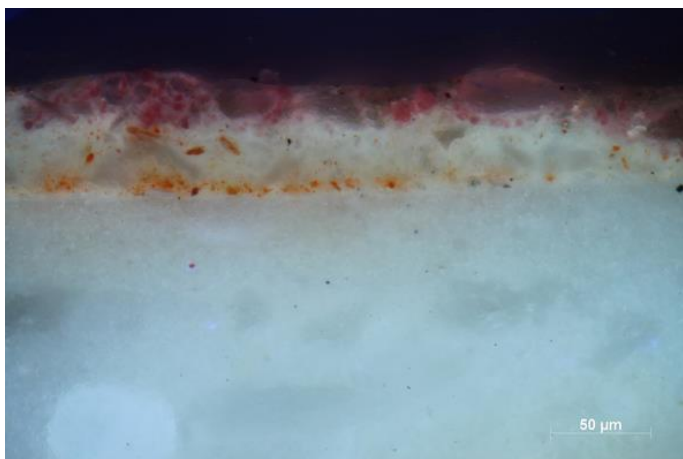


45. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív

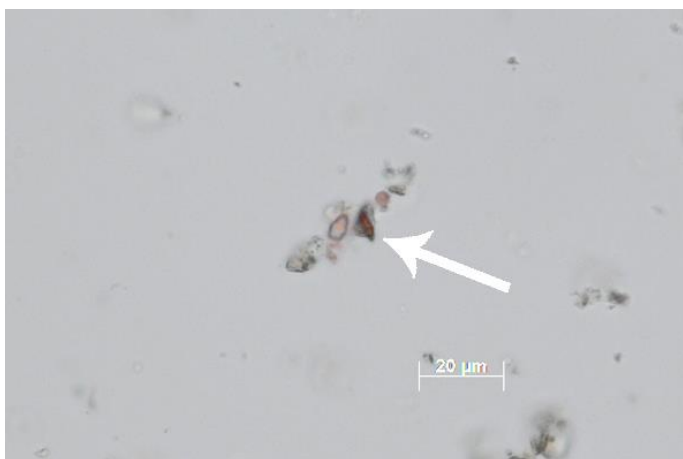
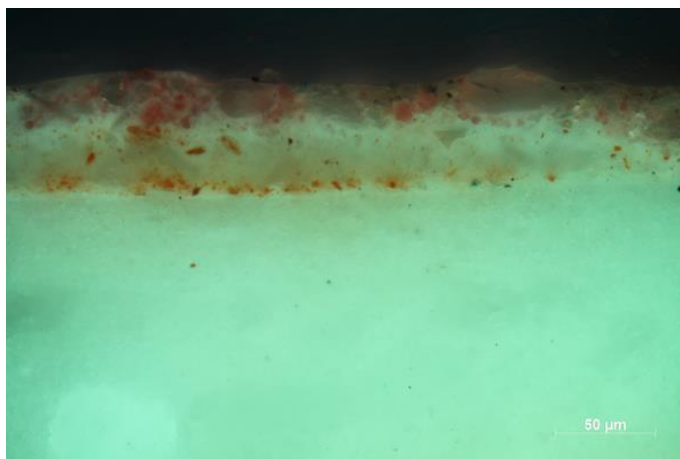


46. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív

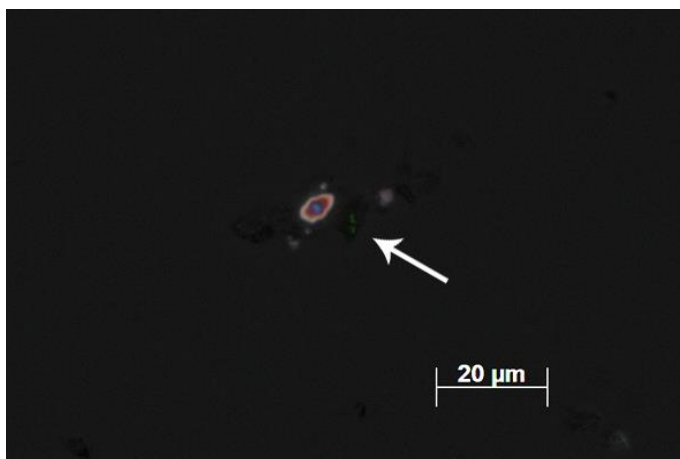
A narancssárgával kevert rétegben szögletes áttetsző szemcsék is találhatóak. Az alapozás és a festékrétegek között vékony, lumineszkáló réteg látható, valószínűleg szigetelés. A drapéria színét tehát úgy alakították ki, hogy egy fehérrel kevert narancssárgás alapszínre vörös lazúrt vittek fel.



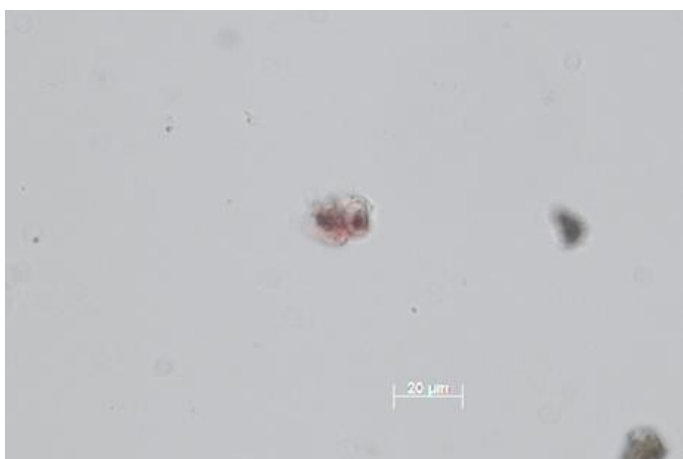
47. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív



48. kép: Míniüm szemcse, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív



49. kép: Míniüm szemcse jellegzetes zöld interferencia színe, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív



50. kép: Rózsaszín szemcsék a lazúrból, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív

A festékrétegekből készített preparátumban az 5 mikron körüli szemcsékből álló vörös pigment mikroszkópos jellemzői alapján míniüm. A lumineszkáló rózsaszín pigment jellegzetes gömbölyded alakú szemcsékből áll, valószínűleg szervesetlen hordozóra lecsapatott szerves színezék. A rétegben találhatóak továbbá néhány mikronos erősen kettőtörő áttetsző szemcsék is.



51. kép: Kénhidrogén teszt az 1. mintán

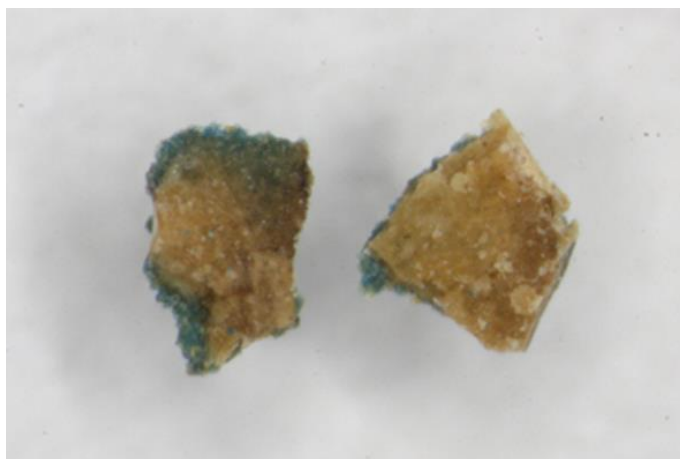
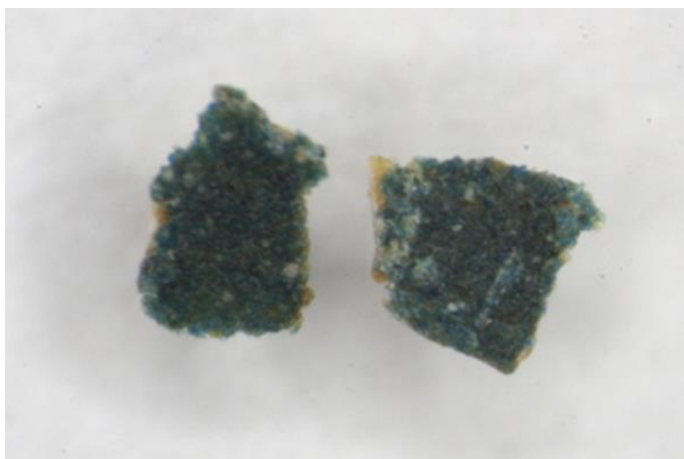
A keresztmetszet csiszolaton mikrokémiai tesztet végeztünk ólom tartalom kimutatására. Az alsó, fehérrel kevert narancssárga festékréteg elsötétedett a hidrogén-szulfidtól, ami megerősíti az ólom tartalmú vörös (mínium) és fehér (ólomfehér) használatát. A szigetelőréteg szintén elsötétedett, ami ólom szikkatív használatára utal.

2. minta

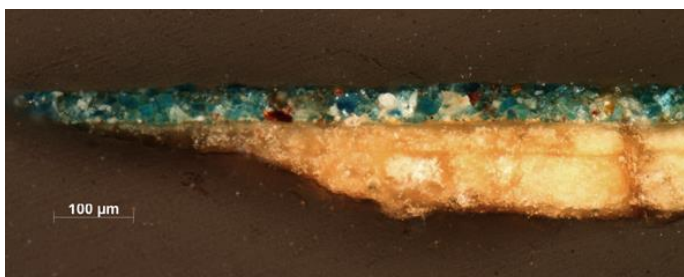


52. kép: A mintavételi hely fotója

A második mintát Jakab kék ruhájából vettük. Az alapozó színe sárgásabb, mint az 1. mintánál, ezt okozhatja a magasabb kötőanyag tartalom, vagy a korábbi beavatkozások során a pergő festékrétegek rögzítéséhez használt ragasztó.

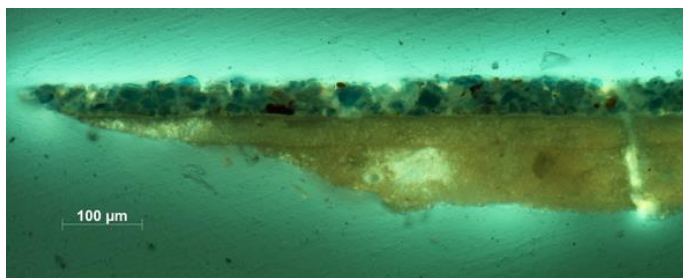
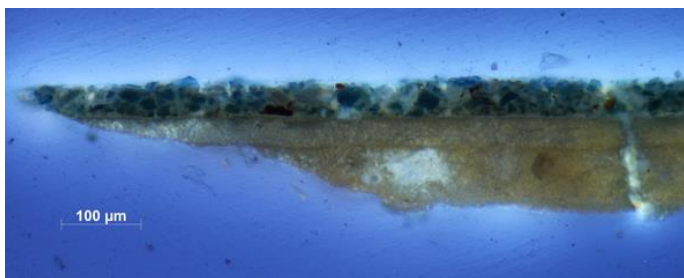


53. kép: A minta sztereo mikroszkópos képe felülnézet (balra) és alulnézet (jobbra)

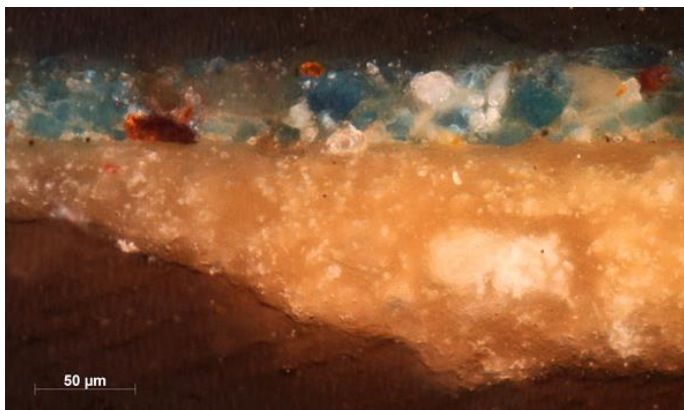


54. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív

A keresztmetszeten láthatjuk, hogy az alapozást több rétegben vitték fel. Az alapozó és a festékréteg is függőlegesen keresztül repedt, a repedésben lévő transzparens anyag erősen lumineszkál: a rétegek rögzítésére használt ragasztó lehet.

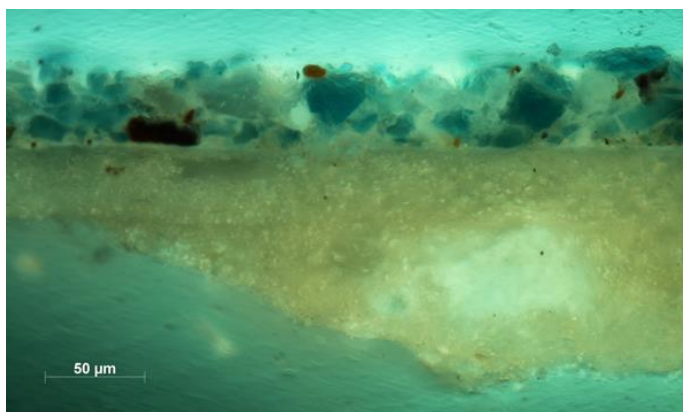
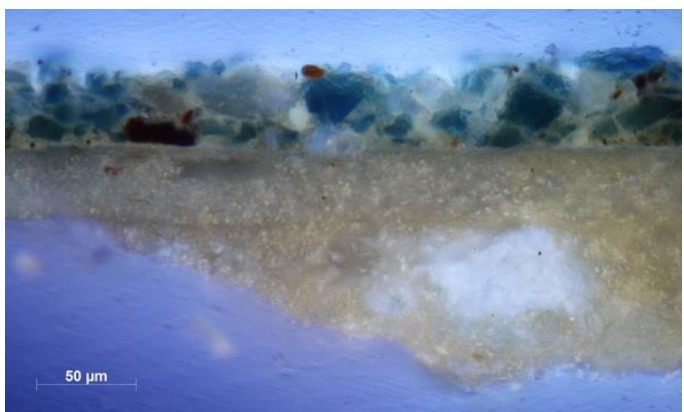


55. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív

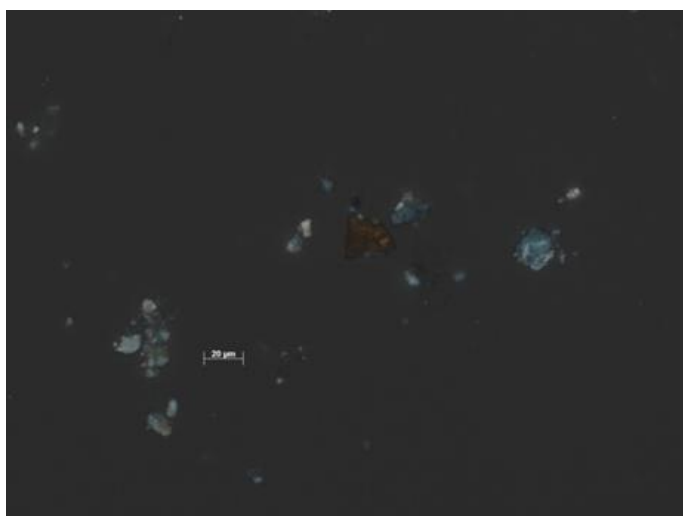
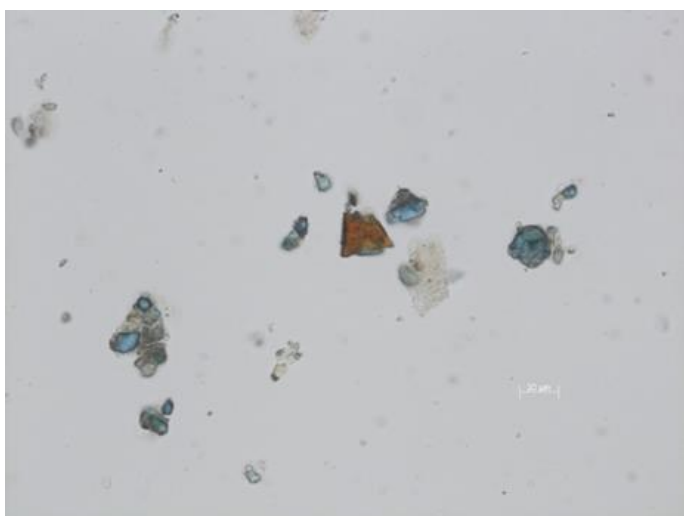


A festékréteg nagyméretű, szögletes kék szemcsék és fehér pigment keveréke, vörös kíséőásványokat is találunk benne. A kék és vörös szemcsék UV és BV gerjesztésben sötétben jelentkeznek, ami vas vagy réz tartalomra utal. A festett réteg alatti transzparens szigetelés nagyon vékony, UV és BV gerjesztésben jobban kivehető, lumineszkál.

56. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív



57. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív



58. kép: Azurit szemcsék vörös kíséőásvánnyal, párhuzamos (balra) és keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív

A festett rétegből készített preparátumban található kék pigment mikroszkópos tulajdonságai alapján azurit. A kísérőásványként előforduló vörös szemcse valamilyen réztartalmú ásvány lehet (például kuprit). Kisebb mennyiségben erősen kettőtörő, kisméretű áttetsző szemcsék is láthatóak a rétegben, ami valószínűleg ólomfehér.

3. minta



59. kép: A mintavételi hely fotója

A harmadik mintát János ruhájából vettük. Az alapozás itt is sötétebb, sárgásbarna, valószínűleg az utólag használt beitató anyag miatt.

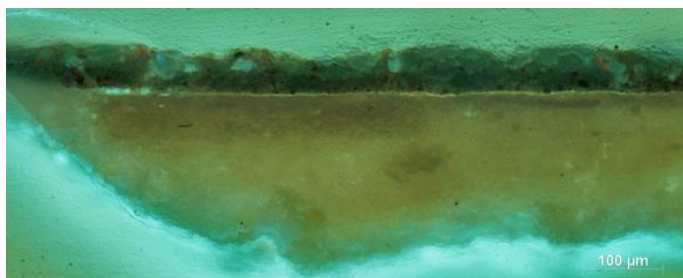
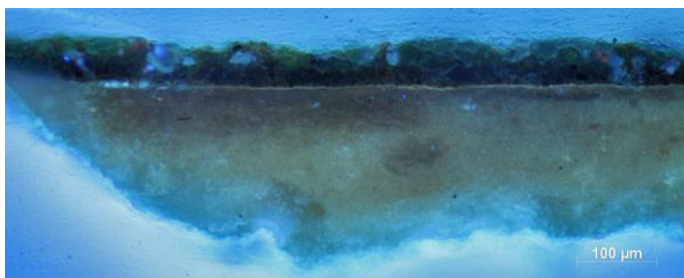


60. kép: A minta sztereo mikroszkópos képe felülnézet (balra) és alulnézet (jobbra)

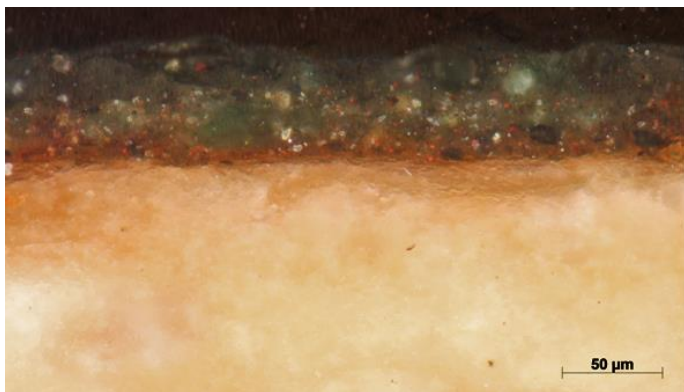


61. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív

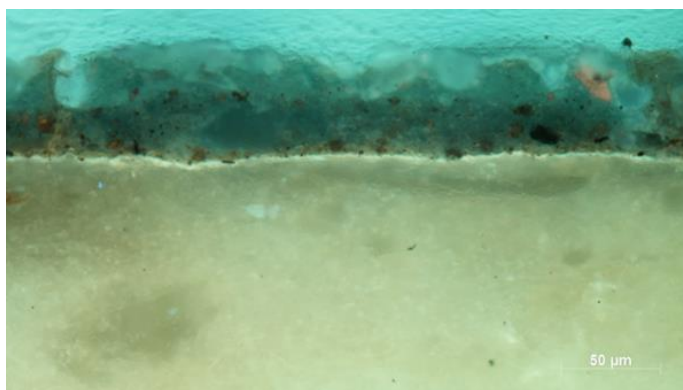
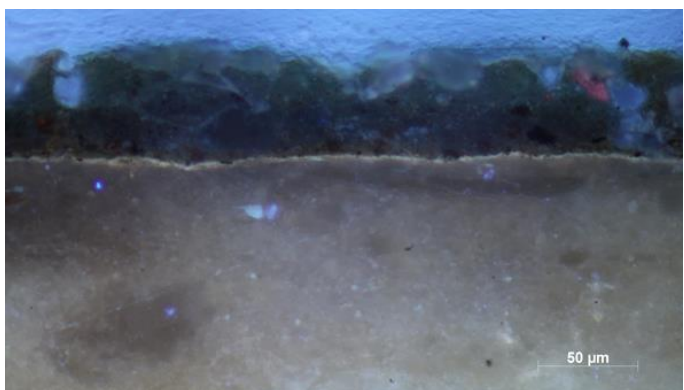
A festékréteg keverék, a zöld szemcsék mellett vörösek, sárgák és feketék is találhatóak benne. UV és BV gerjesztésben a réteg sötét, ami réz vagy vas tartalomra utal. A transzparens, UV gerjesztésben erősen lumineszkáló réteg a szigetelés lehet.



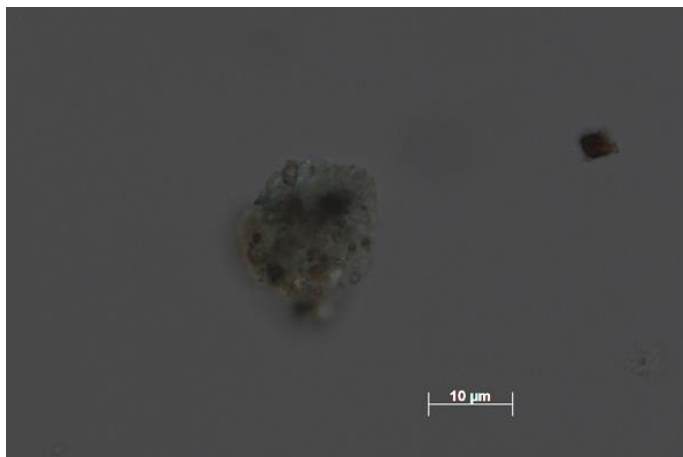
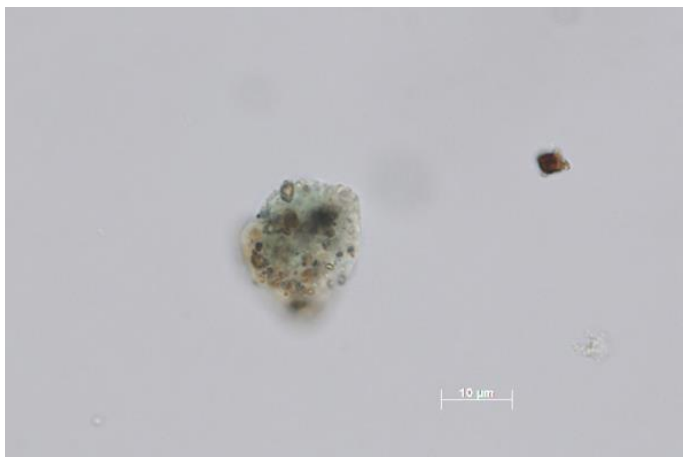
62. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív



63. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív

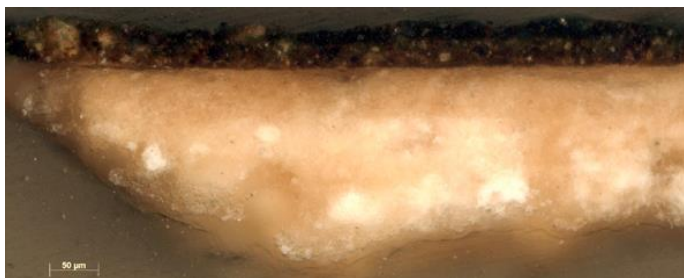


64. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív



65. kép: Zöld és vörös szemcse párhuzamos (balra) és részben keresztezett analízátor - polarizátor állás, polarizációs m., 40x-es objektív

A zöld pigment megjelenése és mikroszkópos tulajdonságai alapján szerves réz-komplex. A zöld szemcsén belül megfigyelhetők a sárgás-barnás elváltozások, ami jellemző az átalakuló réz-rezinátokra. A kísérőásványként előforduló vörös szemcsék magas törésmutatójúak, valószínűleg réz kísérőásványok (pl. kuprit).



66. kép: Kénhidrogén teszt

A zöld szemcsék kénhidrogén gáz hatására elsötétedtek, ami igazolja a pigment réz tartalmát.



67. kép: Mikrokémiai teszt vas- és réztartalom kimutatására

A zöld réteg vas- és réztartalmának kimutatására mikrokémiai tesztet végeztünk. A keletkező kék csapadék vasat, a vörösesbarna pedig rezet jelez a rétegben.

4. minta



68. kép: A mintavételi hely fotója

A mintát Jézus fehér ruhájából vettük. A sztereo mikroszkópos felvételeken láthatjuk, hogy a minta összetöredezett, a rétegeket barnás, ragasztó tartja össze.

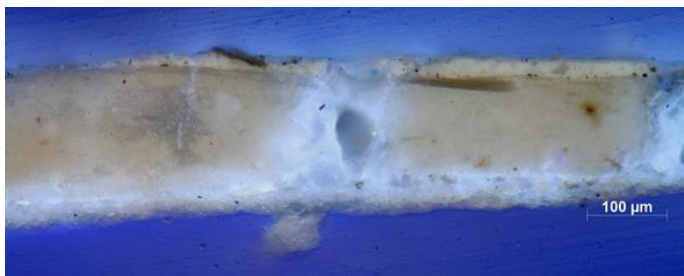


69. kép: A minta sztereo mikroszkópos képe felülnézet (balra) és alulnézet (jobbra)



70. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív

Az alapozó erősen sérült, az UV és BV gerjesztésben erősen lumineszkál a ragasztó, ami befolyt a repedésekbe. A mintát alul egy vékony alapozóréteg tartja össze, ami szintén erősen lumineszkál – valószínűleg a pergő rétegek visszaragasztására használt anyag miatt.

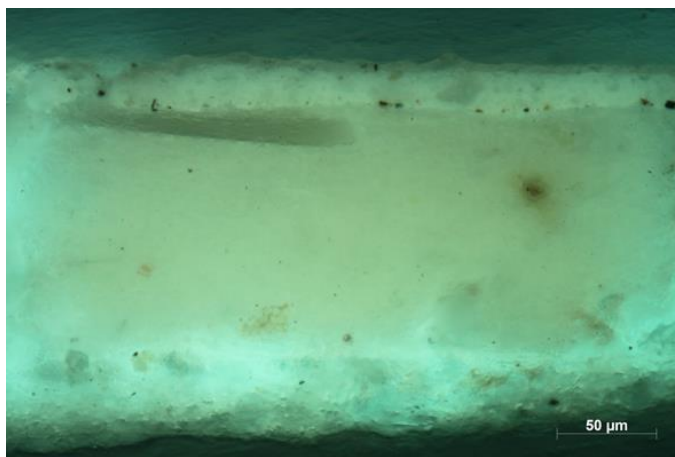
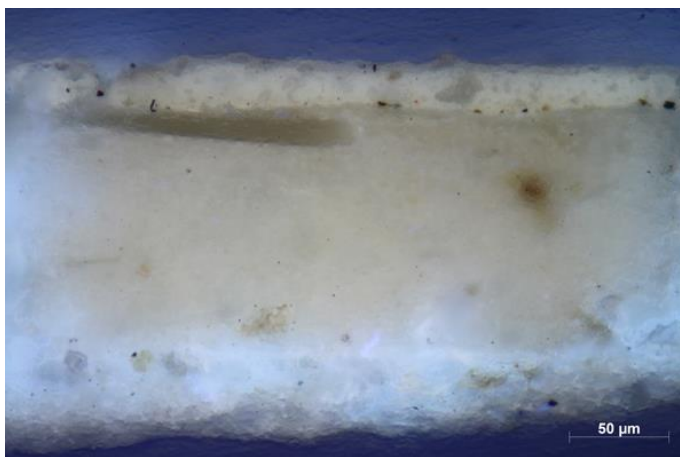


71. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív

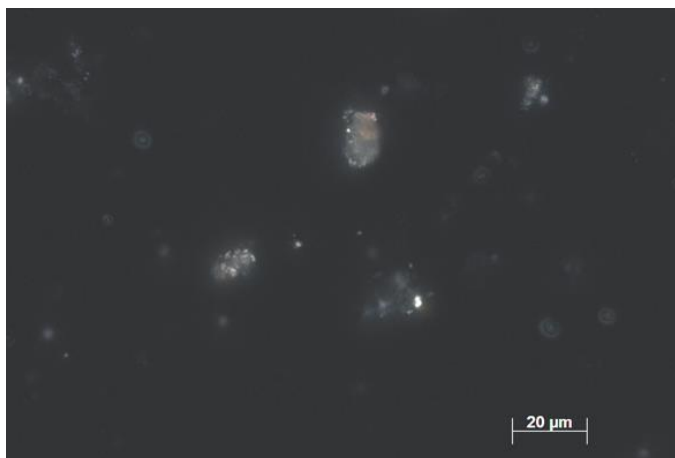
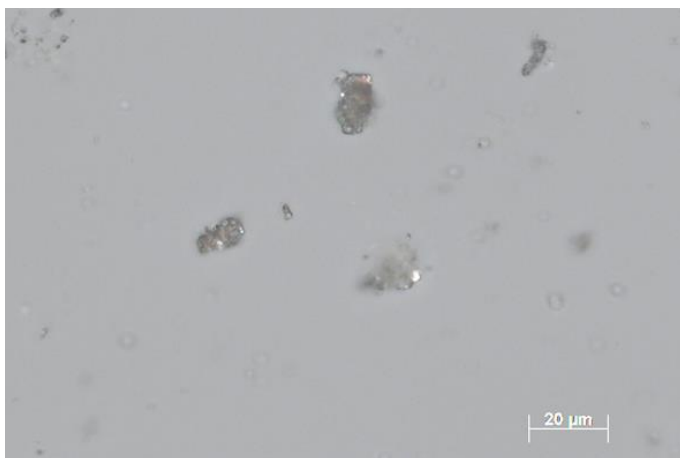


72. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív

A fehér festékréteg nagyrészt aprószemcsés fehér, kisebb mennyiségű szögletes, áttetsző szemcsével, és a szín árnyalására használt feketével. A réteg alsó részén is láthatunk fekete szemcséket, ami aláfestésre vagy alárajzra is utalhat.



73. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív



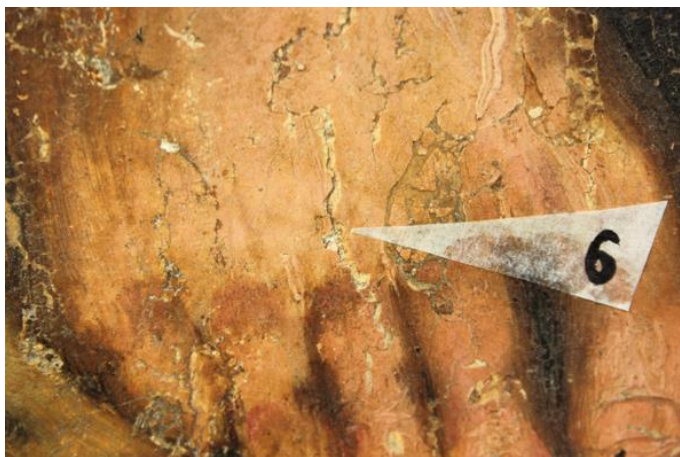
74. kép: Kettőtörő fehér szemcsék aggregátumba rendeződve, párhuzamos (balra) és keresztelt (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív



A festékrétegből készített szemcsepreparátumban (fent) aprószemcsés, aggregátumokba összeállt, erősen kettőtörő szemcséket láthatunk. Kisebb mennyiségben gyengén kettőtörő áttetsző szögletes szemcsék is előfordulnak benne. A fehér festékréteg kén-hidrogén gáz hatására nagyrészt elsötétedett (balra), ami ólomfehér pigment használatára utal.

75. kép: Pozitív kénhidrogén teszt

6. minta



76. kép: A mintavételi hely fotója

A 6. mintát a testszínből (János lábfeijéből) vettük. A festékréteg repedezett és hiányos, a sztereo mikroszkópos képen látható az alapozás helyenkénti sárgás elszíneződése, amit a ragasztóanyag okozhatott.

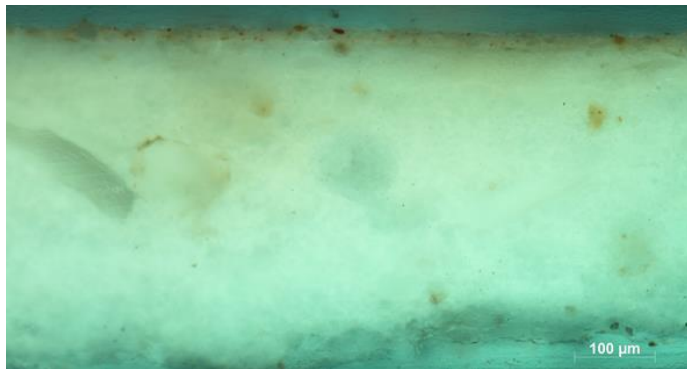
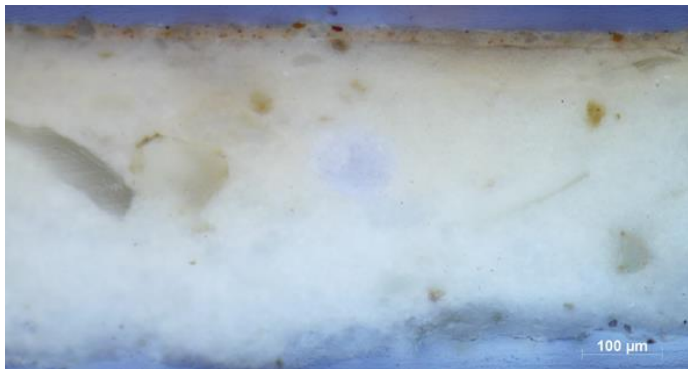


77. kép: A minta sztereo mikroszkópos képe felülnézet (balra) és alulnézet (jobbra)



78. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív

Az alapozóban megfigyelhetjük a nagyméretű, hasábos szemcséket. A festékréteg viszonylag vékony az alapozáshoz képest, 25 mikron körüli.

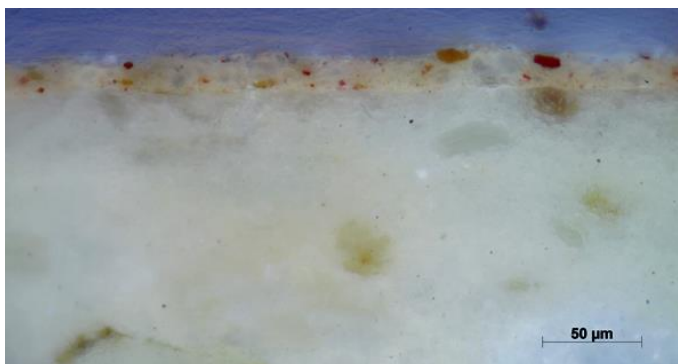


79. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív

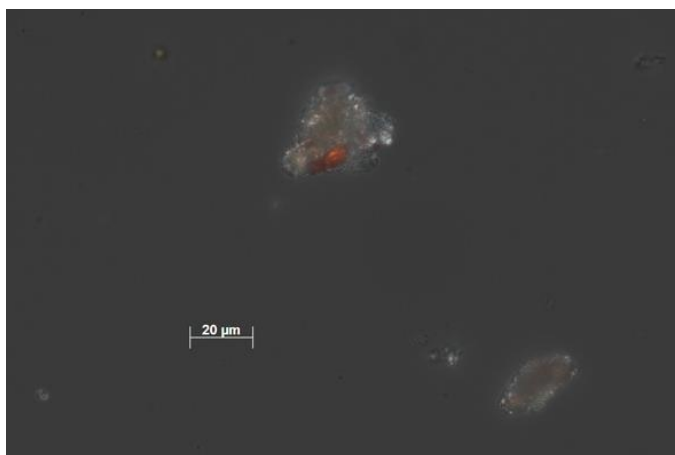
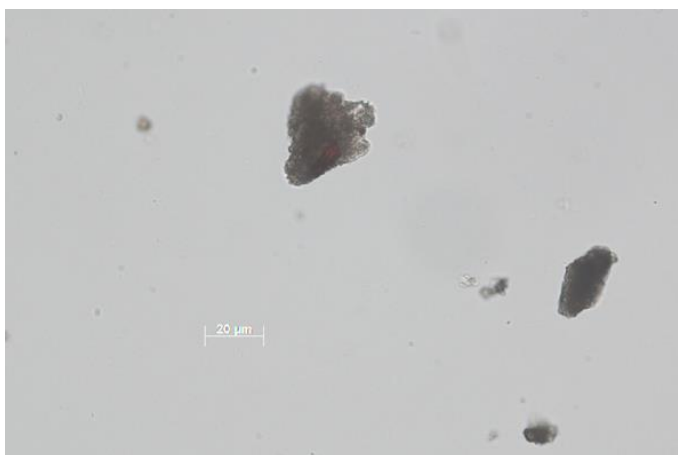


A testszín keverék: fehér, sárga és vörös pigmentek alkotják. UV és BV gerjesztésben lumineszkál a vékony szigetelőréteg.

80. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív



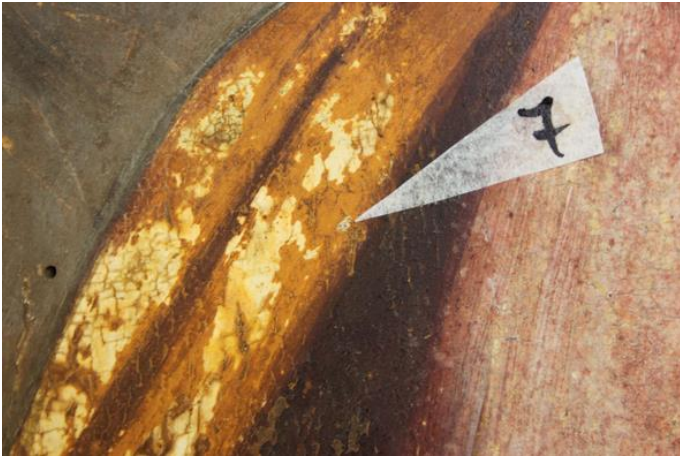
81. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív



82. kép: Vörös szemcse és aggregátumba összeállt kettőstörő fehér pigment, párhuzamos és keresztezett analízator - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív

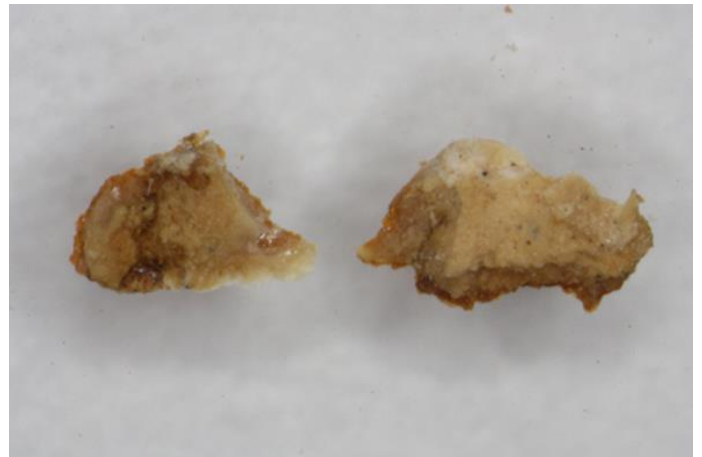
A festékrétegből készített szemcsepreparátumban található vörös pigment mikroszkópos jellemzői alapján cinóber lehet. Az erősen kettőtörő, aprószemcsés áttetsző szemcsék a 4. minta fehér rétegében látottakkal megegyeznek: vagyis ólomfehér lehet a pigment.

7. minta



83. kép: A mintavételi hely fotója

A 7. mintát Péter narancssárgás köpenyéből vettünk. A festékréteg szintén hiányos és repedezett volt a mintavétel helyén. Az alapozórétegek sárgásbarna elszíneződését a pergő rétegek rögzítésére szolgáló ragasztó okozhatta.

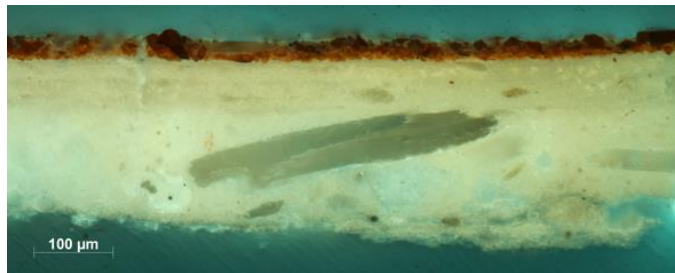
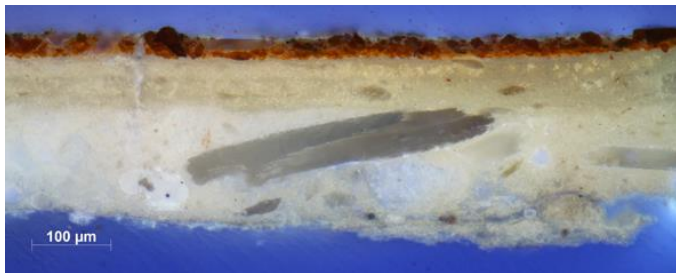


84. kép: A minta sztereo mikroszkópos képe felülnézet (balra) és alulnézet (jobbra)



85. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív

Az alapozó egy vastagabb, nagyszemcsés alsó, és három vékonyabb felső rétegből áll. A rétegek jól megkülönböztethetőek, a felső vékonyabbak sötétebbek, valószínűleg a nagyobb mennyiségű kötőanyagtól. A keresztmetszet bal oldalán az alapozóréteg feléig leérő repedés található.

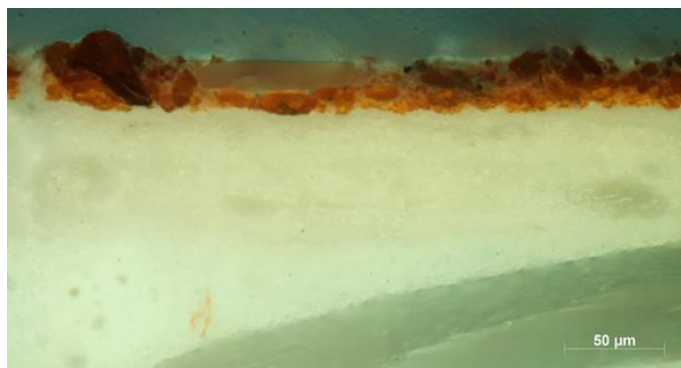


86. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív

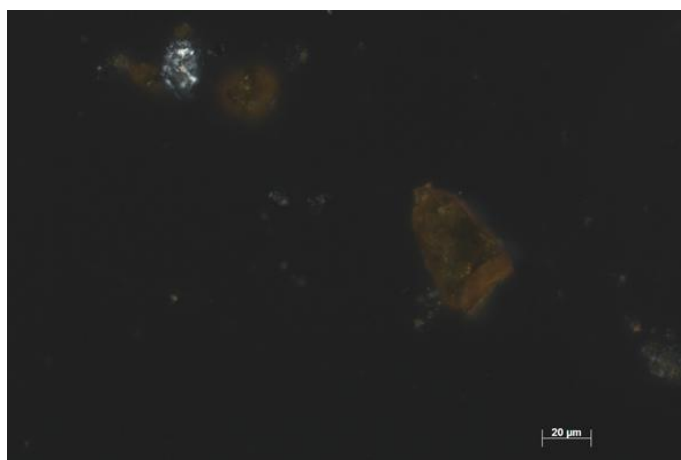
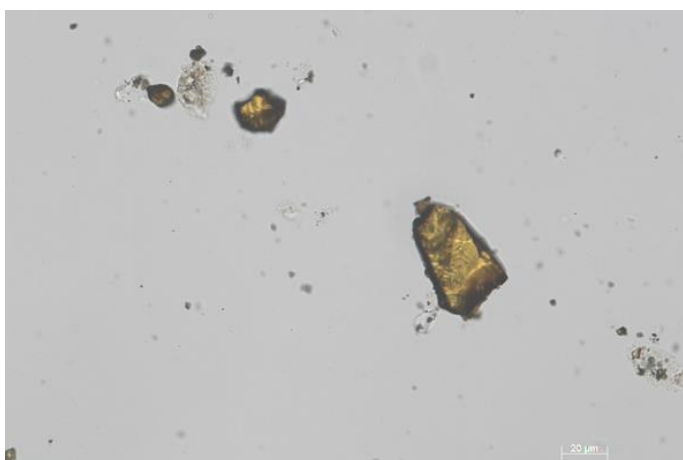


A narancssárga réteg szemcséi szögletesek, hasábosak, UV és BV gerjesztésben sötétek. A rétegből készített preparátumban látható szemcsék gyantaszerűek, megjelenésre a realgárhoz és az auripigmenthez hasonlóak, de izotrópok.

87. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív



88. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív



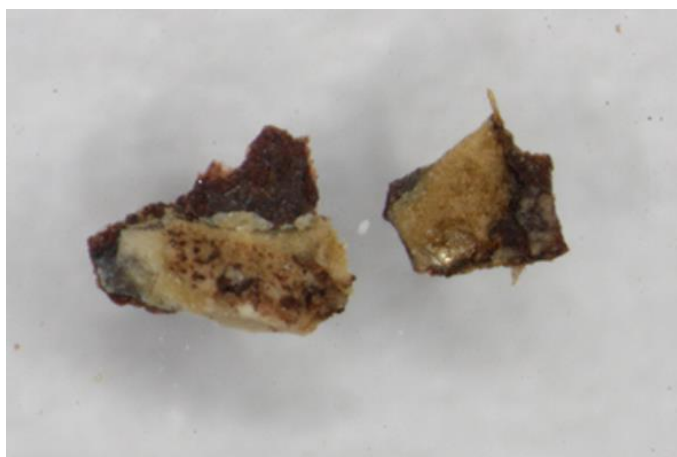
89. kép: Hasábos, gyantaszerűen fénylő szemcsék, párhuzamos (balra) és keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív

8. minta



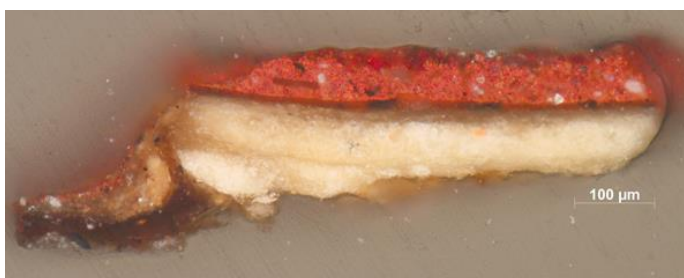
90. kép: A mintavételi hely fotója

A 8. mintát Péter ruhájából vettük. A festékréteg szintén felkagylósodott, összerepedezett. A sztereo mikroszkópos képen a minták alja sárgás, ami a visszaragasztáshoz használt ragasztó lehet. A bal oldali minta alján vörös szemcséket is láthatunk.



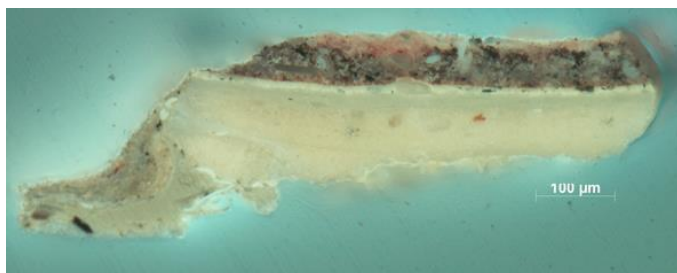
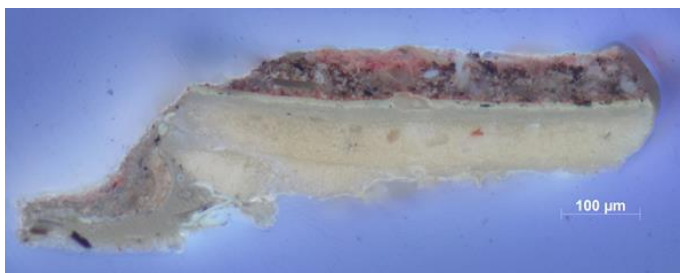
91. kép: A minta sztereo mikroszkópos képe felülnézet (balra) és alulnézet (jobbra)

8a

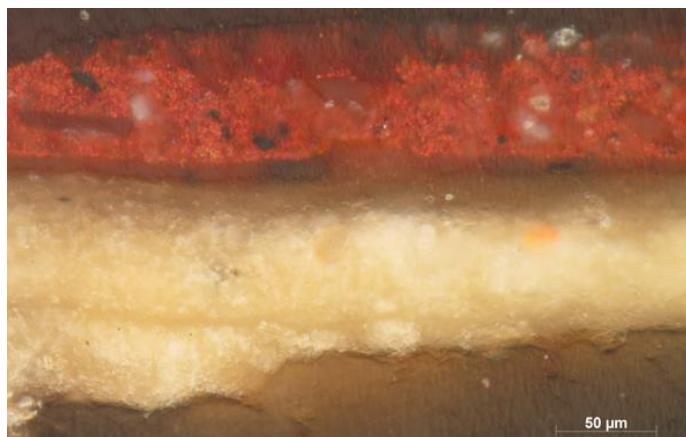


92. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív

Az alapozóban két réteget különböztethetünk meg. Felette normál megvilágításban transzparens, UV és BV gerjesztésben erősen lumineszkáló réteg található, ami szigetelés lehet. Két festékréteg található a mintán: az alsó élénkebb vörös, a felső rózsaszínes árnyalatú.

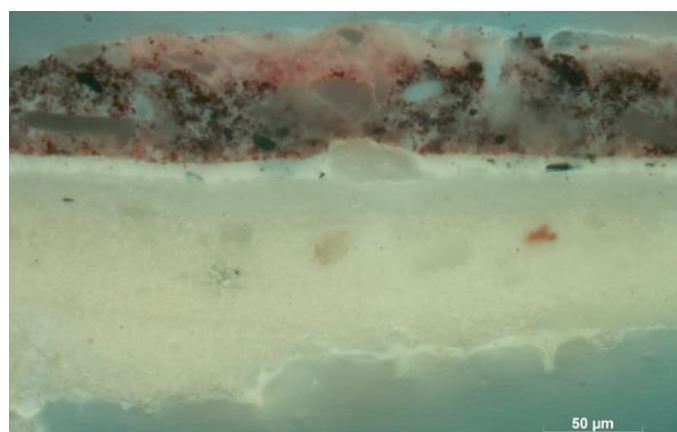
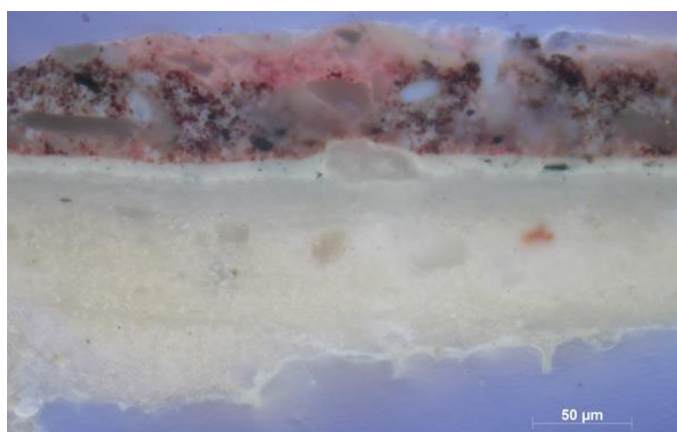


93. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív



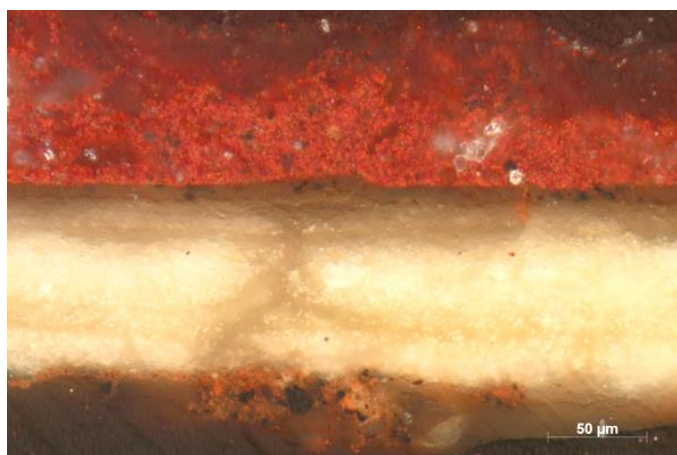
94. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív

Az alsó festékrétegben látható fehér ovális, lumineszkáló „csomók” valószínűleg ólom szappanok, vagyis a kötőanyag olaj, vagy olaj tartalmú lehet. A festékréteg keverék, vörös, fekete és fehér szemcsékből áll. A vörösek UV-ban sötétben jelentkeznek. A felső réteg UV és BV gerjesztésben rózsaszínes, valószínűleg (szervetlen hordozóra lecsapatott) szerves színezék.



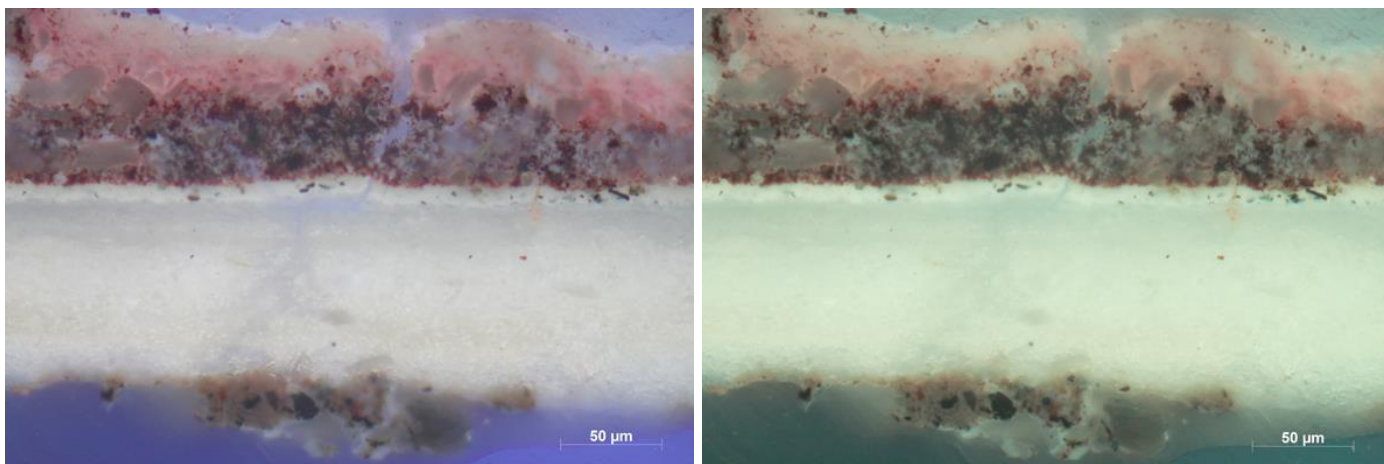
95. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív

8b

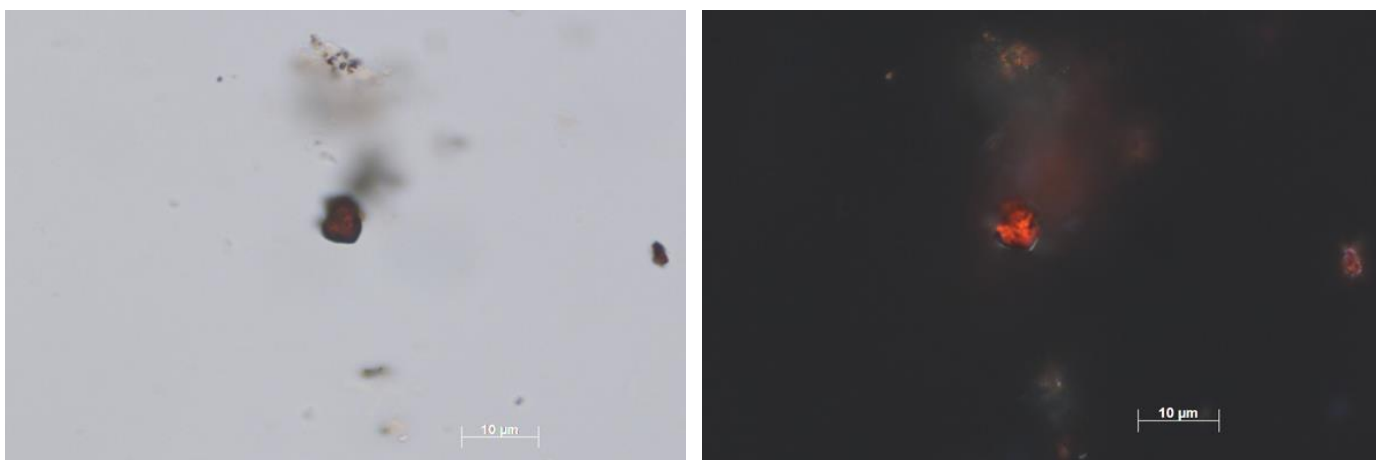


96. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív

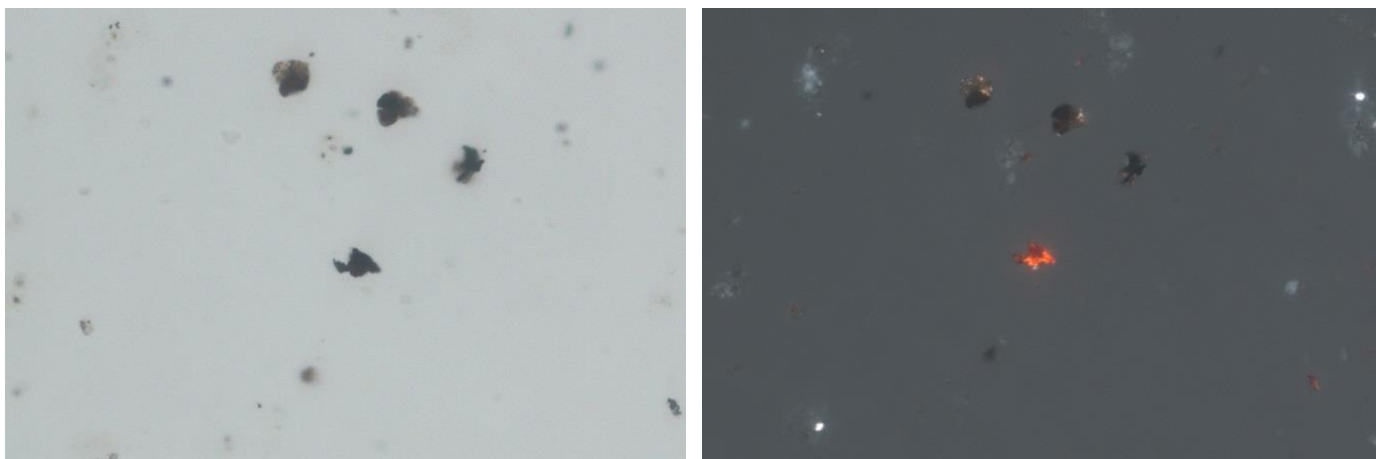
A másik beágyazott minta alján vörös keverék réteg maradványai láthatóak. A narancssárgás szemcsék mellett feketék, és apró élénkvörösek is találhatóak benne. Összetételében és megjelenésében eltér a felső vörös rétegtől. A réteg korábbi festék maradvéka, vagy befolyt retus lehet.



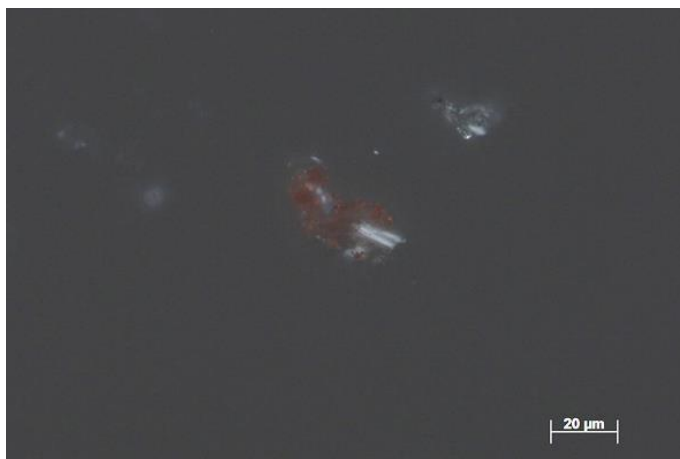
97. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív



98. kép: Vörös szemcse az alsó festékrétegből, párhuzamos (balra), és keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív

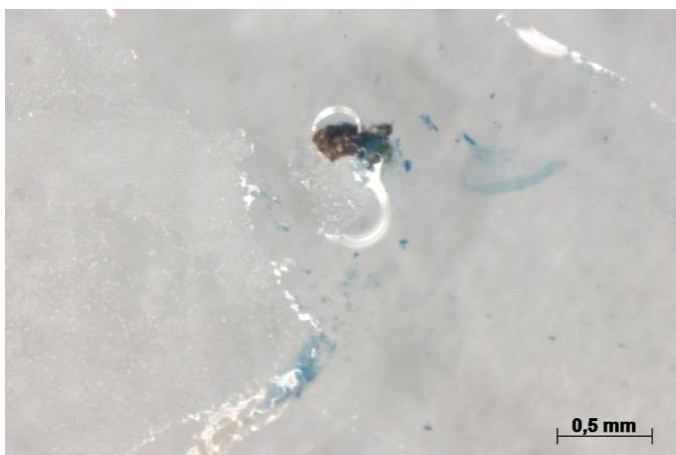


99. kép: Vörös és fekete szemcsék az alsó festékrétegből, párhuzamos (balra), és keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív



100. kép: Rózsaszín szemcsék a lazúrból, párhuzamos (balra), és keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív

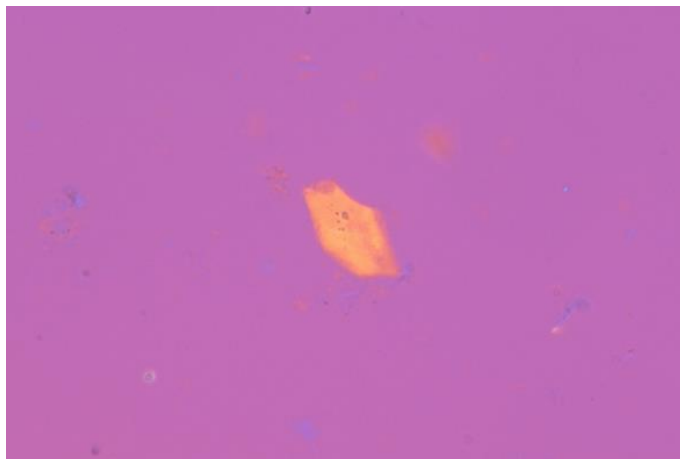
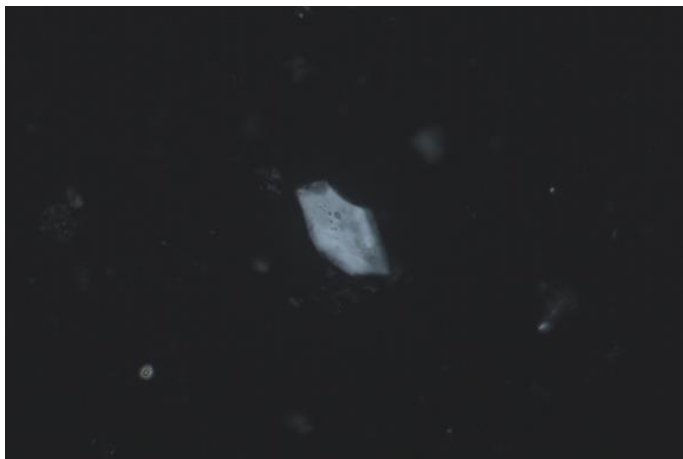
A felső festékrétegből készített szemcsepreparátumban kétféle vörös, aprószemcsés kettőstörő fehér, és rózsaszínű izotróp pigmentet találtunk. A barnás-vöröses árnyalatú pigment mikroszkópos tulajdonságai alapján vas-oxid vörös lehet, ezt megerősíti a pozitív vasteszt a kaparékon. Az erősen kettőstörő, hasábos vörös pigment jellemzői alapján cinóber, a rózsaszín pedig szerves hordozóra lecsapatott szerves színezék lehet. A színezék szemcséi megjelenésükben és tulajdonságaiban egyeznek az 1. minta lazúr rétegében találtakkal.



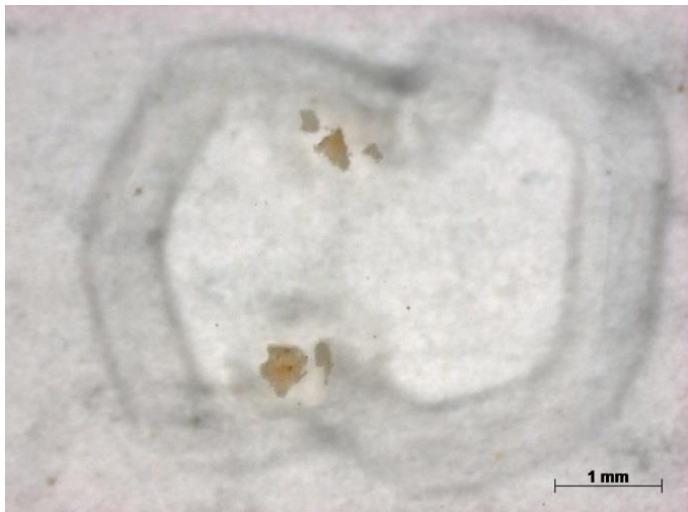
A vörös réteg vastartalmának igazolására végzett mikrokémiai teszt pozitív lett.

101. kép: A kék csapadék vasat jelez a vörös rétegben

Az alapozó (az 1-es mintából)



102. kép: Kalcium-szulfát szemcse, keresztezett analizátor - polarizátor állás, beiktatott lambda lemez (jobbra), pol. m., 40x-es objektív



Az alapozóból készített preparátumban mikroszkópos tulajdonságai alapján kalcium-szulfát szemcséket azonosítottunk. A kaparéék minta sósavas megcseppentésre nem pezsgett, a teszt alátámasztotta a töltőanyag meghatározást.

103. kép: Mikrokémiai teszt az alapozón

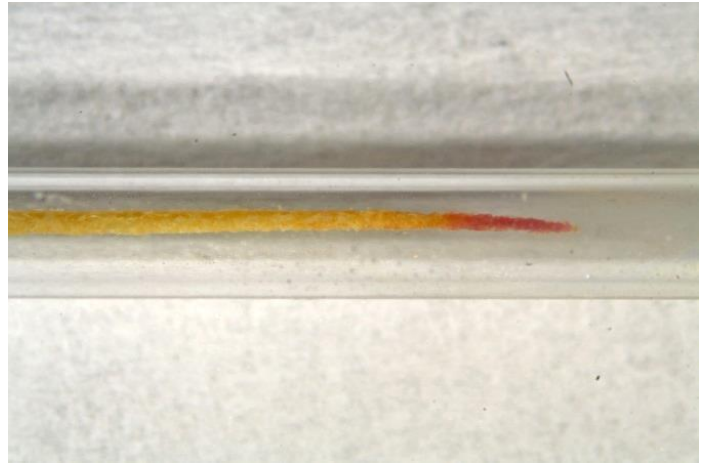
IV.1.2. Cseppentéses tesztek

1. Fehérje kimutatása Schiff/PAS reakcióval

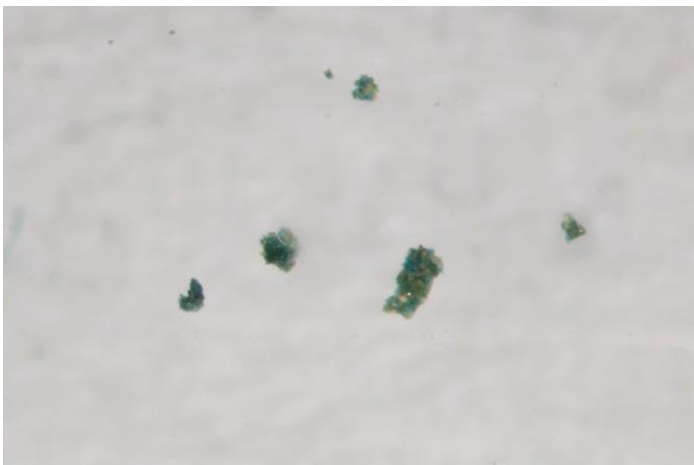
A tesztet a 2. 3. 4. 6. és 8. mintákon végeztük el, valamint az alapozón, amit az 1. mintából vettünk. A rétegeket igyekeztünk a lehető legjobban szétválasztani egymástól, hogy elkerüljük az esetleges hamis eredményeket.



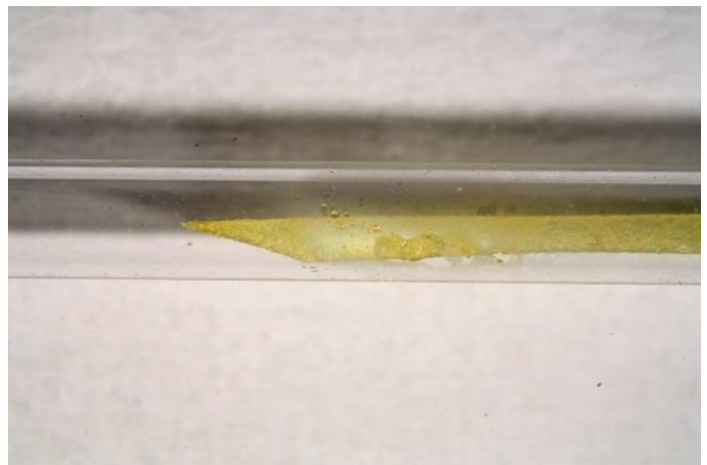
104. kép: A megvizsgált alapozó darab (az 1-es mintából)



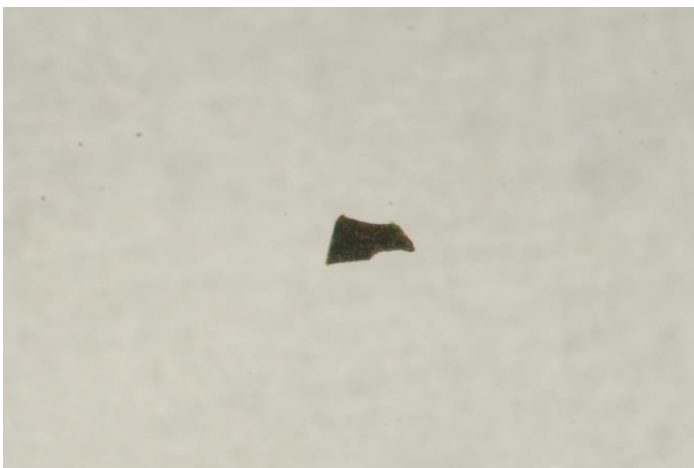
105. kép: Pozitív fehérje teszt eredmény az alapozóra



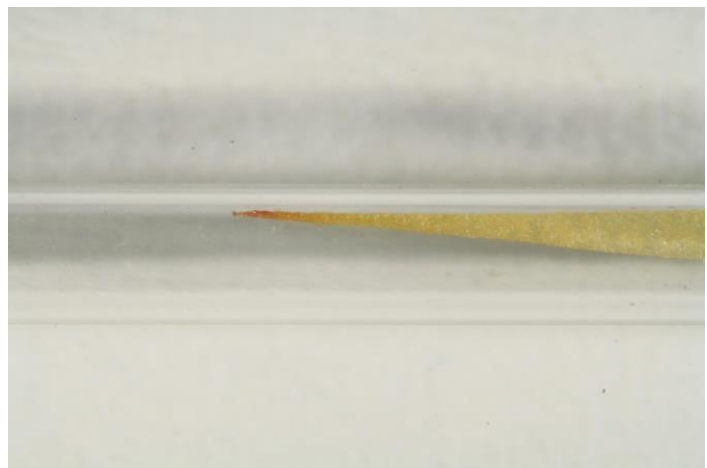
106. kép: A teszthez használt kék festékréteg (2.) darabjai



107. kép: Negatív fehérje teszt eredmény a kék festékrétegre



108. kép: Minta a zöld festékrétegből (3.)



109. kép: A zöld festékréteg gyenge pozitív fehérjére



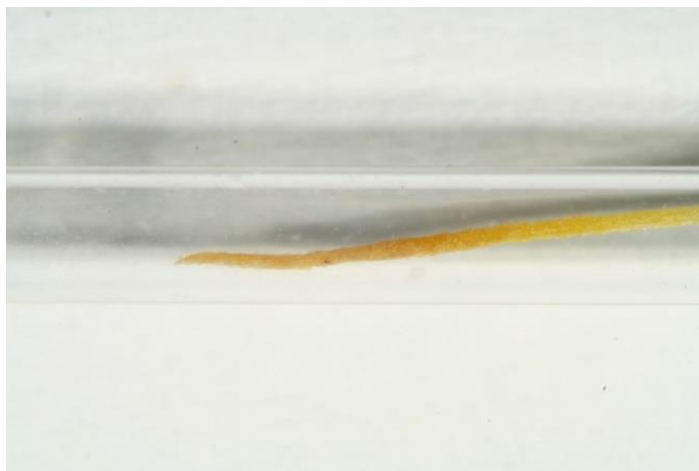
110. kép: A fehér festékréteg (4.) darabja



111. kép: A papír elsötétedett, de nem lila színű



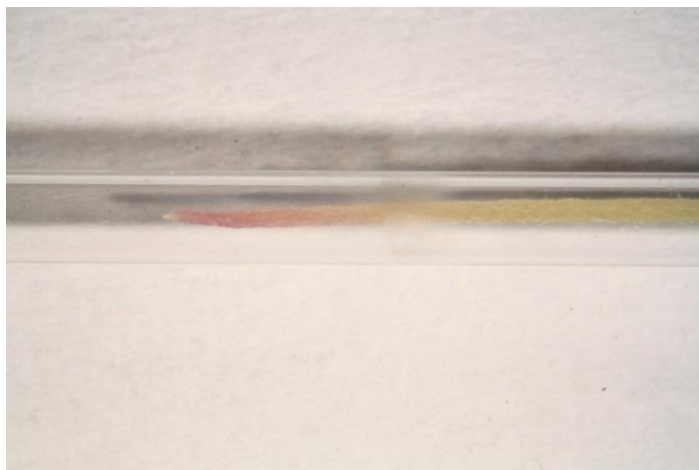
112. kép: A teszthez használt testszín (6.) darabja



113. kép: Kissé elsötétedett papír, de nem látható lila szín



114. kép: Minta a vörös festékrétegből (8.)



115. kép: Gyenge pozitív eredmény a vörös rétegre

A festmény alapozójából vett minta egyértelműen pozitív eredményt adott a Schiff tesztre, vagyis fehérje tartalmú. A festékrétegek közül a kék (2.) szín vizsgálata negatív lett, a zöld (3.) és a vörös (8.) rétegek esetében halvány lilásan elszíneződött a szűrőpapír. A fehér (4.) és a testszín (6.) tesztjéhez használt papír

kissé elsötétedett, de nem látható lila árnyalat, ami fehérje jelenlétét alátámasztaná¹⁶. Ezek alapján az alapozó fehérje tartalmú, és a festett rétegek feltehetően nem azok.

2. Száradó olaj kimutatása szappanképzéssel

A tesztet ugyanazokon a mintákon végeztük el, mint a Schiff-reakciót, vagyis a 2. 3. 4. 6. és 8., valamint az 1. mintából vett alapozón. Ennél a vizsgálatnál is törekedtünk a lehető legjobban szétválasztani a rétegeket, de egyes mintáknál ez nem sikerült tökéletesen (pl. 2. és 8.).



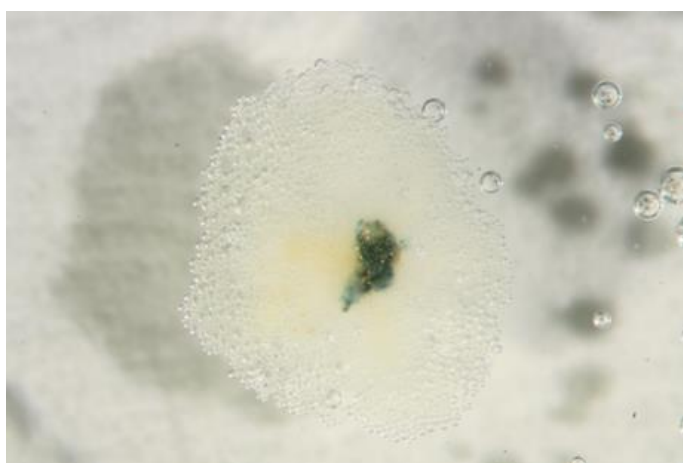
116. kép: A teszthez használt alapozó darab az 1-es mintából



117. kép: Az alapozó pozitív eredménye

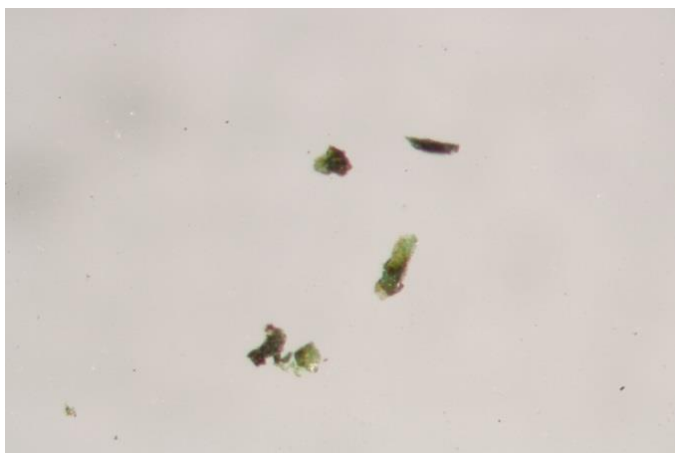


118. kép: A kék réteg (2.) darabja

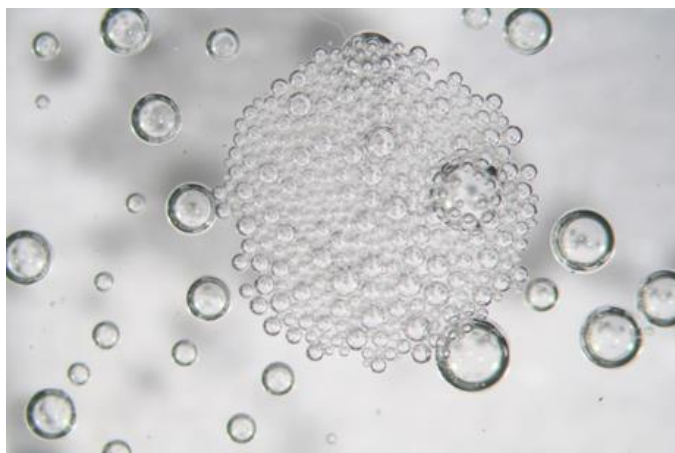


119. kép: A kék réteg egyértelműen pozitív

¹⁶ A papír kismértékű elsötétedését a teszt kivitelezésének tökéletlensége is okozhatja – ha a láng felett tartott kapilláris túlságosan átforrósodik, a papír megfeketedhet, megbarnulhat.



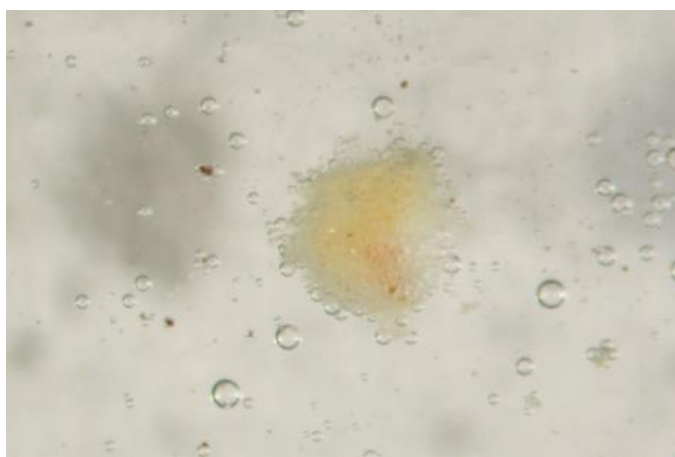
120. kép: A zöld réteg (3.) teszthez használt darabjai



121. kép: A zöld minta gyenge pozitív eredménye



122. kép: A fehér (4.) réteg vizsgálathoz használt darabja



123. kép: A teszt egyértelműen pozitív a fehér rétegen



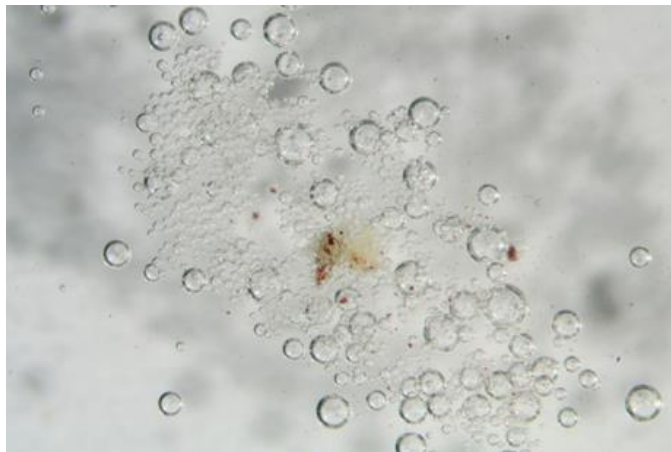
124. kép: A testszínből (6.) vett minta darabja



125. kép: A testszín eredménye gyenge pozitív



126. kép: A vörös (8.) réteg vizsgálatához használt darabja



127. kép: A vörös réteg gyenge pozitív eredménye

Az alapozó darabja az oldatokkal (ammónium-hidroxid majd hidrogén-peroxid) megcseppentve lassan elpezsgett, közben kisebb és nagyobb méretű buborékok is keletkeztek. A kialakuló sűrű hab közvetlenül a mintadarab felett percekig megmaradt, ami arra utalhat, hogy az alapozóban is lehet száradó olaj (esetleg a festékrétegekből átszivódott olaj is okozhatta a reakciót) vagy a szigetelő réteg.

A kék (2.) és fehér (4.) festékrétegeken végzett vizsgálat során egyértelműen stabil, tartósan megmaradó (több mint 5 percig) hab keletkezett, ami száradó olaj jelenlétét jelzi.

A zöld (3.), a vörös (8.) és a testszín (6.) esetében ugyanúgy keletkeztek kisebb és nagyobb buborékok, mint az alapozónál, de stabil, tartósan megmaradó hab nem alakult ki. Ezt okozhatja esetleg a minták kis mérete (3. és 6.), ha nincs elegendő olaj a mintában az egyértelmű eredményhez.

A tesztek alapján valószínűsíthető hogy a festett rétegek inkább olaj tartalmúak, az alapozó pedig vagy tartalmaz olajat vagy csak beszívta a felette lévő szigetelő és festett rétegek kötőanyagát.

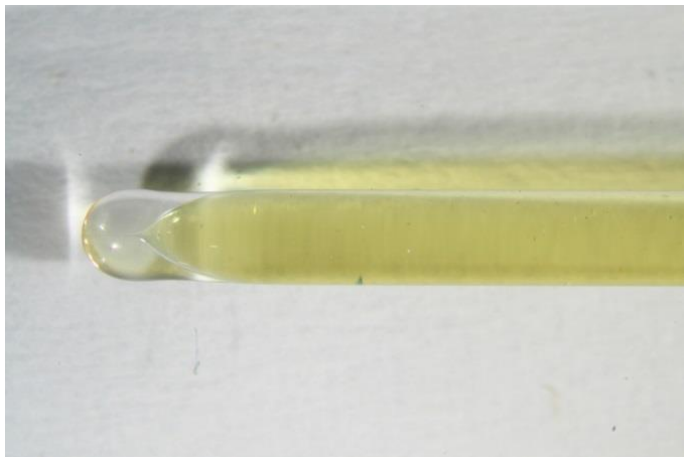
3. Növényi gumik kimutatása Bial's tesztel (pentóz kimutatás)

A pentóz tartalom kimutatásához a 4-es minta alapozójából, a fehér (4.) és a testszín (6.) rétegeiből vettünk mintákat.



128. kép: Alapozó darabok a teszthez a 4-es mintából

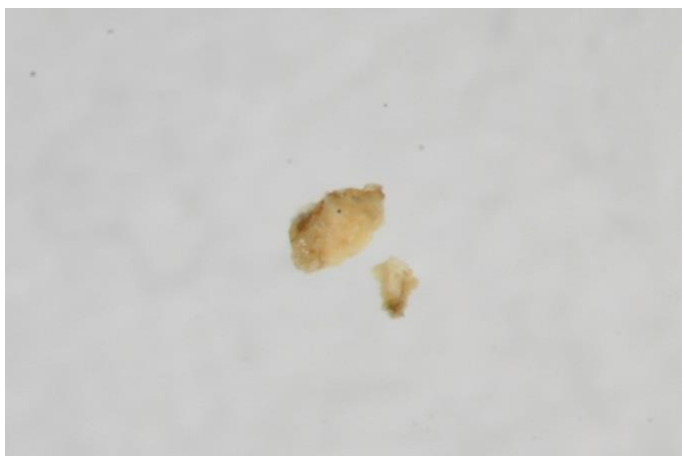
Az alapozóból vett mintákat feloldottuk a reagensben, majd glicerinfürdőben melegítettük. A Bial's reagens sárgás színe nem változott el, vagyis az alapozó negatív eredményt adott növényi gumikra.



129. kép: A reagens a melegítés előtt

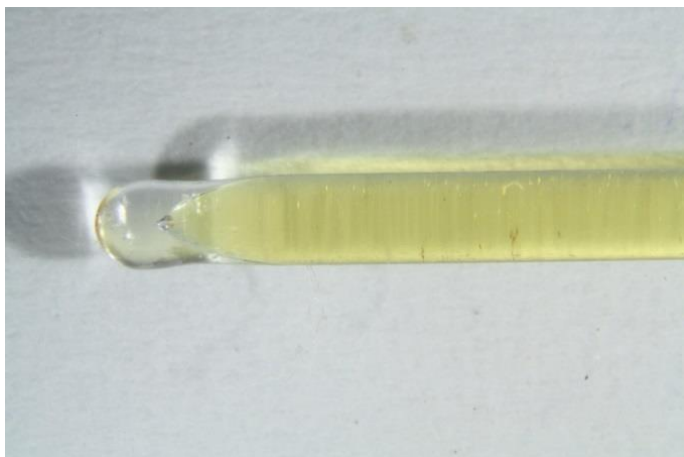


130. kép: A reagens színe változatlan a melegítés után

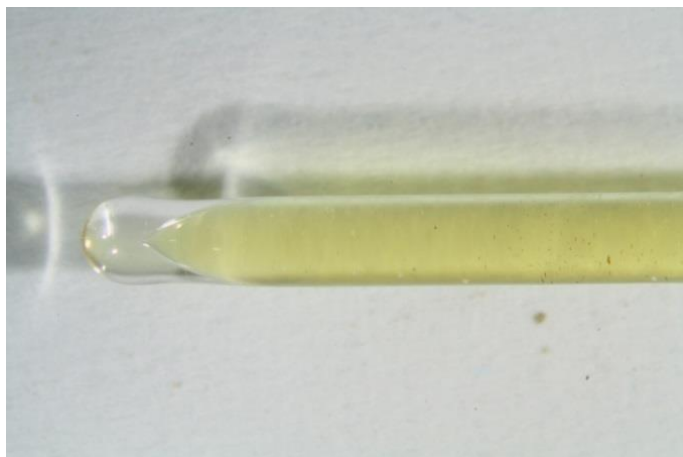


131.kép: A teszthez használt fehér réteg (4.) darabjai

A fehér (4.) festékréteg darabjaival végzett teszt ugyanúgy negatív lett, mint az alapozó rétegé.



132. kép: A reagens a melegítés előtt

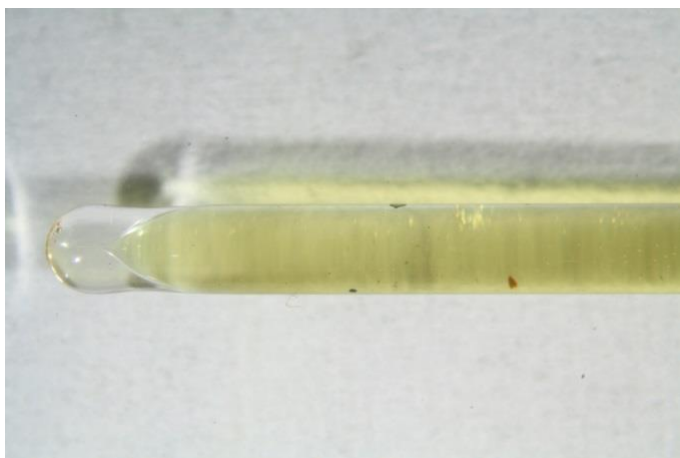


133. kép: A reagens színe változatlan a melegítés után

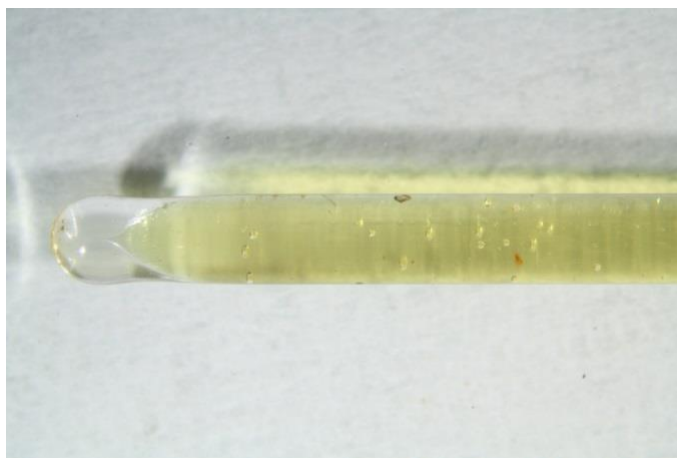


134. kép: A teszthez használt testszín (6.) darabjai

A testszín (6.) mintái se okoztak színváltozást a reagensben, vagyis ez a réteg is negatív növényi gumikra.



135. kép: A reagens a melegítés előtt



136. kép: A reagens színe változatlan a melegítés után

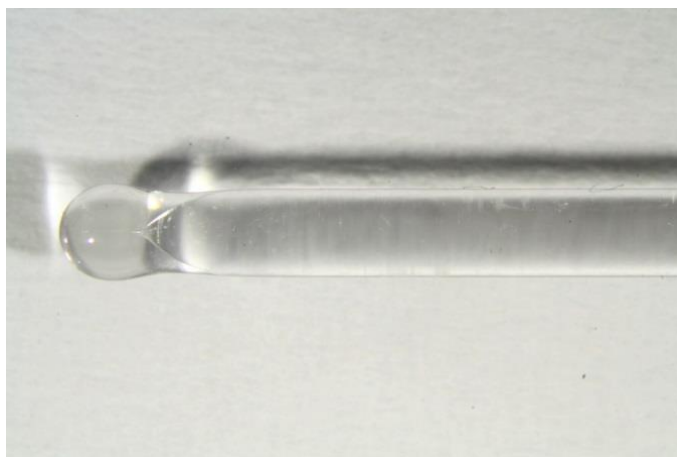
Összefoglalva, mindhárom (alapozó a 4-es mintából, fehér réteg (4.) és testszín (6.)) minta negatív eredményt adott növényi gumikra a Bial's teszttel.

4. Természetes gyanták kimutatása Storch-Morawski teszttel

A természetes gyanta tartalom vizsgálatához a zöld (3.) a testszín (6.) és a vörös (8.) rétegből vettünk mintákat.



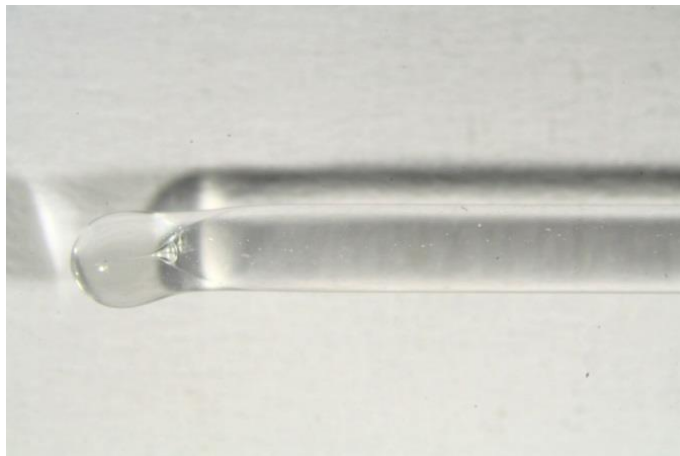
137. kép: A vizsgálatához használt zöld réteg (3.)



138. kép: A teszt negatív eredménye a zöld rétegen



139. kép: A testszín (6.) darabja a teszt előtt



140. kép: Negatív eredmény a testszín rétegén



141. kép: A vörös (8.) rétegből vett minta



142. kép: A vörös réteg negatív eredménye

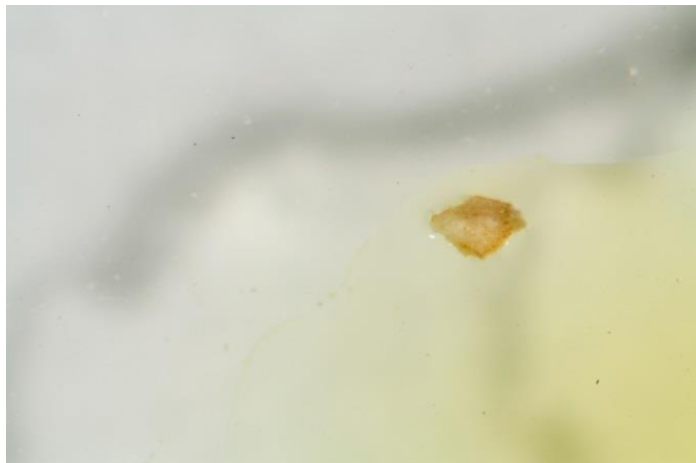
A mintavételre a festményből már a lakk- és átfestések eltávolítása után került sor, így a bevonatként esetleg használt természetes gyanták már nem adhattak hamis eredményt a festett rétegekre (a lakkrétegek hiányát megerősítik a keresztmetszet csiszolatok felvételei). Mindhárom minta negatív lett a Storch-Morawski vizsgálattal természetes gyantára.

5. Keményítő vagy dextróz kimutatása kálium-jodiddal

A keményítő vagy dextróz használatának vizsgálatához az 1. minta alapozójából, a fehér (4.) és a sárga (7.) festékrétegből vettünk mintákat.



143. kép: Az 1. mintából vett alapozó darab a teszt előtt



144. kép: Az alapozó minta a kálium-jodid oldatban nem sötétedett el



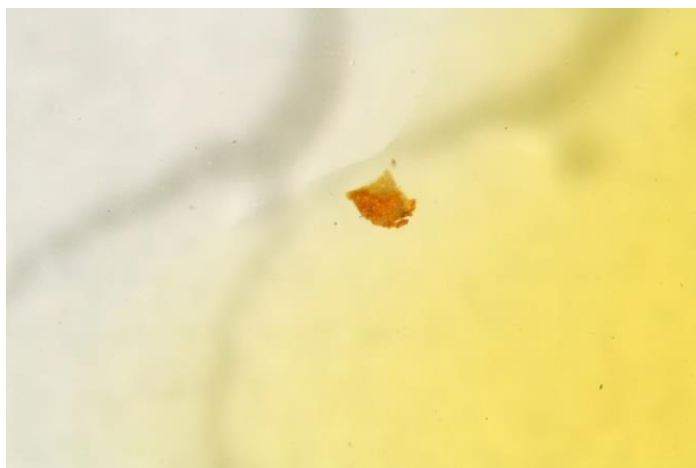
145.kép: A fehér (4.) réteg darabja a vizsgálat előtt



146. kép: A fehér réteg a reagensben nem változott el



147. kép: A sárga (7.) réteg darabja a teszt előtt

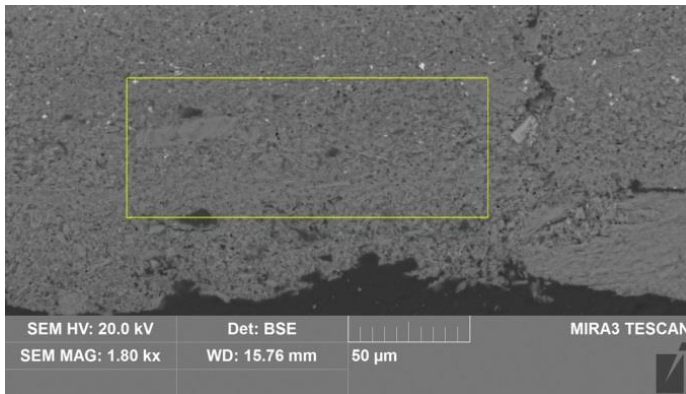


148. kép: A sárga réteg a kálium-jodid oldatban nem sötétedett el

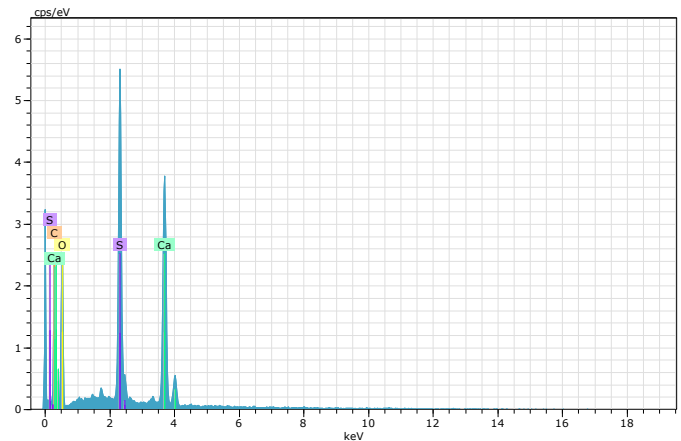
A fehér (4.) minta esetében az a festékrétegen maradt alapozó kismértékben elsötétedett, ez jelentheti, hogy a rétegben keményítő vagy dextróz van. Az alapozó (az 1. mintából) és a sárga (7.) réteg nem változott el, vagyis negatív eredményt adtak keményítőre és dextrózra. Mivel a festményt több alkalommal is javították, restaurálták, elképzelhető, hogy a beavatkozások során ilyen anyagokat is használtak.

IV.1.3. SEM-EDS

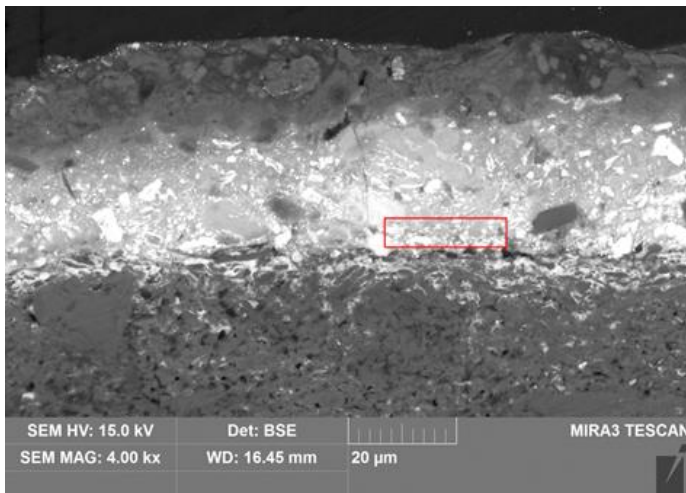
1. minta



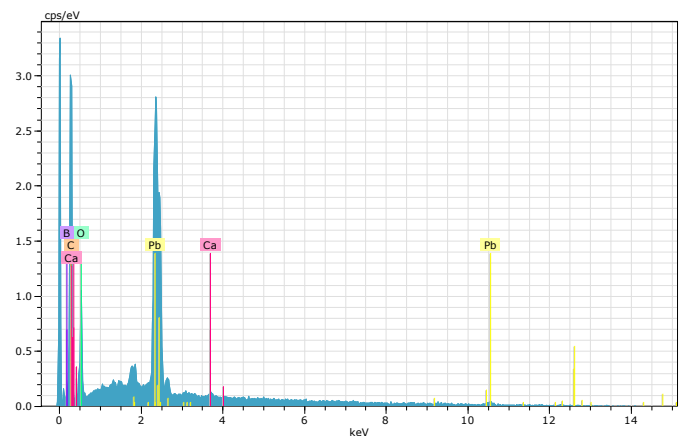
149. kép: Az alapozó mérési helye



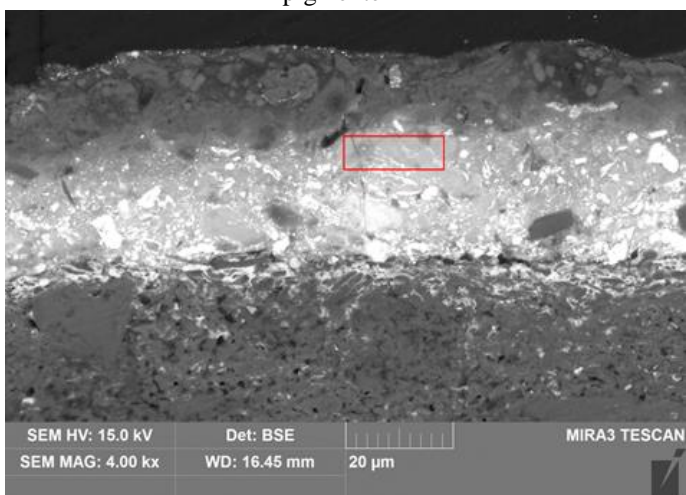
150. kép: Az alapozó nagy mennyiségű kalciumot és kén tartalmaz



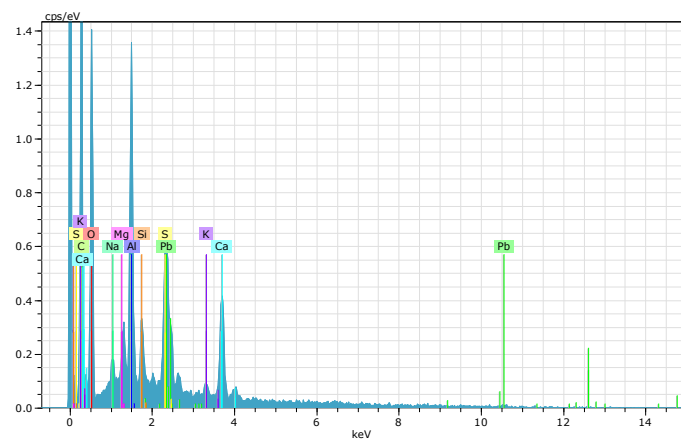
151. kép: Az alsó vörös réteg 1. mérési helye, vörös pigmentek



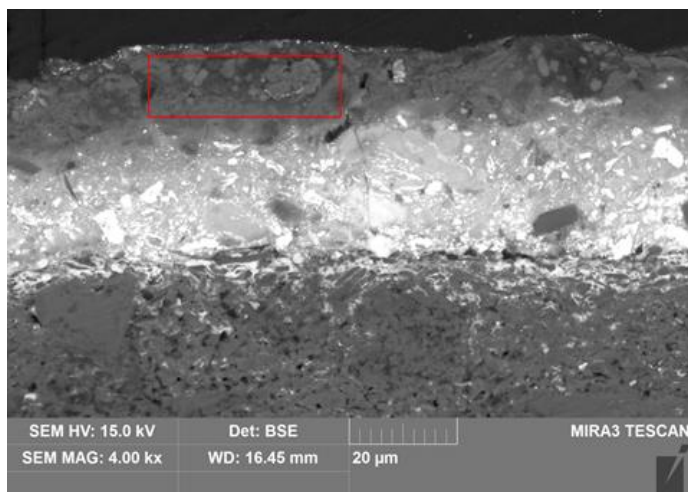
152. kép: A magas ólom tartalom megerősíti, hogy a vörös pigment minium



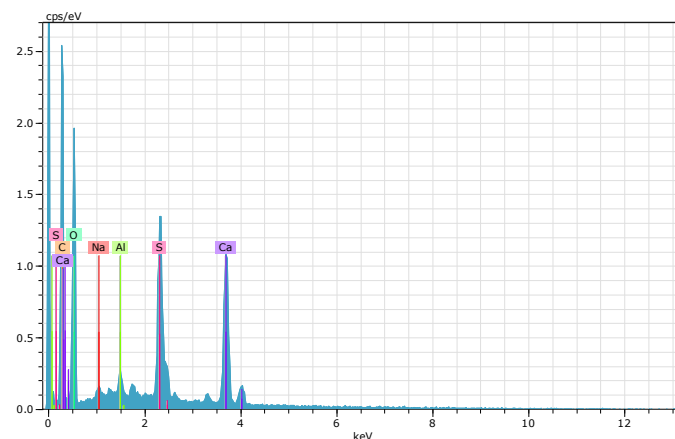
153. kép: Az alsó, vörös réteg 2. mérési helye, fehér pigmentek



154. kép: A fehér rétegben magas a kalcium, kén és ólom tartalom



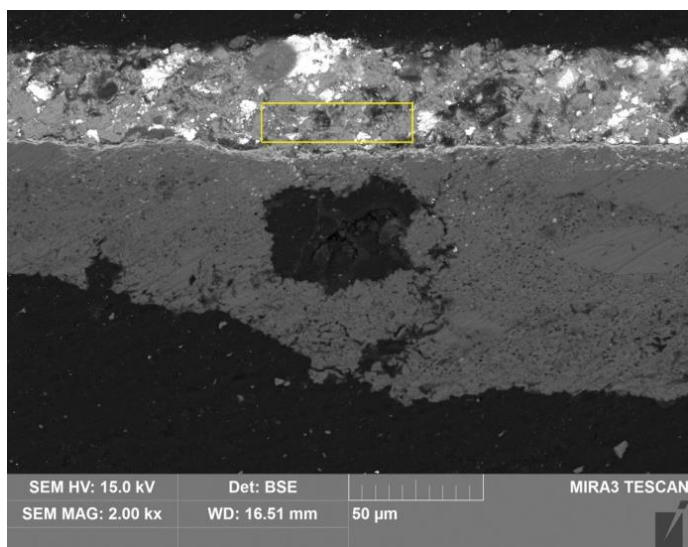
155. kép: A felső vörös lazúr mérési helye, vörös pigmentek



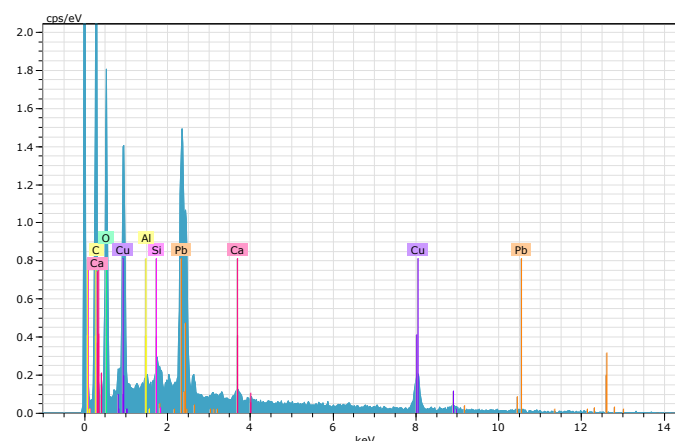
156. kép: A lazúrban a nagy mennyiségű kén és kalcium mellett alumínium is található

Az alapozó töltőanyaga a mérések alapján gipsz. Az 1. minta narancsos árnyalatú pigmentje minium, amire a magas ólom tartalom utal a rétegben. A lazúrban alumínium tartalmú anyag (pl. alumínium-hidroxid) és valószínűleg kalcium-szulfát található, ezek feltehetően a vörös színezék hordozója, töltőanyaga.

2. minta



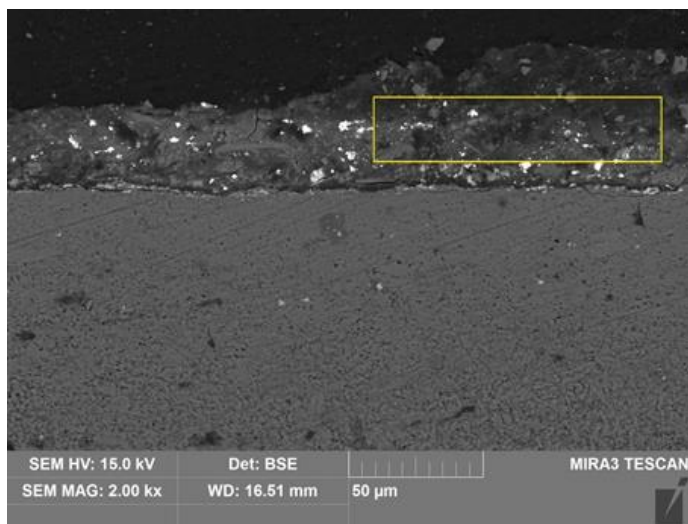
157. kép: A kék réteg mérési helye, kék és fehér pigmentek, vörös kíséőásvánnyal



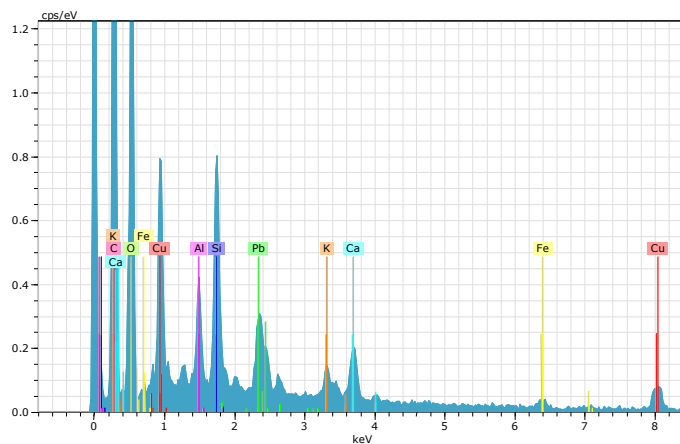
158. kép: A kék rétegben nagy mennyiségű réz és ólom található

A vizsgálat alapján a 2. minta festett rétege azurit és ólomfehér keveréke lehet.

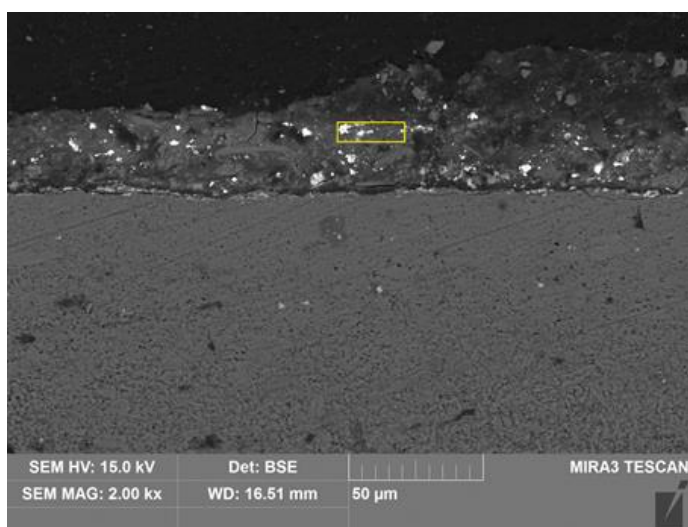
3. minta



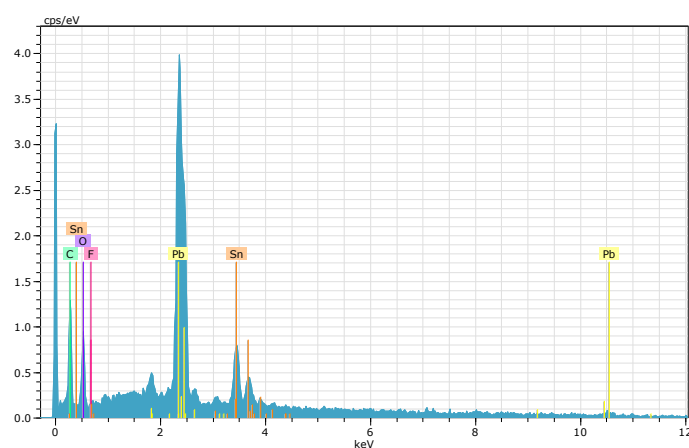
159. kép: A zöld réteg 1. mérési területe



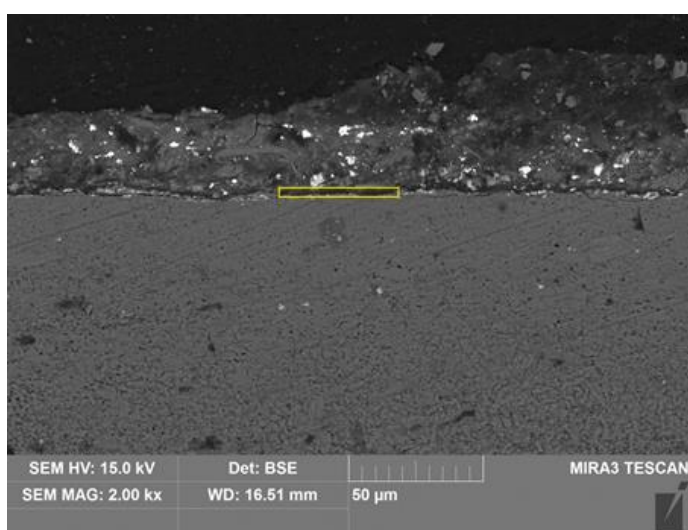
160. kép: A rétegben nagy mennyiségű réz és vas található



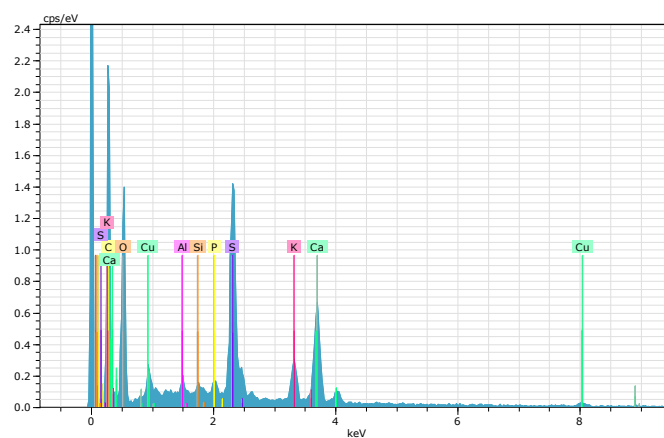
161. kép: A zöld réteg 2. mérési területe



162. kép: Az ólom és ón tartalom valószínűleg a kisebb mennyiségű sárga pigmenthez köthető



163. kép: A zöld réteg alatti szigetelés mérési helye

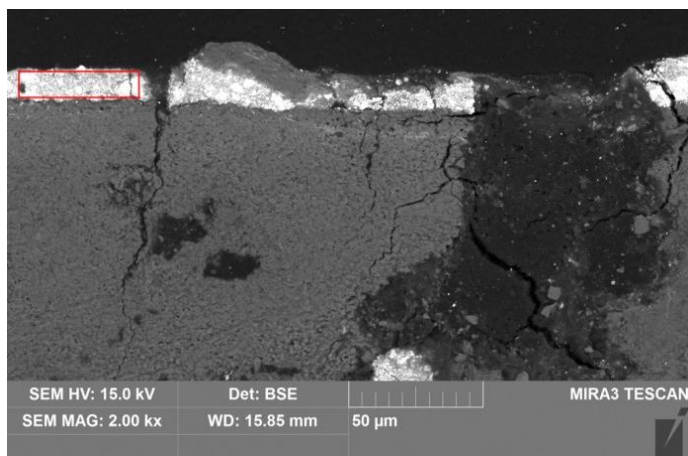


164. kép: A szigetelő rétegben foszfor található

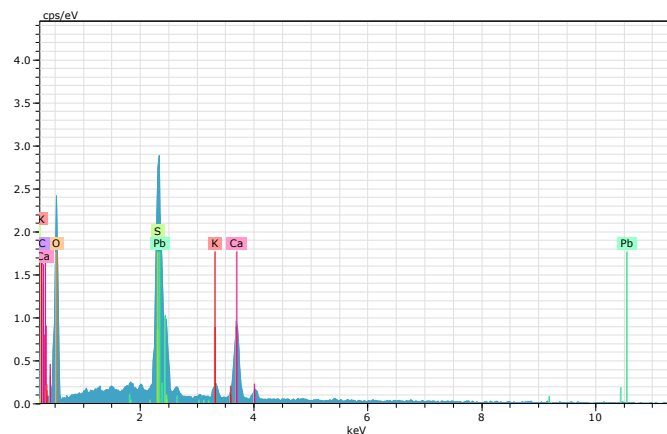
A 3. minta zöld színű keverék réteg, magas réz tartalommal, ami a zöld pigmenthez, és vas tartalommal, ami a zöld és a vörös szemcsékhez is köthető. A rétegben kisebb mennyiségű ólom is előfordul ónnal, ami

ólom-ón sárga használatát is feltételezi. A festékréteg alatti szigetelés foszfort tartalmaz, ez megerősítheti a szerves anyag használatát, illetve a festékrétegben használt fekete színű szemcsék is tartalmazhatják az elemet, amennyiben csontfeketét használt a festő.

A 4. minta



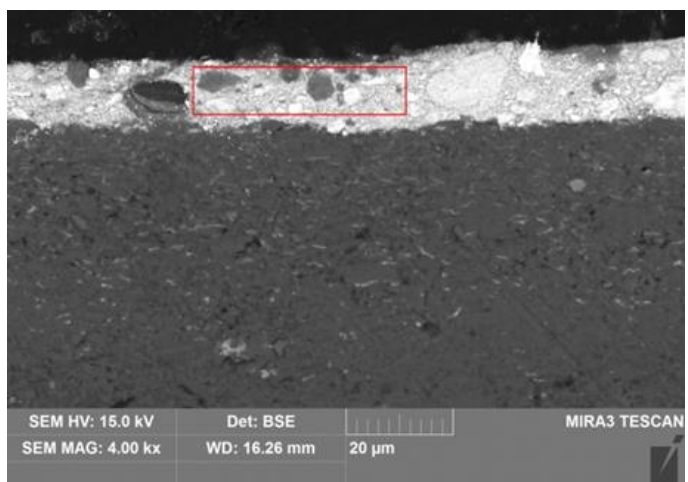
165. kép: A fehér réteg mérési területe



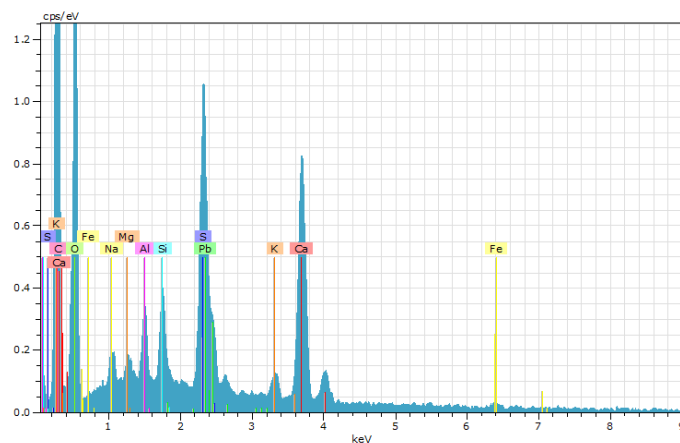
166. kép: A magas ólom tartalom az ólomfehér pigmenthez köthető

A vizsgálat alapján a 4. minta festett rétege ólomfehér tartalmú, kalcium-szulfáttal keverve.

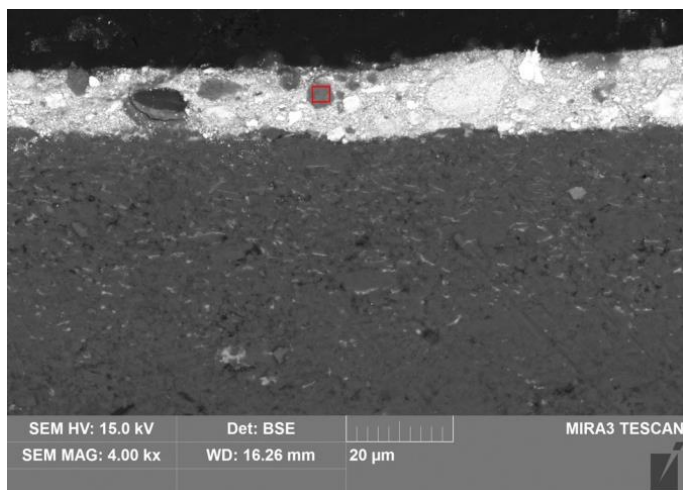
A 6. minta



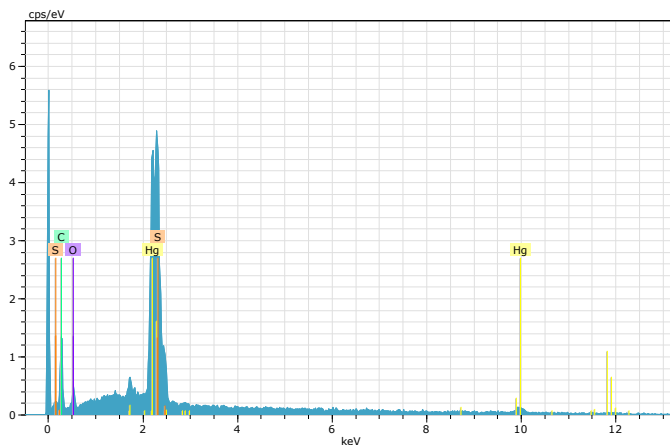
167. kép: A testszín 1. mérési területe



168. kép: A rétegben nagy mennyiségű kalcium, kén és ólom található



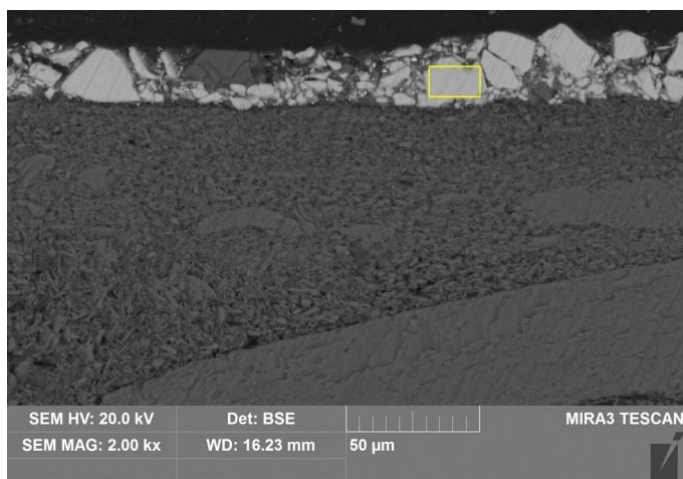
169. kép: A testszínben található vörös szemcse mérési helye



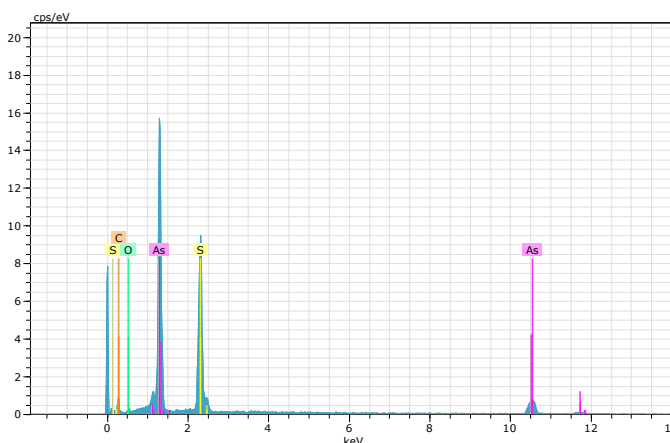
170. kép: A vizsgált vörös színű szemcse kén és higanyt is tartalmaz

A 6. minta a testszín, melynek kialakításához a mérési eredmények szerint ólom fehérét, kalcium-karbonátot és cinóbert is használtak.

A 7. minta



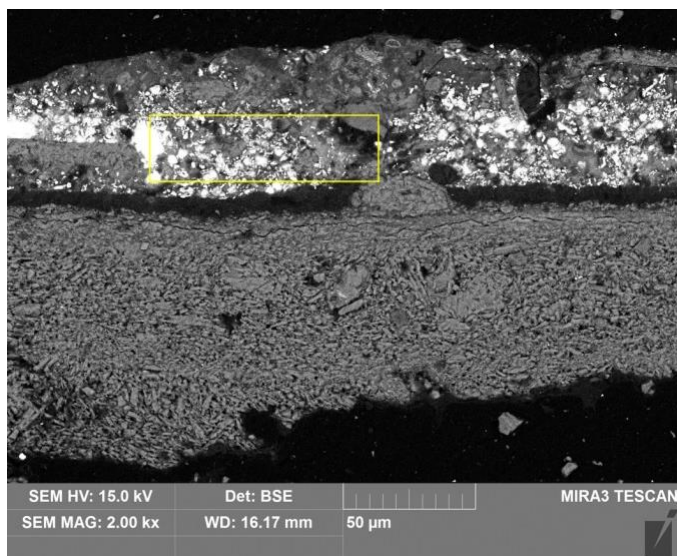
171. kép: A narancssárga réteg egy szemcséjének mérési helye



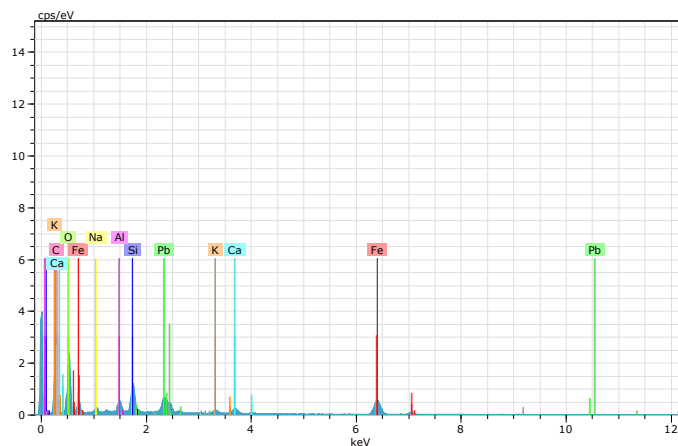
172. kép: A pigment arzén és kén tartalmú

A 7-es minta narancssárgás pigmentjét a műszeres vizsgálat alapján auripigmentként határozták meg, erre az arzén és a kén tartalom arányainak összehasonlításából következtettek (kb. 65% As és 45% S). A realgár és az auripigment kémiaiilag ugyanabból a két elemből áll (arzén és kén), de mennyiségüket tekintve eltérnek egymástól a két pigmentben (realgár: arzén: 70%, kén: 30%, auripigment: arzén: 60%, kén: 40%). Pontosabb eredményeket XRD mérésekkel kaphatnánk a pigmentről, ugyanis a fent említett ásványok mellett további arzén-szulfid változatok is szóba jöhetnek.

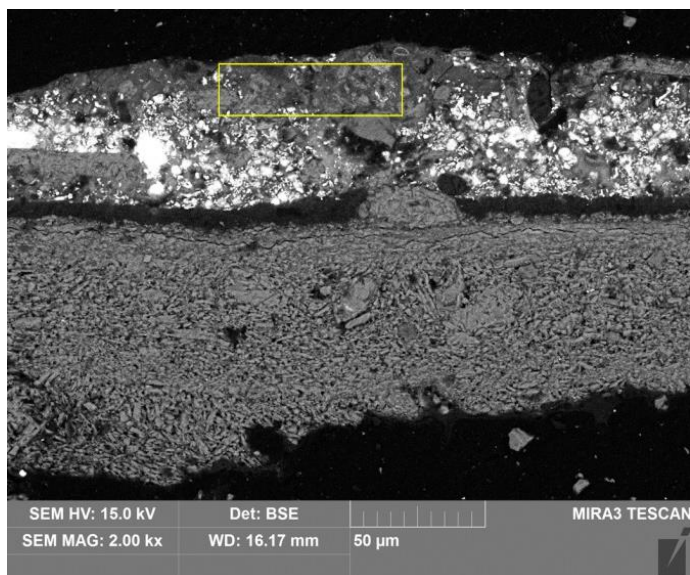
A 8. minta



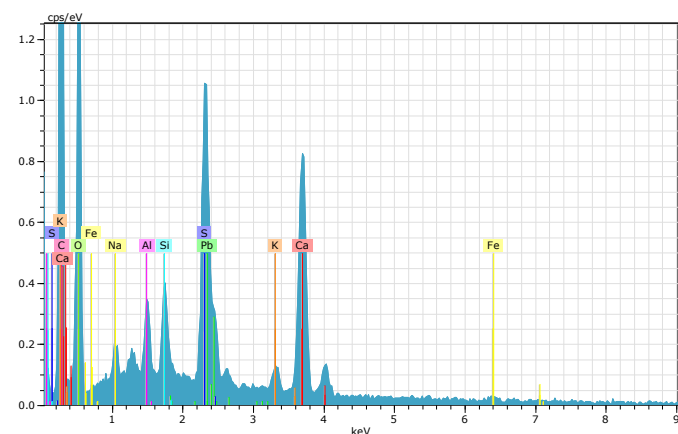
173. kép: Az alsó vörös réteg mérési területe



174. kép: A rétegben magas az ólom és vas tartalom



175. kép: A felső vörös lazúr mérési területe



176. kép: A lazúrban nagy mennyiségű kalcium és kén mellett alumínium is előfordul

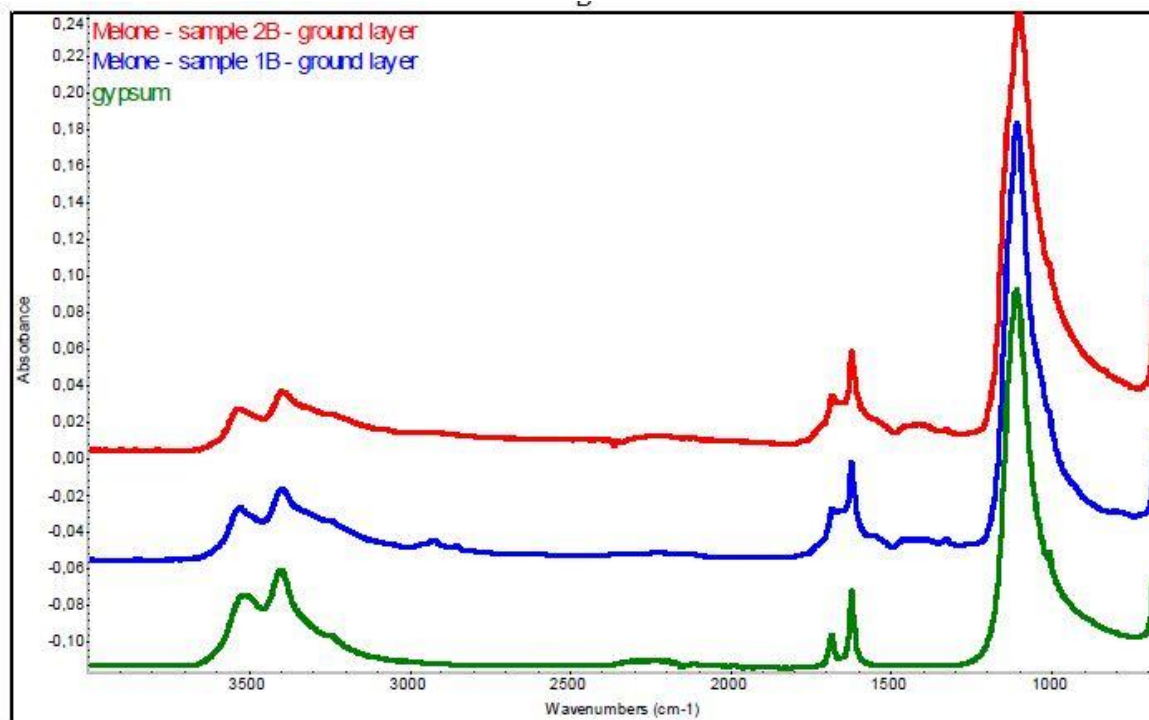
A 8. minta festékrétege vörös okker és ólom tartalmú vörös pigment (mínium) keveréke. A mérések nem állapítottak meg higany tartalmat, így nem támasztották alá a mikroszkópos vizsgálatok szerinti cinóber tartalmat. A 8-as minta lazúráját kalcium-szulfát, valamint az alumínium és szilícium alkotják, amelyek a színezék szervesetlen hordozói vagy töltőanyagai lehetnek.

IV.1.4. FTIR mérések kötőanyag meghatározásra

Az FTIR méréseket Ivana Kopecká és Eva Svobodová, a prágai Narodní Techniké Muzeum (Nemzeti Technikai Múzeum) munkatársai végezték. A vizsgálat hivatalos, angol nyelven készített összefoglalója a dolgozat mellékletében található

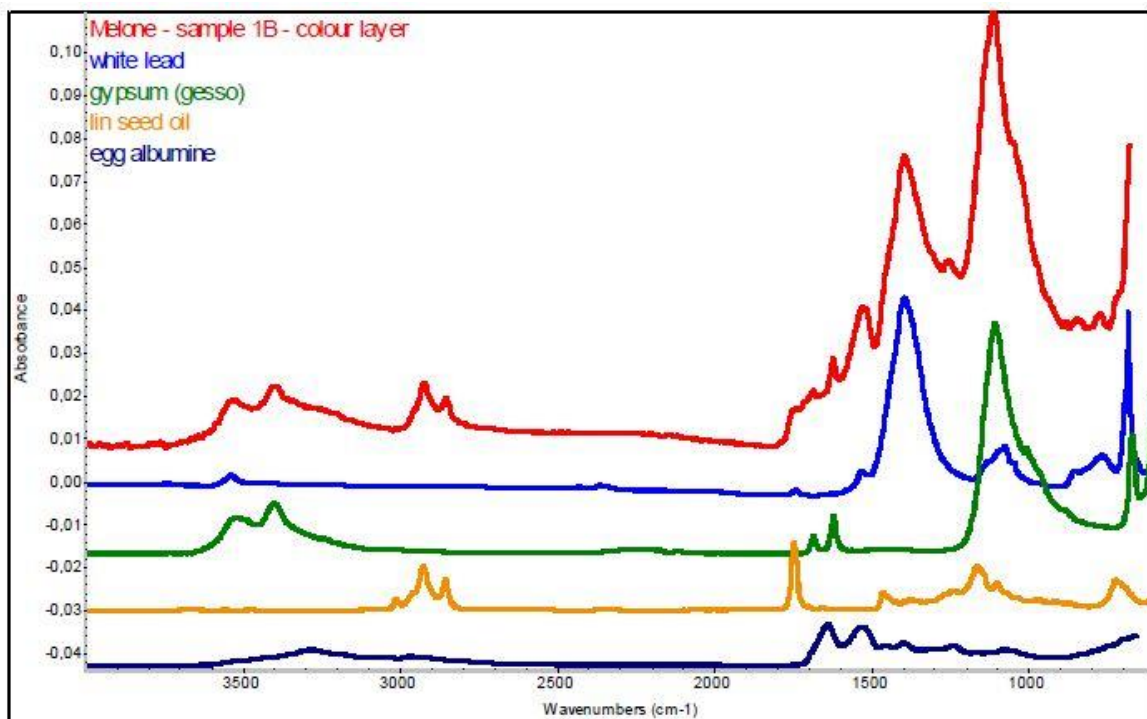
A festményből 3 minta (1. 2. és 3.) infravörös spektroszkópiás mérésre került sor.

1. minta



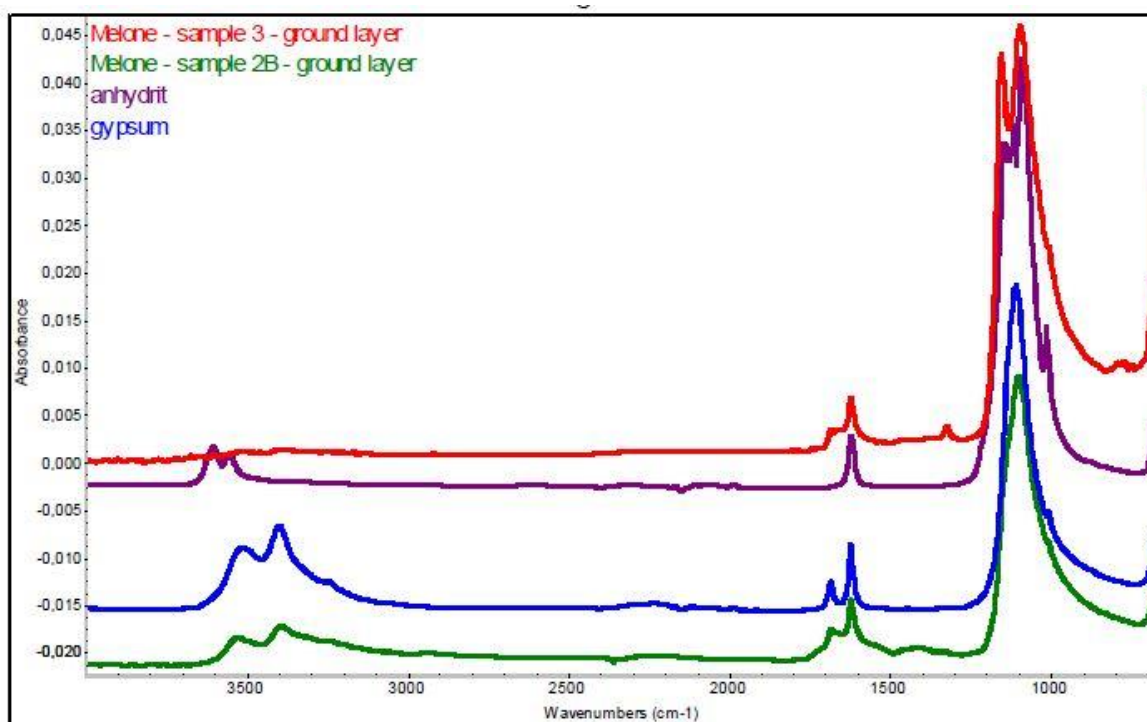
177. kép: Az 1. és 2. minta alapozóinak spektruma

A minták alapozó rétege gipsz, amelynek a csúcsai kitakarják az esetleges fehérje kötőanyag sávjait a spektrumokon. (Olajra jellemző csúcs nem látható a felvételen.) A vizsgálatokat készítő szakemberek ezért a kötőanyagra nem tudtak következtetni.



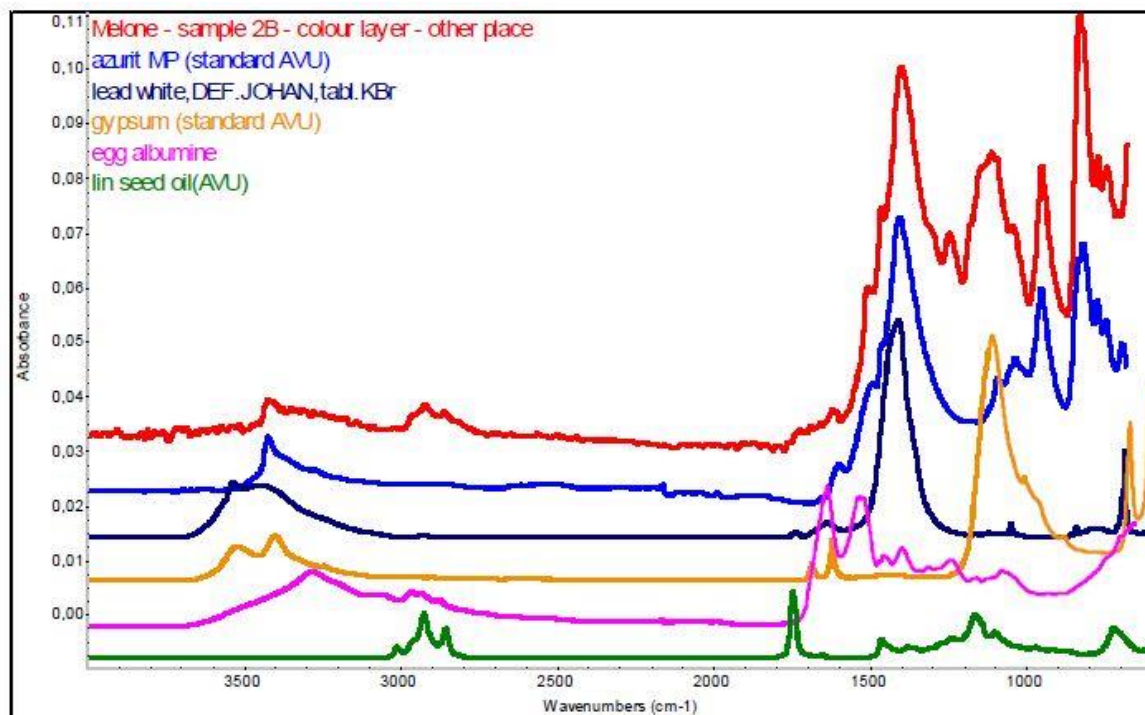
178. kép: Az 1. minta vörös festékrétegének spektruma a feltételezett összetevők standard spektrumaival összevetve
Az 1. minta vörös festékrétegének kötőanyagaként lenolajat és tojásfehérjét valószínűsítettek.

2. minta



179. kép: A 2. és 3. minta alapozóinak spektruma a gipsz és anhidrit standard spektrumokkal összehasonlítva

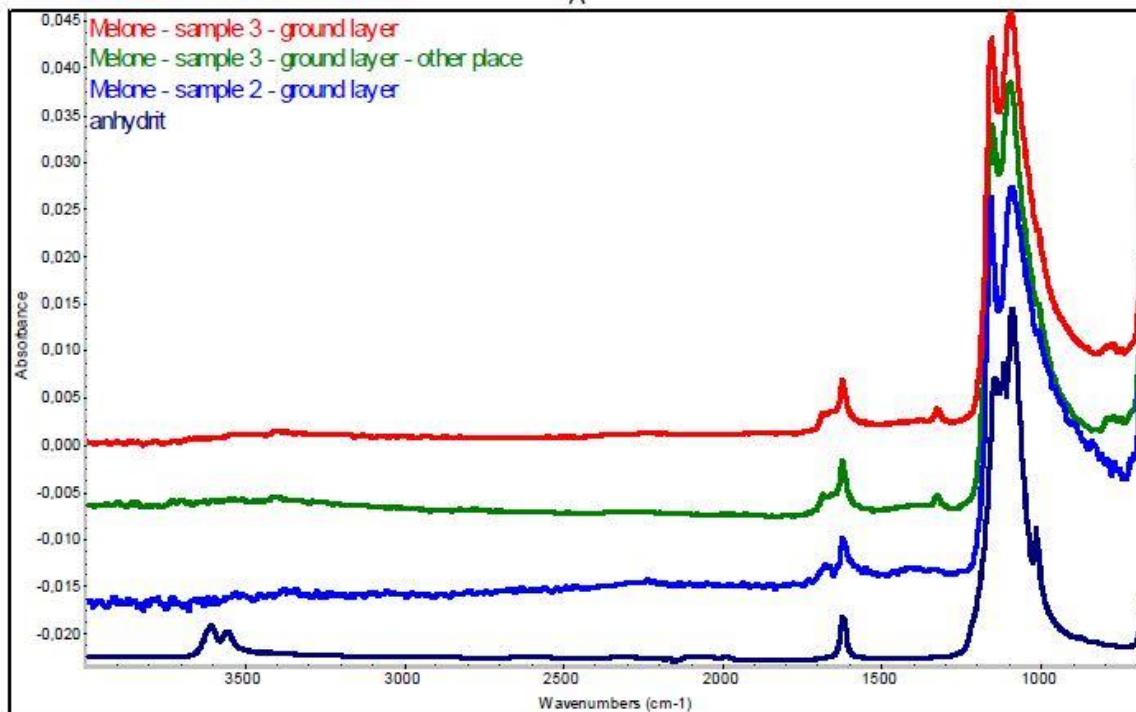
A 2. és 3. minta alapozóiról készített spektrumokon szintén csak a gipsz és anhidrit sávjai jelennek meg, az átfedések miatt a szerves összetevő nem meghatározható.



180. kép: A 2. minta kék festékrétegének spektruma a feltételezett összetevők standard spektrumaival összevetve

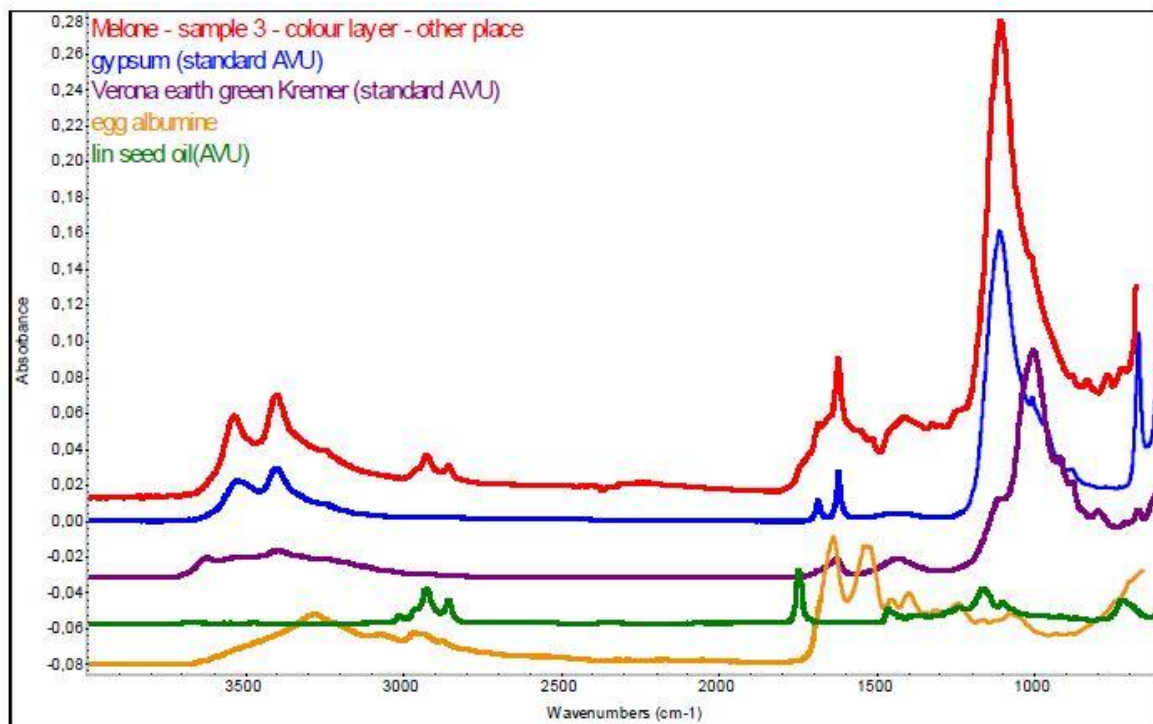
A kék festékrétegben az azuritot és ólomfehéren kívül szintén száradó olajat és tojás fehérjét valószínűsítettek.

3. minta



181. kép: A 2. és 3. minta alapozóinak spektruma az anhidrit standard spektrummal összevetve

A 3. minta alapozójáról készített spektrumon szintén csak az anhidrithez és gipszhez köthető csúcsok láthatóak, amelyek átfedésben vannak a kötőanyag csúcsokkal.



182. kép: A 3. minta zöld festékrétegének spektruma a feltételezett összetevők standard spektrumaival összevetve

A spektrumok alapján a zöld festékréteg is olaj és fehérje kötőanyagú.

Az FTIR vizsgálatok alapján a táblakép alapozórétegének kötőanyaga nem volt meghatározható, a szervetlen összetevő (gipsz) csúcsainak átfedése miatt. A festékrétegek kötőanyagát olaj és kis mennyiségű fehérje keverékeként valószínűsítik.

IV.1.5. A mintákon végzett vizsgálatok összegzése a kötőanyag meghatározás szempontjából

	alapozó	1B világos vörös, vörös lazúrral	2B kék	3B zöld	4A fehér	6 testszín	7A sárga	8A vörös, vörös lazúrral
<i>fény mikrosz- kópos vizsgálat</i>	gipsz	mínium, ólomfehér + szerves színezék	azurit	réz tartalmú zöld sárga és vörös szem- csékkal keverve	ólomfehér és kalcium- karbonát	ólomfehér sárga és vörös okker, cinóber (?) szem- csékkal keverve	realgár (izotróp típus?)	cinóber (?), vasoxid vörös + szerves színezék
<i>mikrokémi- ai tesztek szervetlen összete- vőkre</i>	negatív sósav teszt (gipsz)	pozitív kén- hidrogén teszt (ólom)		pozitív kén- hidrogén teszt (réz)	pozitív kén- hidrogén teszt (ólom)			pozitív kálium- ferro-cianid teszt (vas)
<i>cseppen- tési tesztek</i>								
<i>fehérje</i>	pozitív		negatív	negatív	negatív	negatív		pozitív
<i>olaj</i>	pozitív		pozitív	pozitív (?)	pozitív	pozitív (?)		pozitív (?)
<i>keményítő</i>	negatív				negatív		negatív	
<i>gyanta</i>				negatív		negatív		negatív
<i>gumi</i>	negatív				negatív	negatív		
<i>Sem-EDS</i>	kalcium- szulfát	mínium és kalcium- karbonát és/vagy kalcium- szulfát	azurit ólom- fehérrel keverve	réz és vas tartalmú pigmen- tek, ólom- ón sárga (?)	ólom- fehér, kalcium- karbonát	ólom-fehér és vörös okker, sárga okker (?) cinóber	auripig- ment (az As and S közötti arányok miatt)	vörös okker és mínium
<i>FTIR</i>	nem meghatá- rozható	olaj és fehérje	olaj és fehérje	olaj és fehérje				

1. táblázat: A mintákon végzett tesztek eredményeinek összegzése

Az alapozóból készített szemcsepreparátum alapján a töltőanyag kalcium-szulfát, a szervetlen összetevőre végzett mikrokémiai teszt (savas megcseppentés) ezt megerősítette. A rétegen végzett cseppentési tesztek közül negatív eredményt kaptunk növényi gumira, gyantára és keményítőre. A Schiff-PAS reakció egyértelműen pozitív lett fehérjére, az olaj tartalomra végzett vizsgálat szintén. A SEM-EDS mérés szintén igazolta a réteg gipsz tartalmát. FTIR eljárással a vizsgálatot végző szakemberek nem tudtak a kötőanyagra következtetni, ugyanis az itt is kimutatott gipsz átfedő sávjai kitakarták az esetleges fehérje csúcsokat. (A száradó olajra jellemző sáv nem látható a spektrumon.) Tehát az alapozó gipszes töltőanyag, és fehérje, esetleg olajtartalmú kötőanyag keveréke.

A pigmentek fénymikroszkópos és szervetlen összetevőkre végzett mikrokémiai vizsgálata nagyrészt megegyezett a SEM-EDS-szel végzett mérésekkel (kivétel a 7-es minta). Ezek alapján, az 1-es mintán míniumot és ólomfehéret, a lazúrban szerves színezéket használt a festő. A színezék hordozójaként, töltőanyagaként kalcium-szulfátot vagy alumínium tartalmú anyagot használtak. A 2-es minta festékrétege azurit és ólomfehér keveréke. A 3-as minta réz vagy vas tartalmú zöldet tartalmaz, a mérések szerint kis mennyiségű ólom-ón sárgával keverve. A 4-es minta ólomfehér tartalmú, a 6-os szintén, vörös és sárga

okkerekkel és kis mennyiségű cinóberrel. A 7-es mintán a narancssárga pigmentet mikroszkópos jellemzői alapján arzén-szulfidnak (leginkább realgárként) azonosítottuk, a műszeres mérés szerint is arzén tartalmú pigment alkothatja a réteget, de pontos meghatározása csak kristályszerkezet alapján lehetséges (XRD). A 8-as mintában a műszeres mérések szerint minium és vörös okker keveréke alkotja az alsó réteget, ezen is szerves lazúr látható. A színezék hordozója ebben az esetben is kalcium-szulfát vagy alumínium tartalmú anyag. A mikroszkópos szemcsepreparátumban látható cinóber szemcsék higany tartalmát műszeresen nem tudtuk kimutatni, de ezt okozhatja az egyes csúcsok átfedése a spektrumon. A rétegben ólom szappanok is előfordulnak, ami eleve utalhat olaj (vagy olaj tartalmú) kötőanyagra. A festett rétegek kötőanyagának meghatározására végzett cseppentéses tesztek alapján is száradó olaj található a rétegekben, fehérje pedig nem, vagy csak nagyon kis mennyiségű. A kötőanyag további típusaira végzett cseppentéses tesztek (Storch-Morawski teszt természetes gyantákra, kálium-jodidos teszt keményítőre, Bial's teszt növényi gumikra) negatívak lettek. Az FTIR vizsgálatok szerint a festékrétegek pedig biztosan tartalmazznak száradó olajat, valószínűleg kis mennyiségű fehérjével (tojás fehérjével) keverve.

A műtárgyon végzett vizsgálatok jól illusztrálják, hogy az egyes technikák kiegészítik egymást. Az alapozó kötőanyagára a műszeres mérések (FTIR) alapján nem tudunk következtetni, viszont a cseppentéses tesztek fehérjét és olajat mutattak, illetve a cseppentéses tesztek negatív eredményei (gyanta, gumi, keményítő) is alátámasztják ezt.

II.2 Az 51.638 leltári számú római szarkofág (Szépművészeti Múzeum, Egyiptomi osztály)



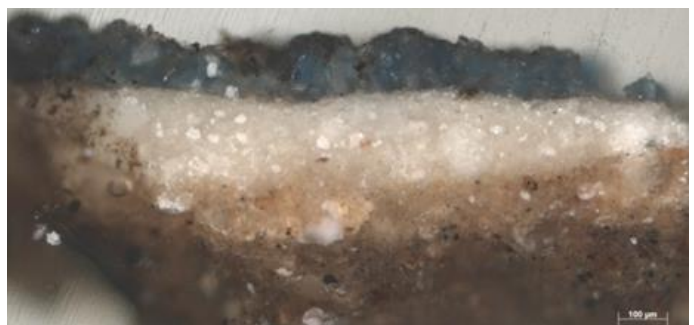
183. kép: Mintavételi helyek a szarkofágból¹⁷

IV.2.1. Fénymikroszkópos vizsgálatok és mikrokémiai tesztek szervesetlen összetevőkre

3A minta

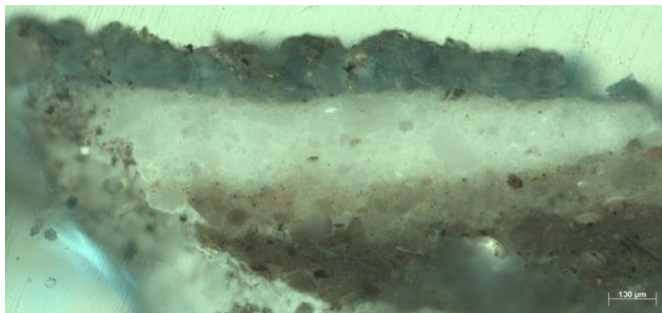
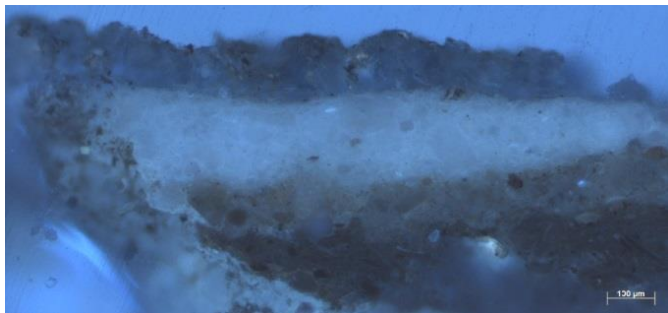


184. kép: A mintavételi hely fotója

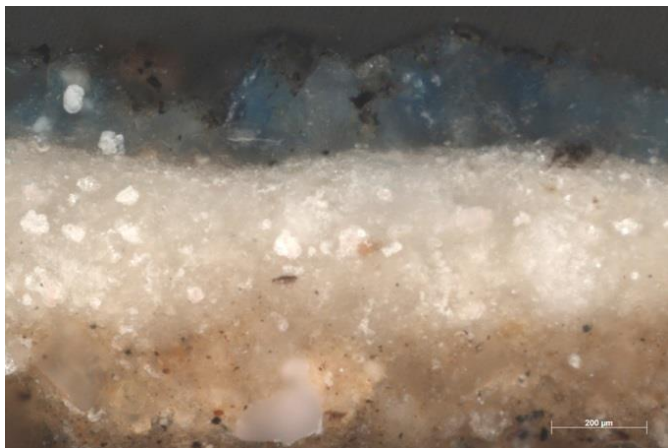


185. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 10x-es objektív

¹⁷ Az ábrán csak a dolgozatban vizsgált minták helye van feltüntetve

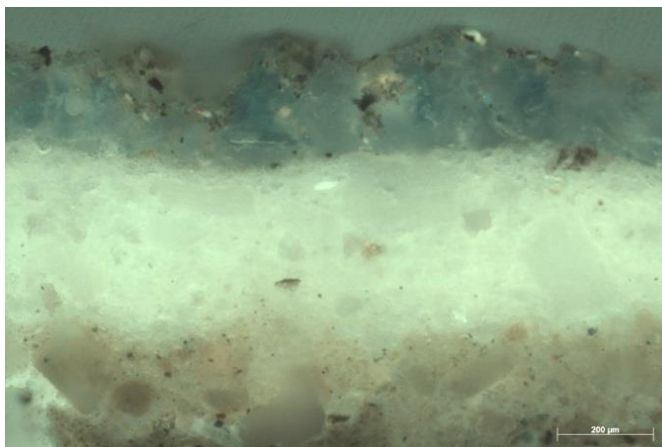
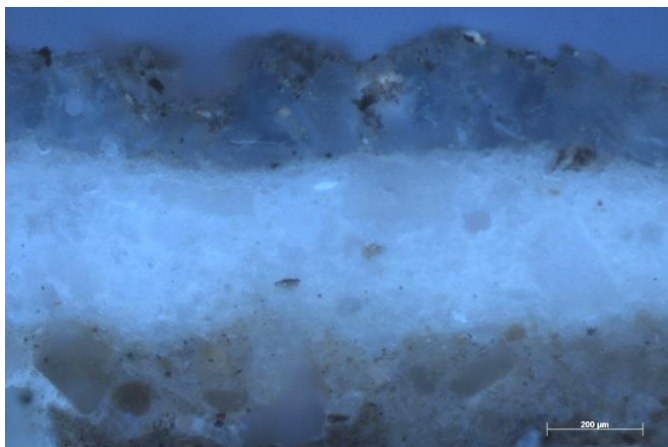


186. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 10x-es objektív

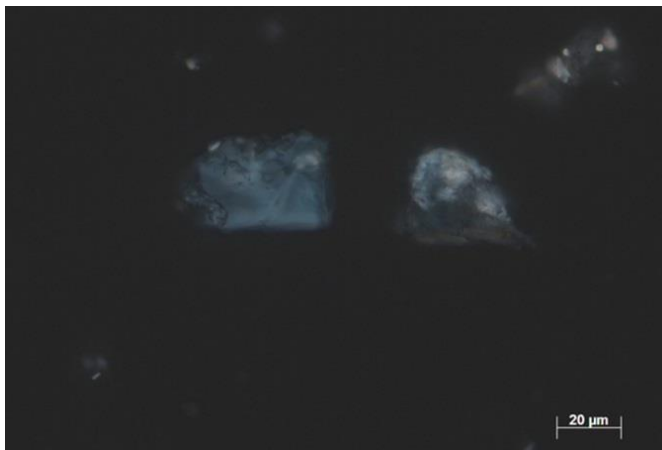
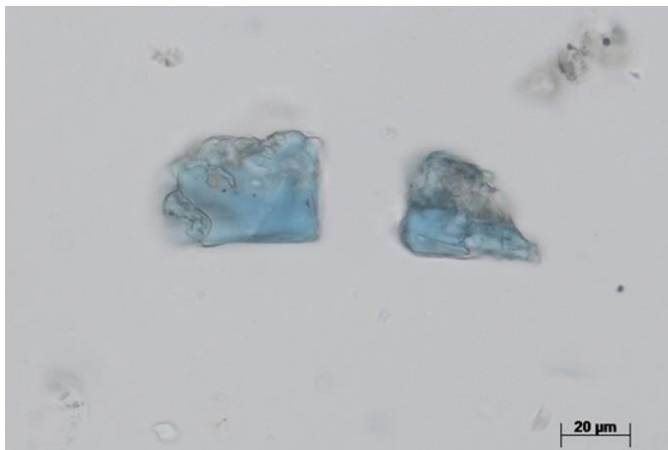


187. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív

A 3-as mintát a szarkofág talprészéről, a cipő kék pereméből vettük. A keresztmetszeten négy réteget különböztethetünk meg. A legalsó sötétbarna, áttetsző, vörös és fekete szemcsék keveréke, barnás kötőanyaggal. Felette hasonló összetételű, de világosabb barna réteg látható. A két réteg a szarkofág „alapjául” szolgáló agyagos-homokos keverék lehet, amiből kialakították a koporsóformát. Ezen egy fehér alapozás, majd durva kék szemcsékből álló festékréteg található.



188. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív



189. kép: Kettőstörő kék szemcsék, párhuzamos (balra) és keresztezett (jobbra) analízator - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív

A nagyméretű, akár 40 mikronos, hasábos, szilánkos kék szemcsékből álló pigment mikroszkópos jellemzői alapján valószínűleg egyiptomi kék.

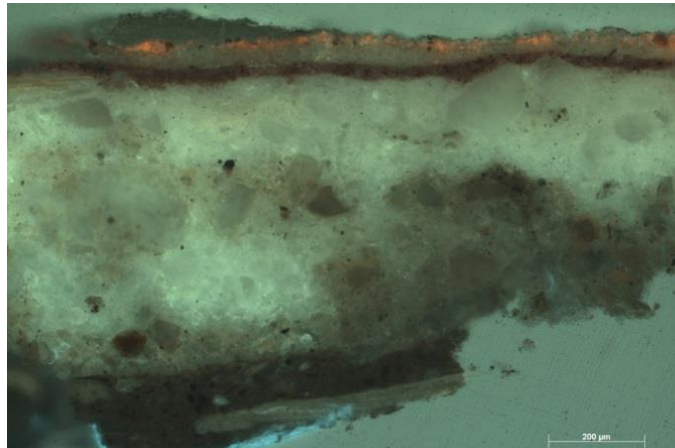
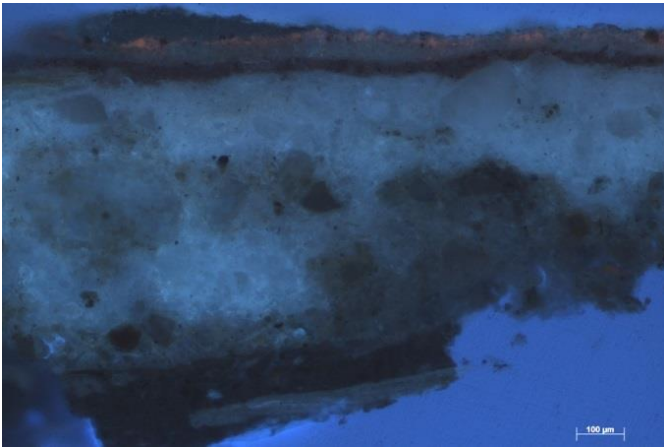
10. minta



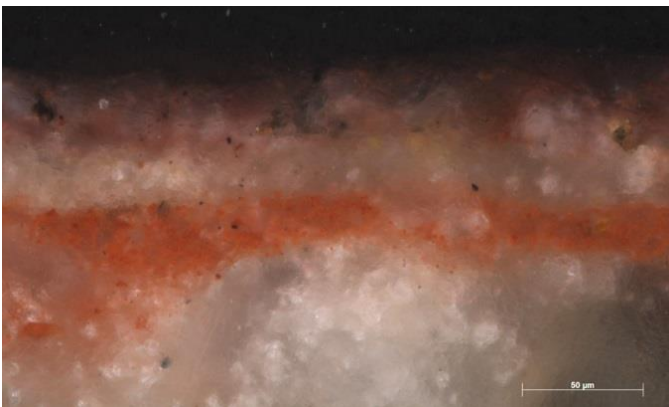
190. kép: A mintavételi hely fotója



191. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 10x-es objektív

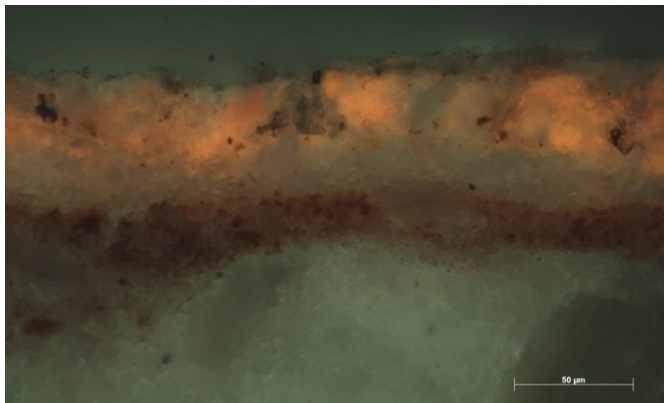
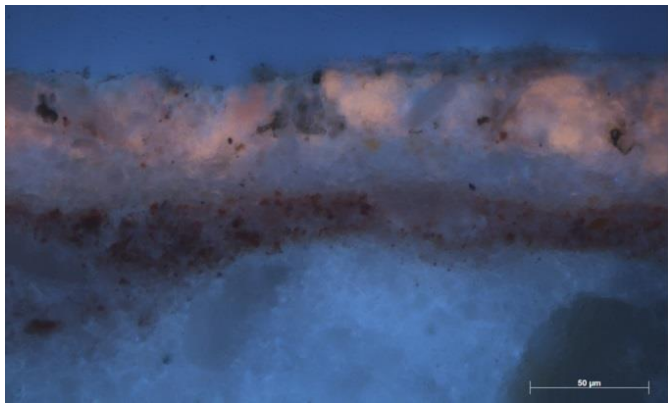


192. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 10x-es objektív

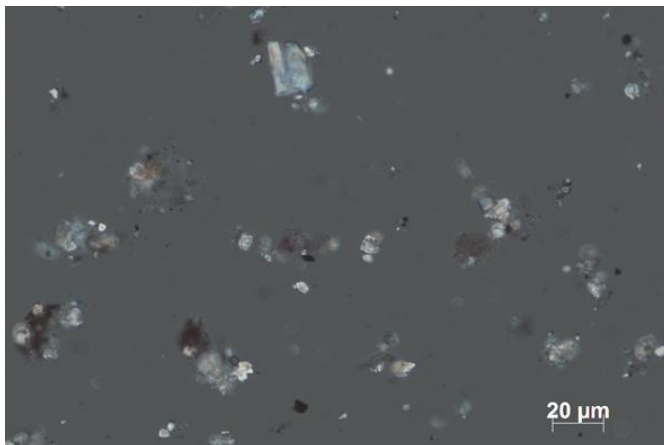
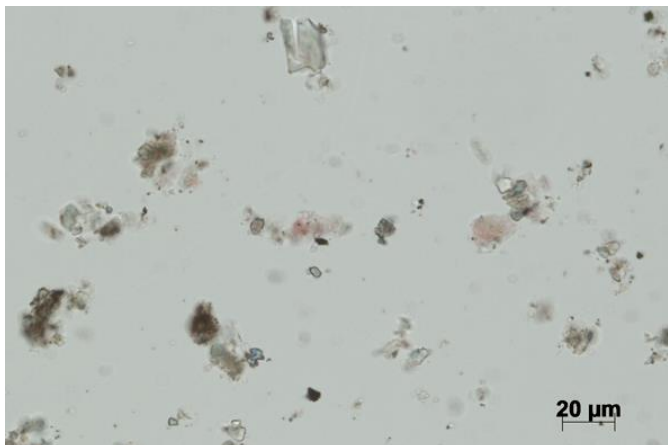


193. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív

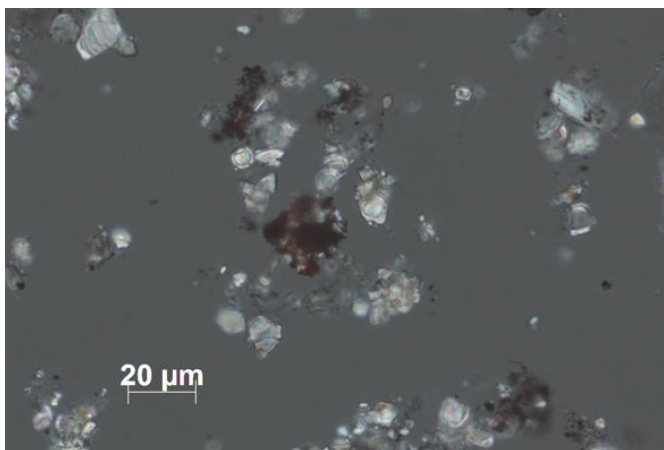
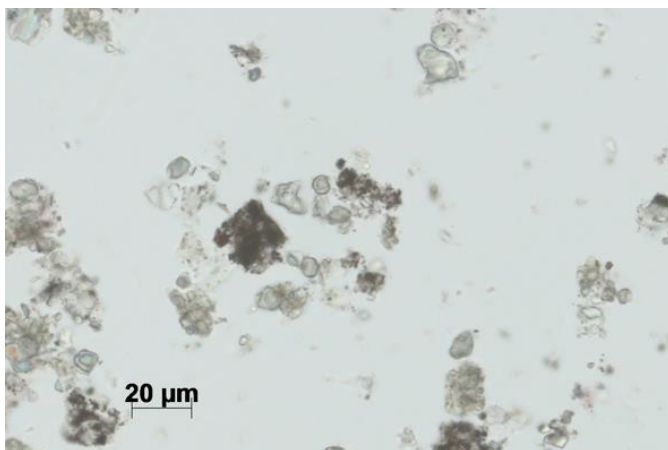
A 10-es mintát a figura bal fülének vörös pereméről vettük. Ezen a keresztmetszeten is látható a két alsó, barna réteg, felette pedig a fehér alapozás. Felette három további réteg található: alul egy aprószemcsés, élénkvörös festés, középen egy áttetsző szemcsékből álló, legfelül pedig egy rózsaszínes árnyalatú réteg. A legfelső réteg UV és BV gerjesztésben rózsaszínen lumineszkál.



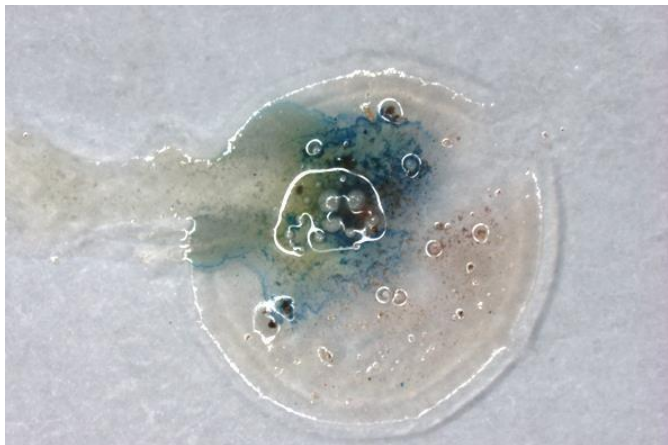
194. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív



195. kép: Áttetsző és halvány rózsaszín szemcsék, párhuzamos (balra) és részben keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív



196. kép: Áttetsző és sötétvörös szemcsék, párhuzamos (balra) és részben keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív



197. kép: A kék csapadék vastartalmat jelez a vörös rétegben

A festett rétegekből készített szemcsepreparátumban áttetsző, vörös és színezékszerű, halvány rózsaszín szemcsék láthatóak. Mikroszkópos jellemzői alapján a sötétebb színű pigment vas-oxid vörös, ezt a mikrokémiai teszt is alátámasztotta, amit a vastartalom kimutatására végeztünk. A rózsaszín pigment megjelenése és tulajdonságai szerint szervesen hordozóra lecsapatott szerves színezék lehet.

12. minta

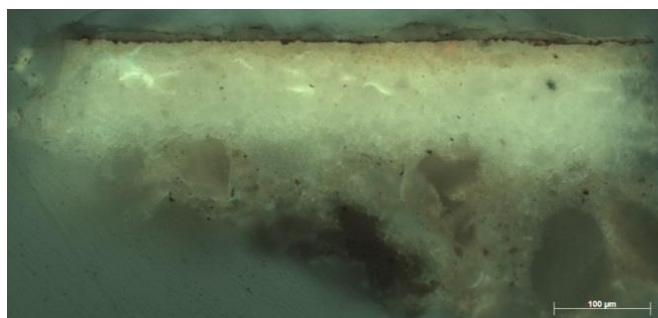
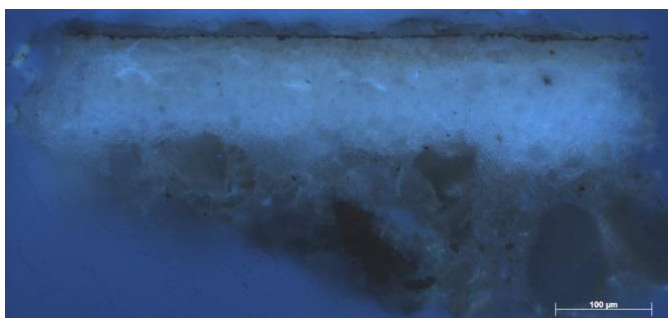


198. kép: A mintavételi hely fotója

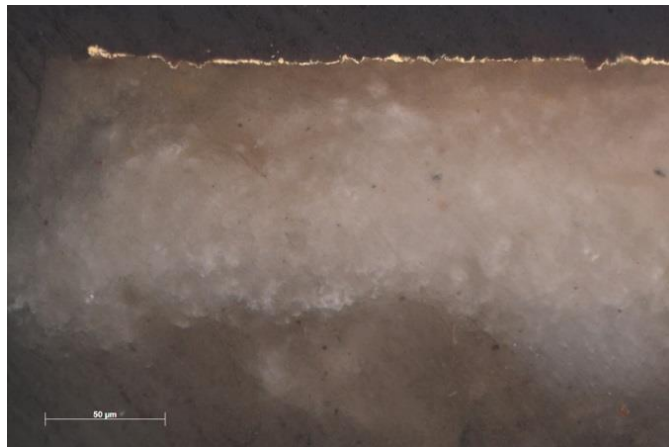
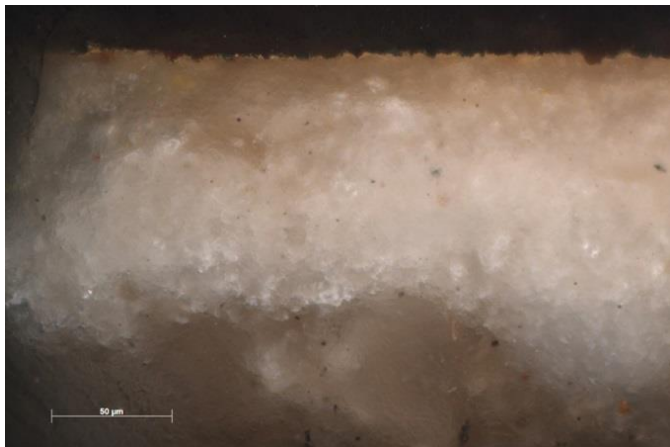


199. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív

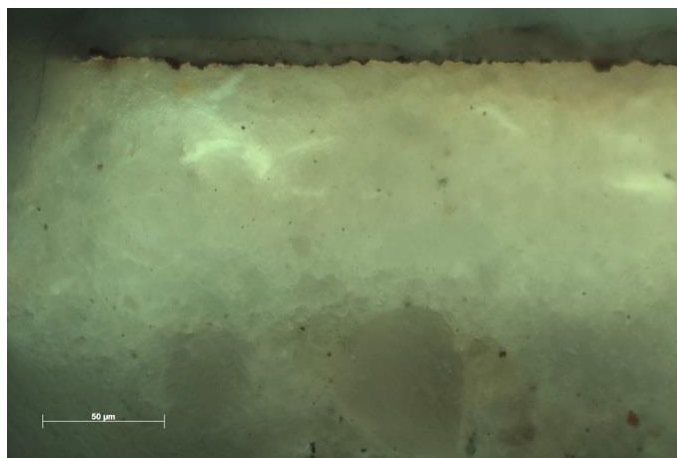
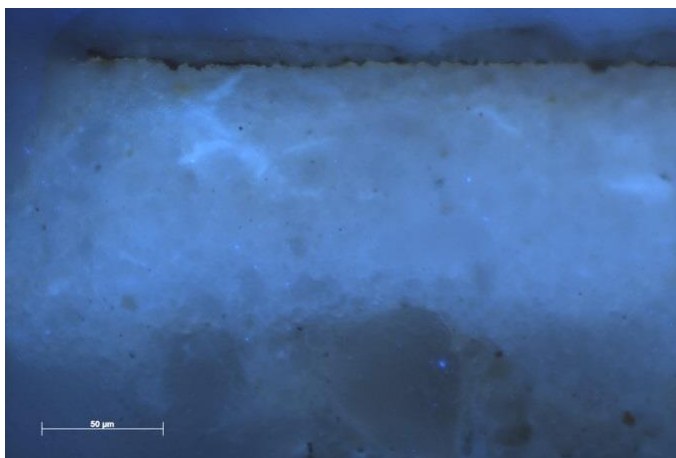
A 12-es mintát a figura fémréteggel bevont maszkjának bal oldaláról, a bal fül és a szemöldök közül vettük. A keresztmetszeten legalul a világosabb barna keverék réteg látható, rajta a homogén fehér alapozás. A fémet közvetlenül az alapozásra vitték fel, a fehér réteg felső része sötétebb, transzparens, valószínűleg a ragasztóanyag miatt.



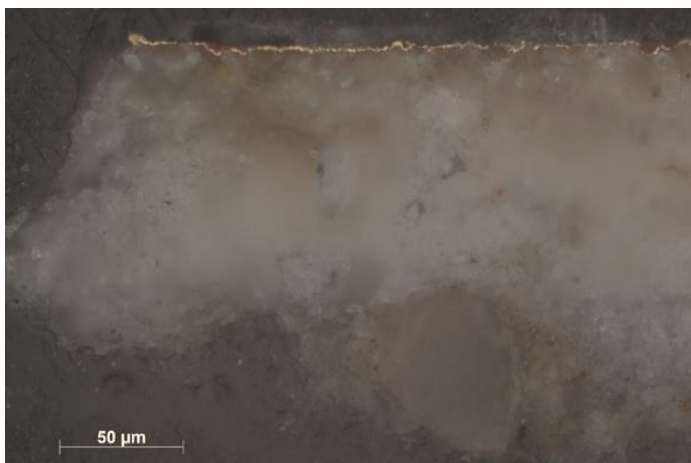
200. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív



201. kép: A minta képe párhuzamos (balra) és részben keresztezett (jobbra) analízátor - polarizátor állásban, normál megvilágítás, 50x-es objektív



202. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív



A fémréteg vékony, néhány mikronos vastagságú, UV és BV gerjesztésben sötétben jelentkezik, részben keresztezett analízátor-polarizátor állásnál reflektál. A réteg egybefüggő, nem szemcsés, tehát fóliáról van szó. Kén-hidrogén gáz hatására nem sötétedett el, vagyis valószínűleg nem réz és ezüst ötvözet, ezek alapján arany.

203. kép: Kén-hidrogén hatására a fémfólia nem sötétedett el

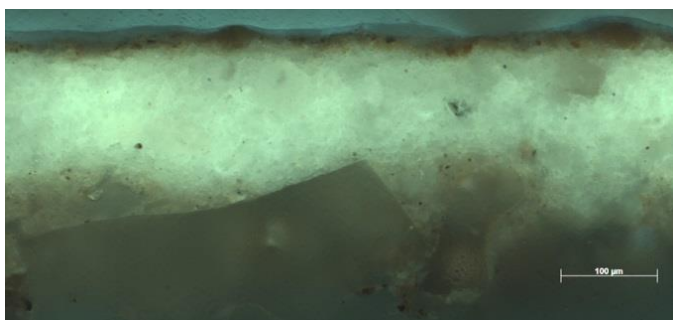
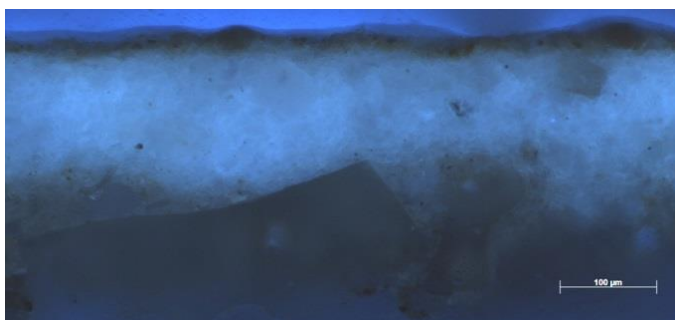
14. minta



204. kép: A mintavételi hely fotója



205. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív

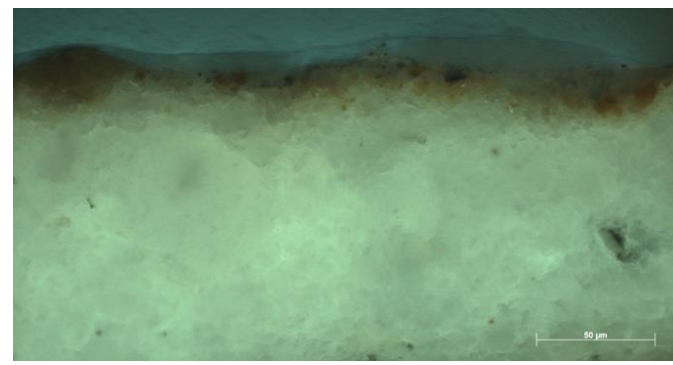
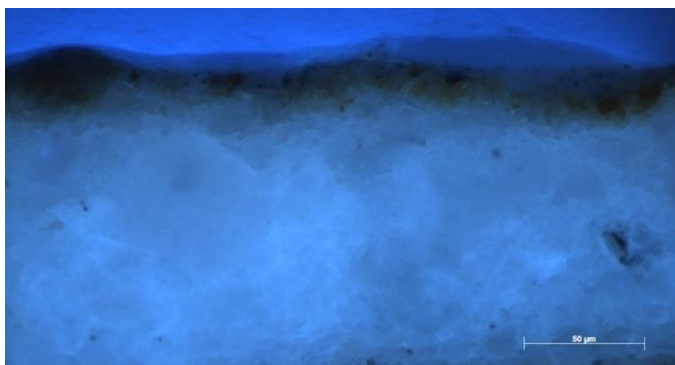


206.kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív

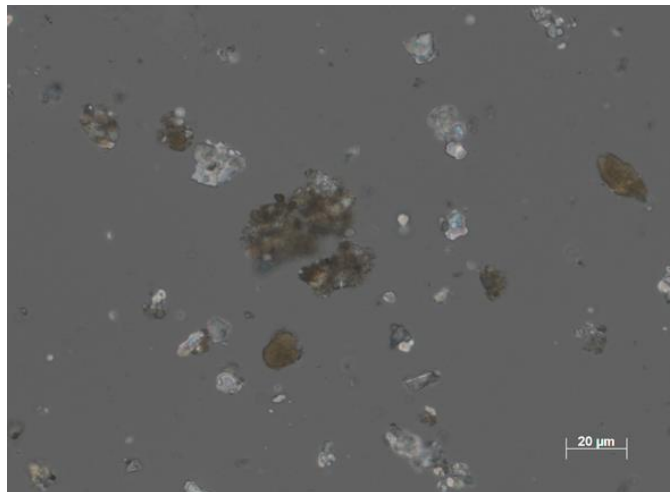
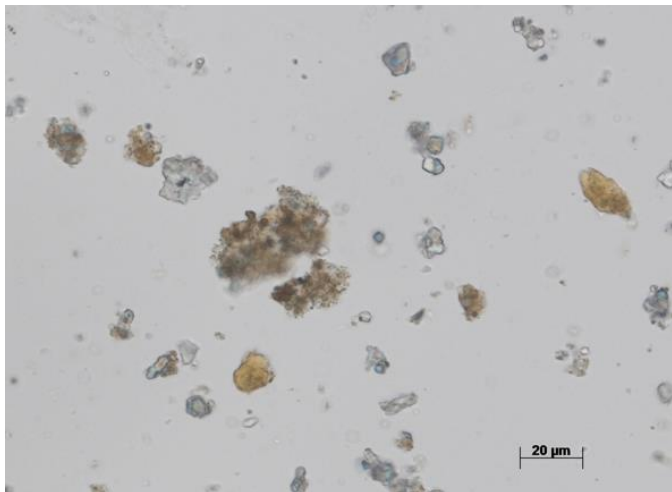


207. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív

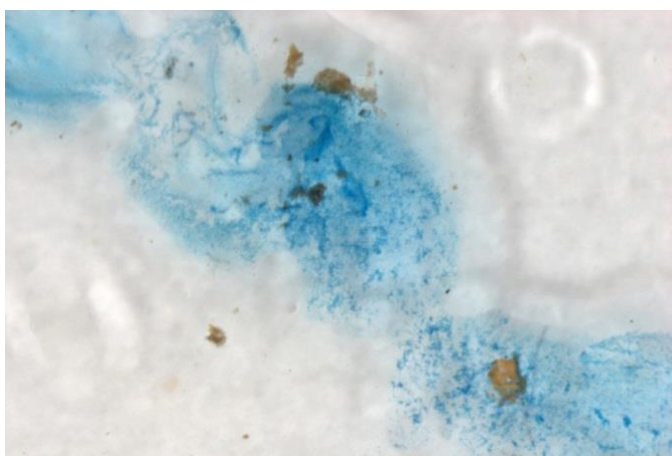
A 14-es mintát a fejfedő jobb peremét díszítő minta sárga részéről vettük. A barna, legalsó rétegben nagyméretű (kb. 500 mikronos) áttetsző szemcsék is láthatóak. Ezen a fehér alapozás, majd egy vékony, aprószemcsés pigmentből álló sárga réteg található. A festékréteg UV és BV gerjesztésben sötét, ami vastartalomra utal.



208. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív



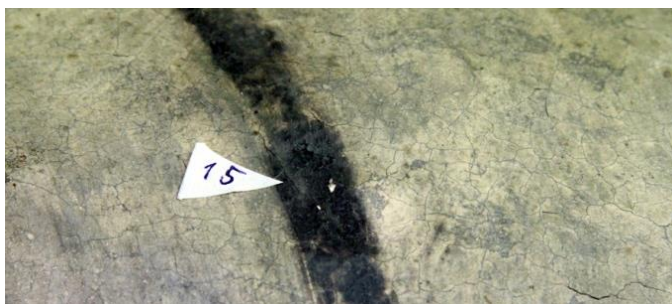
209. kép: Sárga és áttetsző szemcsék, párhuzamos (balra) és részben keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív



A festékrétegből készített szemcsepreparátumban a gömbölyded, gyengén kettőtörő szemcsékből álló sárga pigment mikroszkópos tulajdonságai alapján okker lehet. Ezt megerősíti a kék csapadék, ami a vastartalom igazolására végzett mikrokémiai teszt során keletkezett.

210. kép: Pozitív vasteszt a sárga festékrétegen

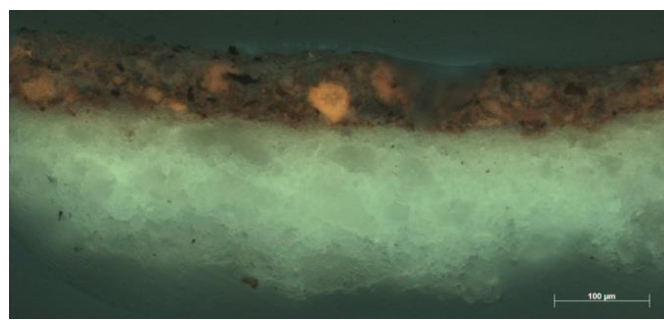
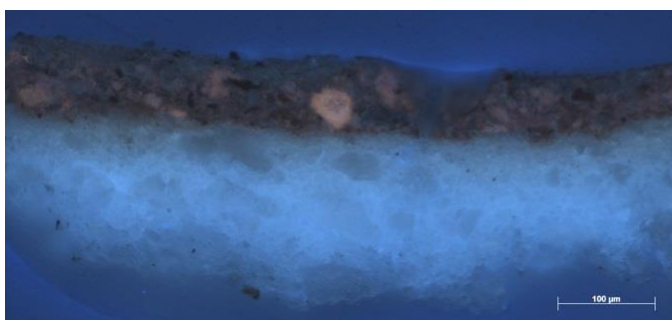
15. minta



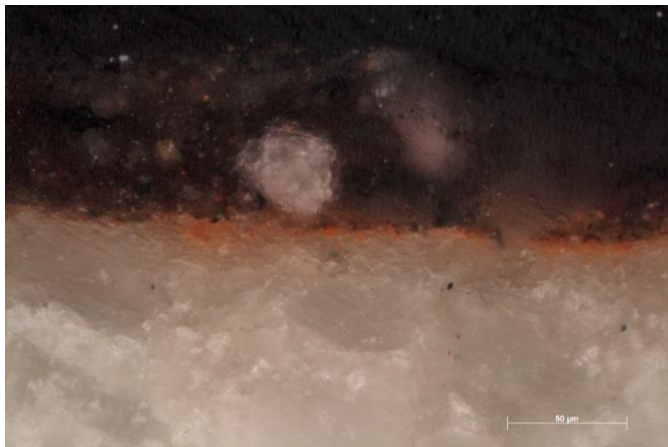
211. kép: A mintavételi hely fotója



212. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív

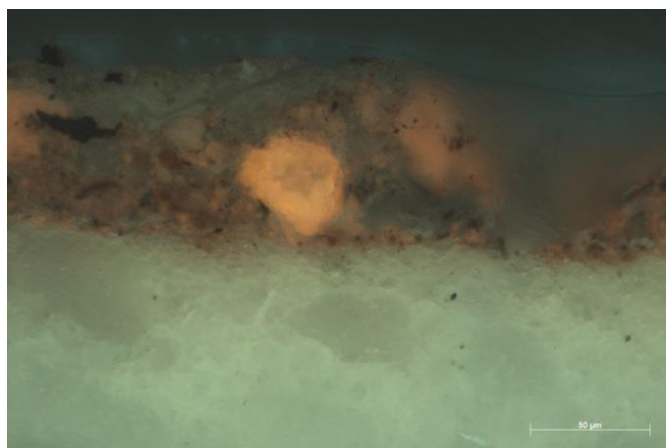
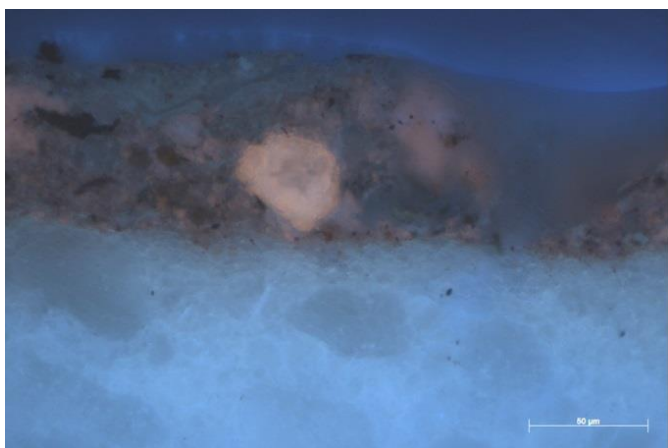


213. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív

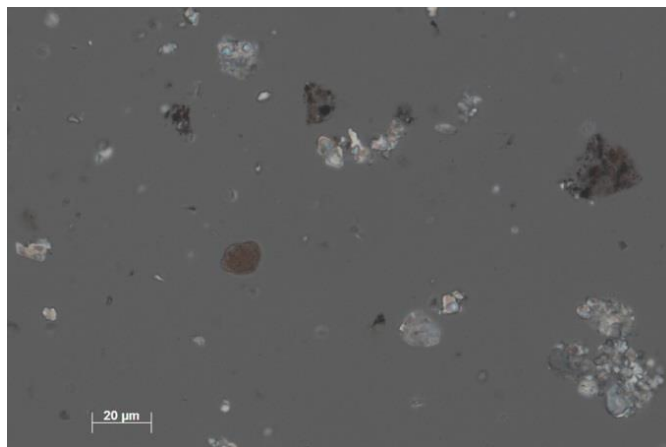
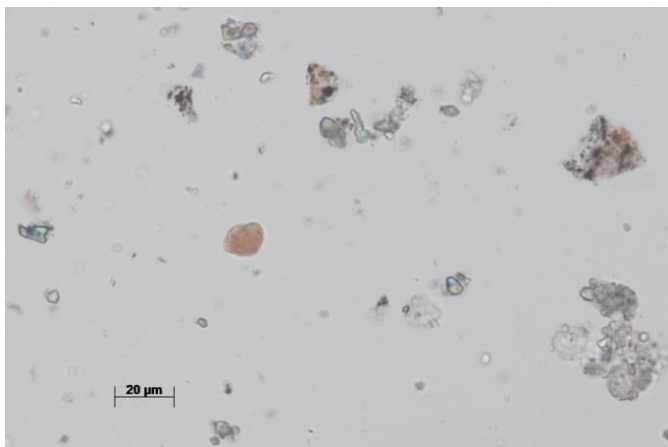


214. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív

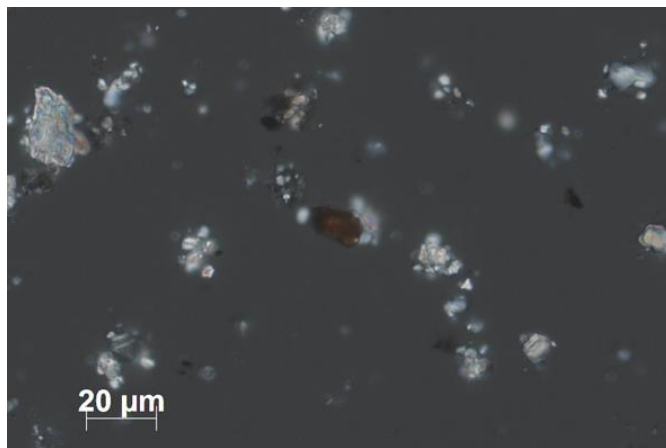
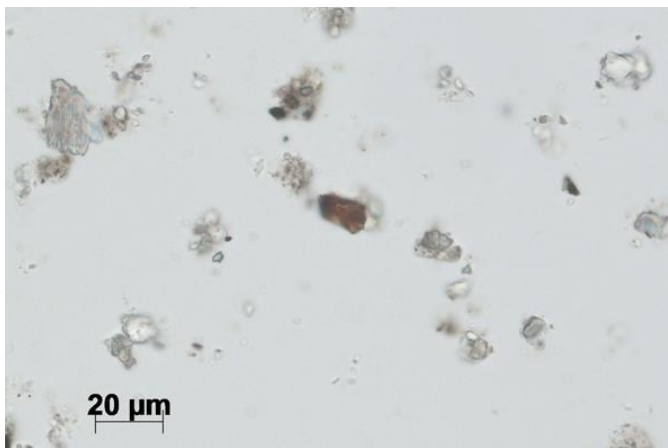
A 15. mintát a figura bal vállán átfutó sötét színű ruhaszegélyből vettük. A keresztmetszet nem a tárgy teljes rétegszerkezetét mutatja, legalul a fehér alapozás látható. Ezen egy nagyon vékony, 5 mikron körüli vörös festékréteg található, amin fekete és rózsaszín szemcsék keverékéből álló réteg következik. A színezékszerű szemcsék UV és BV gerjesztésben rózsaszínen lumineszkálnak.



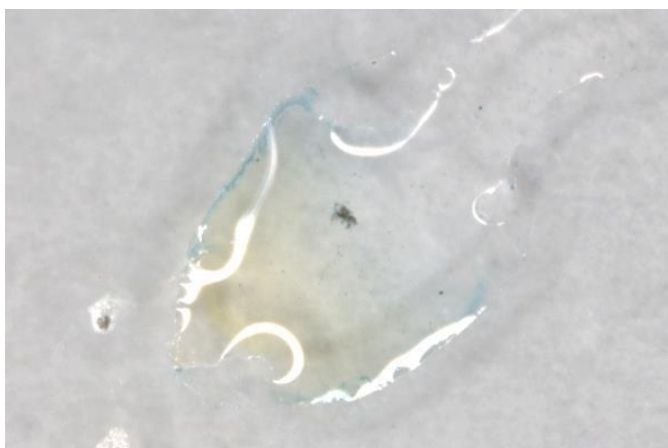
215. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív



216. kép: Rózsaszín, áttetsző és fekete szemcsék, párhuzamos (balra) és részben keresztezett (jobbra) analízátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív



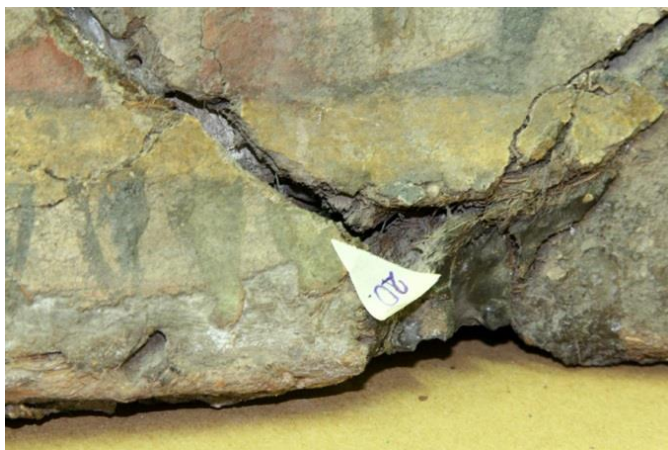
217. kép: Vörös, áttetsző és fekete szemcsék, párhuzamos (balra) és részben keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív



A festett rétegekből készített szemcsepreparátumban láthatjuk, hogy a rózsaszín szemcsék hasonlóak a 10. minta legfelső rétegében találhatóakhoz. Mikroszkópos jellemzői alapján tehát szervesetlen hordozóra lecsapatott színezék lehet, a sötétebb vörös szemcsék pedig vas-oxid vörösek. A vastartalom igazolására végzett mikrokémiai teszt során csak kevés kék csapadék keletkezett, de ezt okozhatta a minta kis mennyisége is.

218. kép: A kék csapadék vastartalmat jelez a vörös rétegben

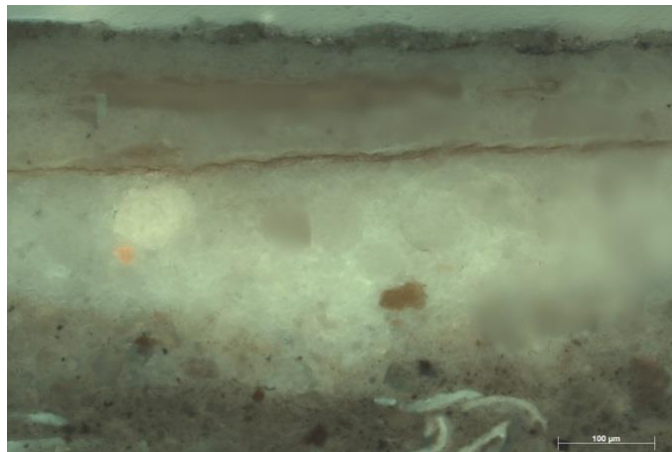
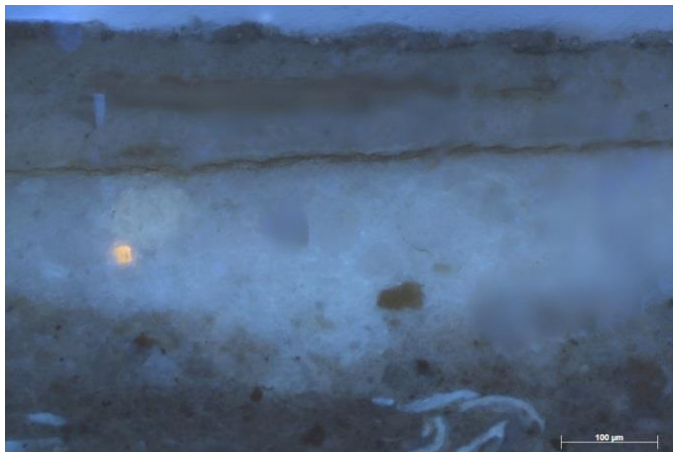
20. minta



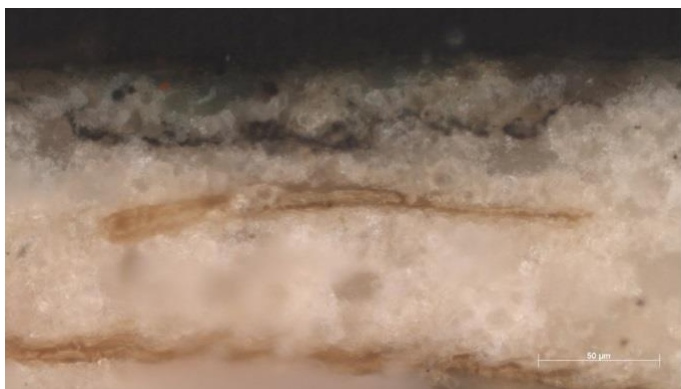
219. kép: A mintavételi hely fotója



220. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív

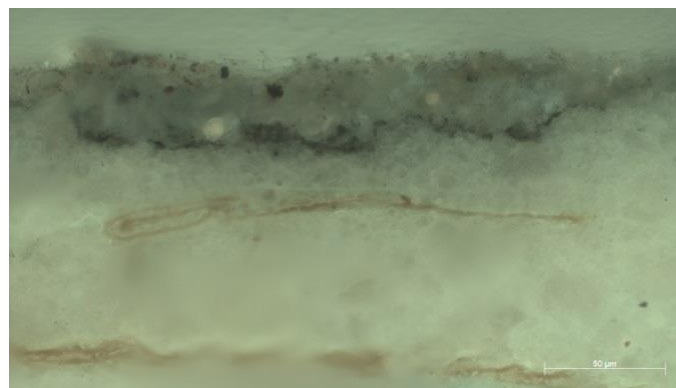
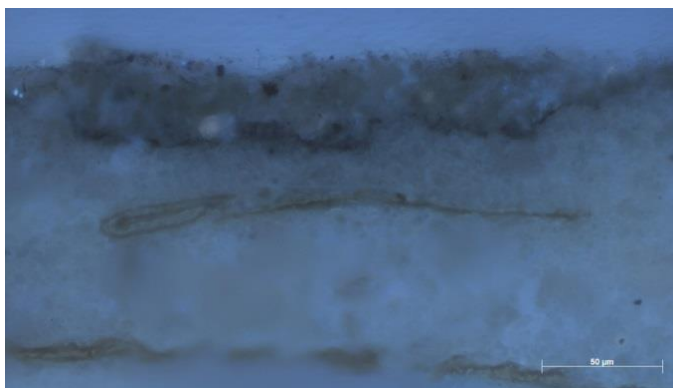


221. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív

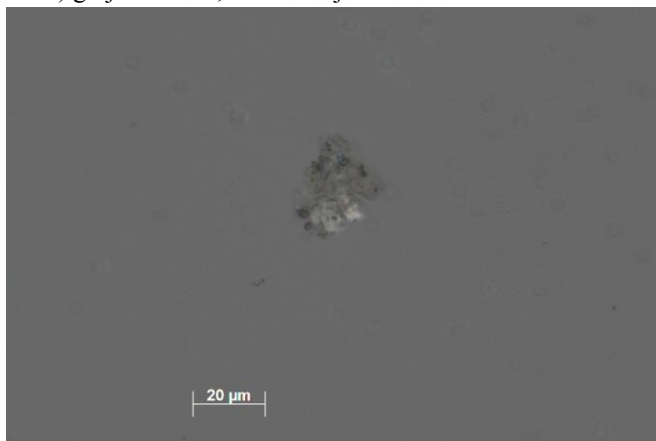


A 20. mintát a fejfedő jobb alsó részéről, a peremén végigfutó minta zöld részéből vettük. A barna hordozó rétegen a fehér alapozás található, amiben sárgás, feltehetően növényi rostos szálak láthatóak. A festékréteg fekete és fakó zöld szemcsék keverékéből áll.

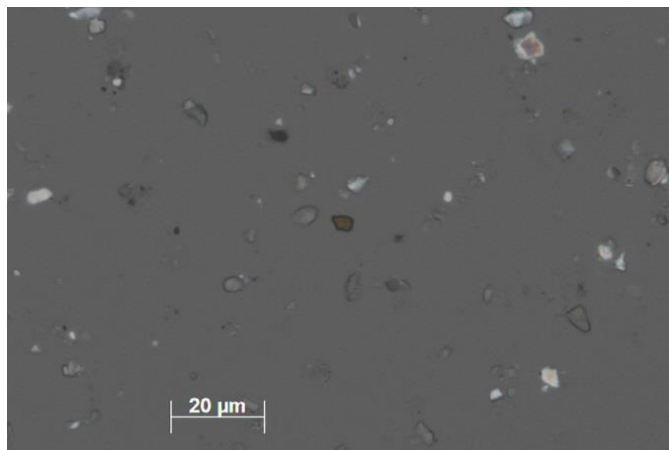
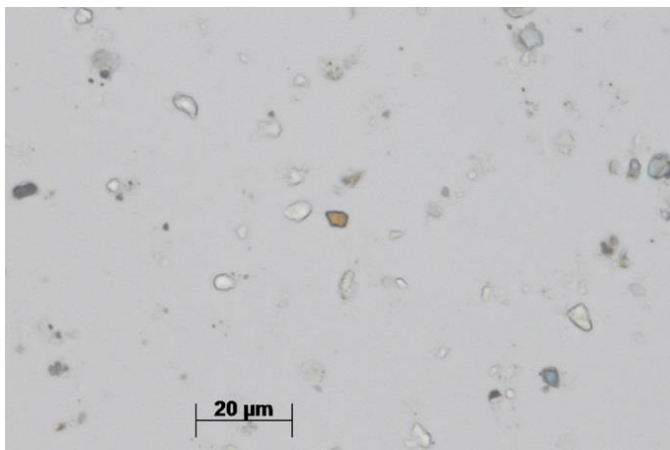
222. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív



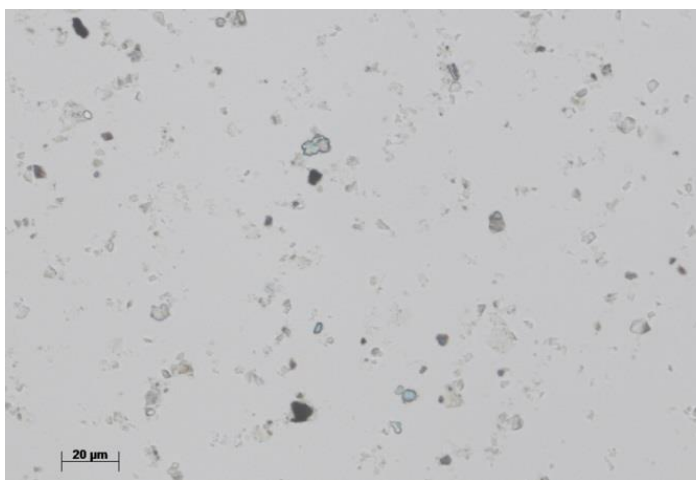
223. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív



224. kép: Zöld szemcse, párhuzamos (balra) és részben keresztezett (jobbra) analízator - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív

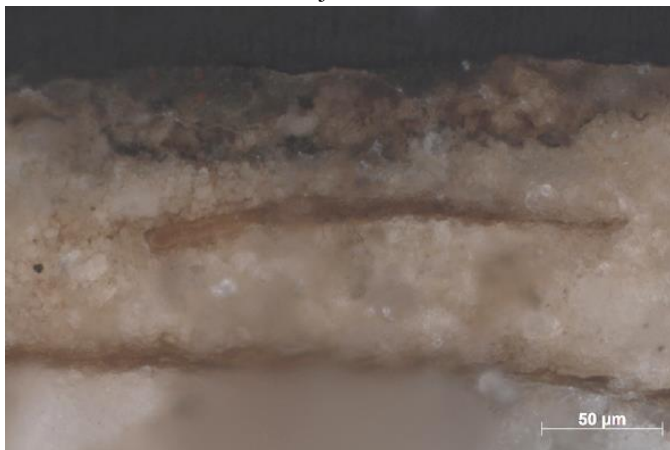


225. kép: Sárga és áttetsző szemcsék, párhuzamos (balra) és részben keresztezett (jobbra) analízátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív

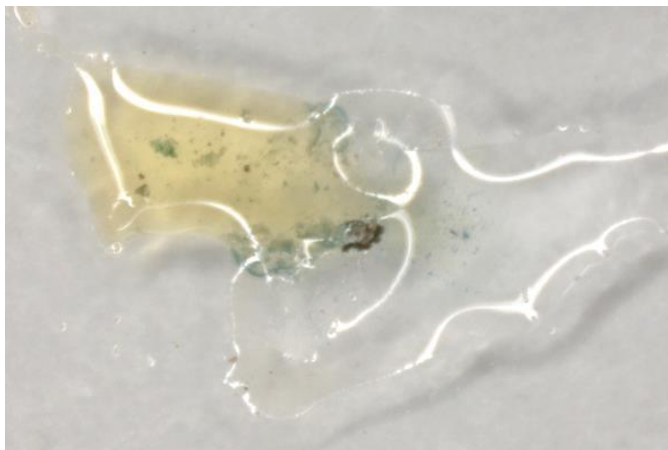


A festékrétegből készített szemcsepreparátumban áttetsző, fekete, halványzöldes és kis mennyiségű sárga szemcsét találtunk. Mikroszkópos tulajdonságaik alapján a sárga pigment okker lehet, a zöld pedig réz tartalmú komplex. A kénhidrogén teszt igazolta a réztartalmat, a zöld szemcsék elbarnultak a gáz hatására, kálium-ferrocianiddal megcseppentve viszont kis mennyiségű kék csapadék keletkezett, ami a vastartalmat támasztja alá.

226.kép: Fekete és áttetsző szemcsék, párhuzamos (balra) analízátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív



227. kép: Kénhidrogén hatására a zöld szemcsék elsötétedtek

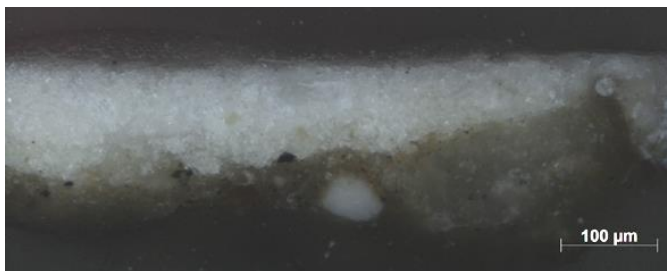


228. kép: A kálium-ferrocianid teszt során kevés kék csapadék keletkezett

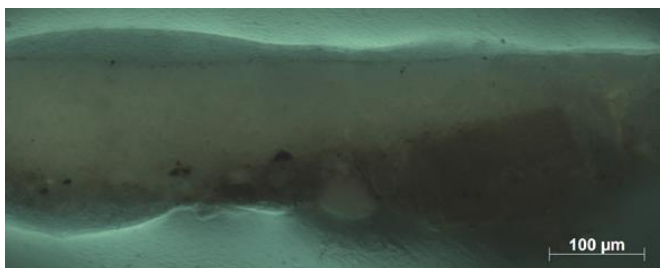
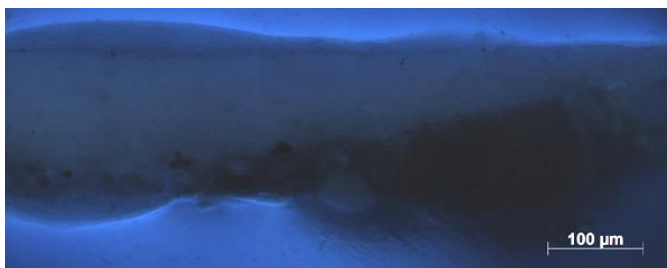
29. minta



229. kép: A mintavételi hely fotója



230. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív

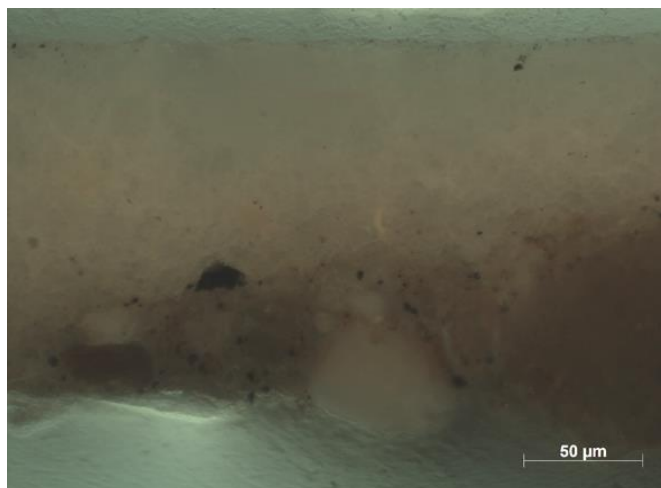
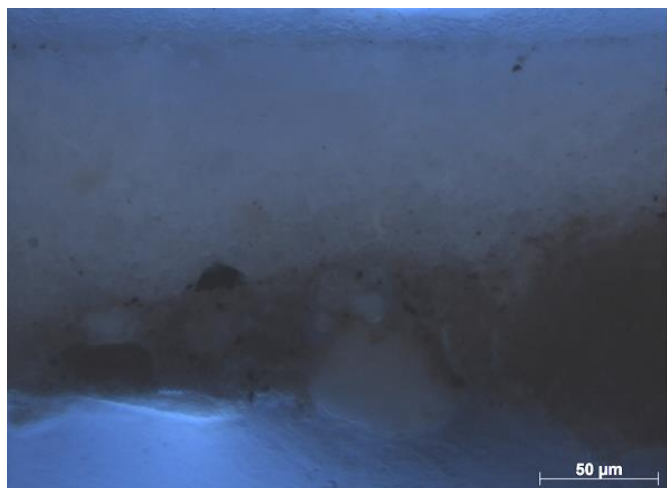


231. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív

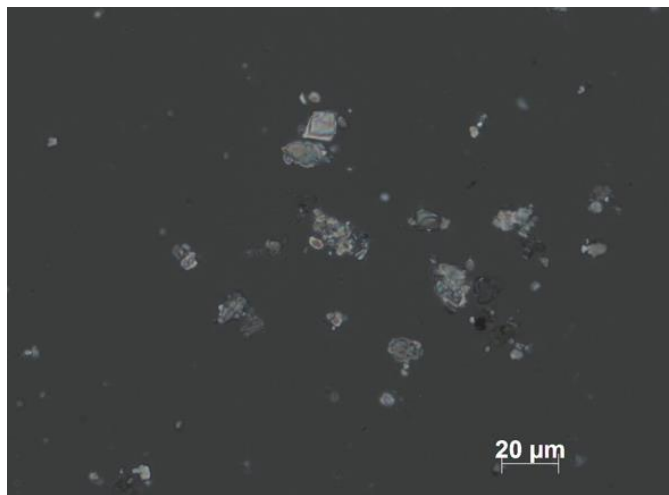
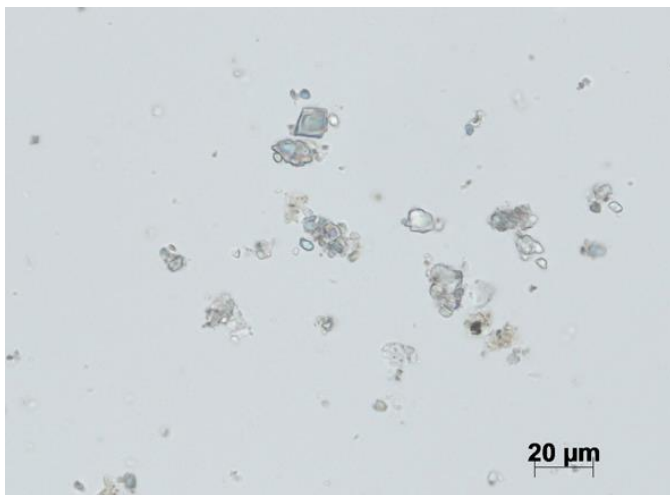


232. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív

A 29. mintát a figura mellkasáról, a fehér ruhából vettük. A barna hordozón a fehér alapozás látható, homogén szemcsézettel. Fehér festékréteget nem tudunk elkülöníteni a keresztmetszet alapján, vagyis nem használtak egyéb pigmentet a fehér részek kialakításához.



233. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív



234. kép: Kettőstörő áttetsző szemcsék, párhuzamos (balra) és részben keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív



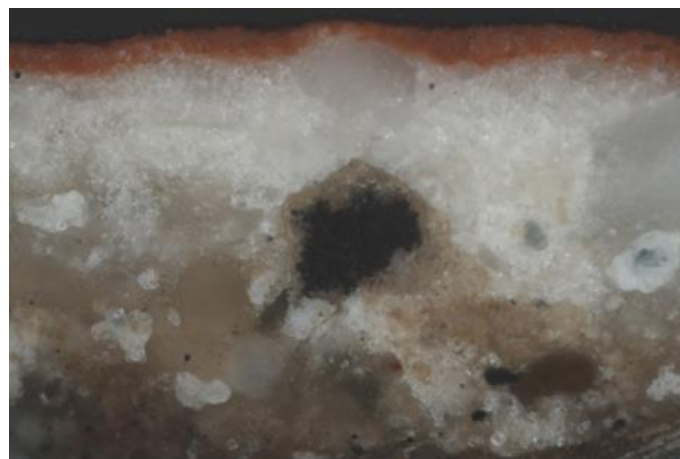
235. kép: A darabminta savas megcseppentés hatására elpezsgett

A fehér rétegből készített szemcsepreparátumban áttetsző, kettőstörő pigment látható, ami mikroszkópos jellemzői alapján kalcium-karbonát lehet. Ezt alátámasztja a mikrokémiai teszt is, mivel a kaparékok sósavval megcseppentve elpezsgett, vagyis savérzékeny anyagról van szó.

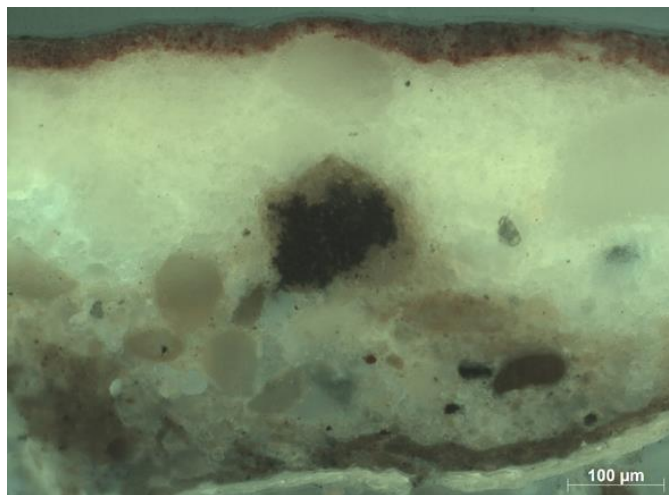
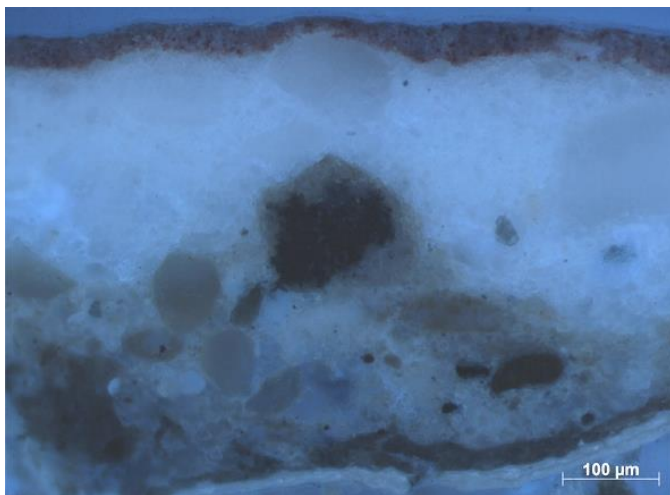
35. minta



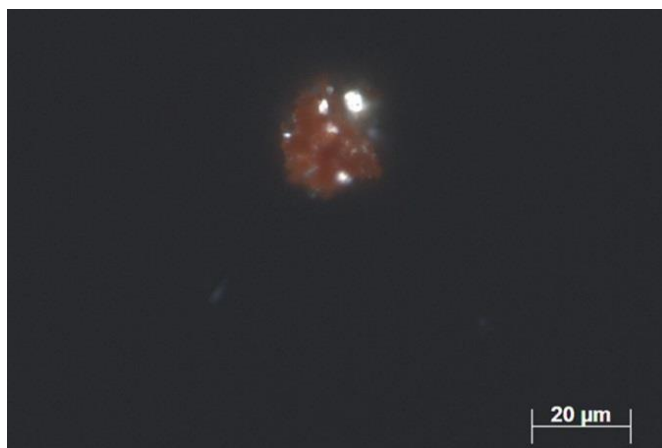
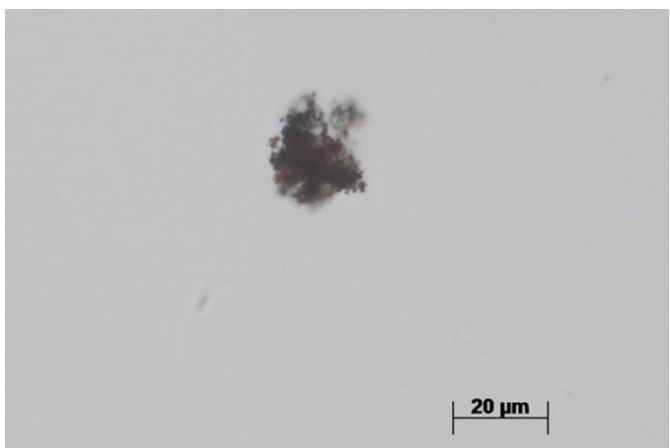
236. kép: A mintavételi hely fotója



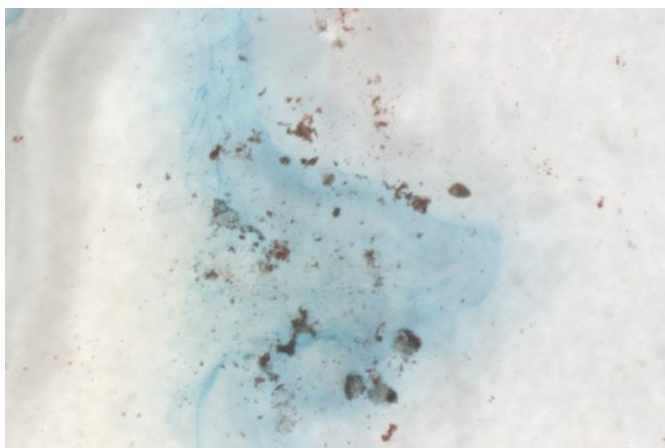
237. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív



238. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív



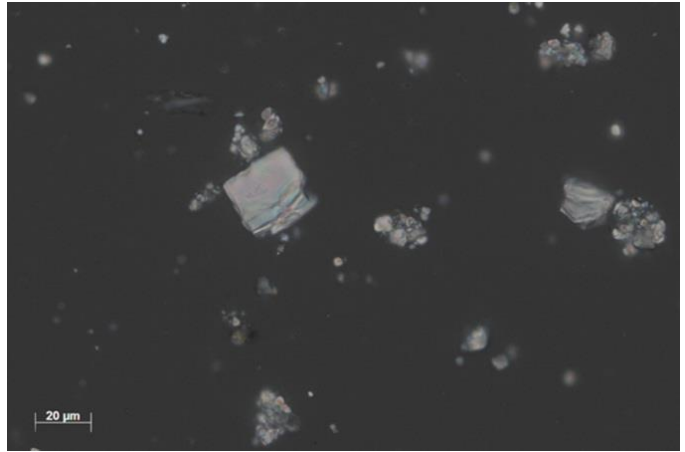
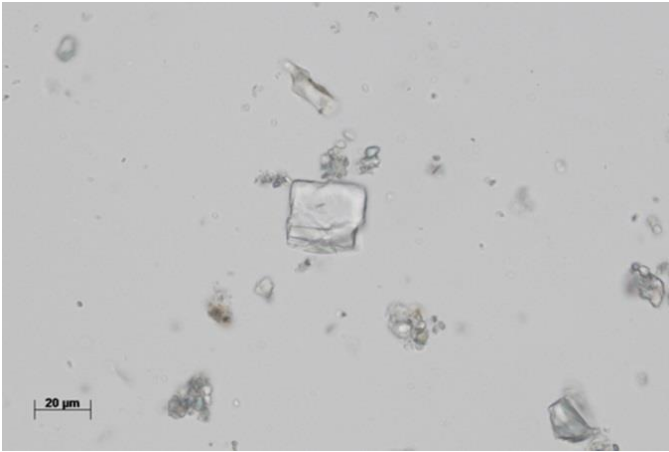
239. kép: Kettőstörő vörös szemcsék, párhuzamos (balra) és keresztezett (jobbra) analízátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív



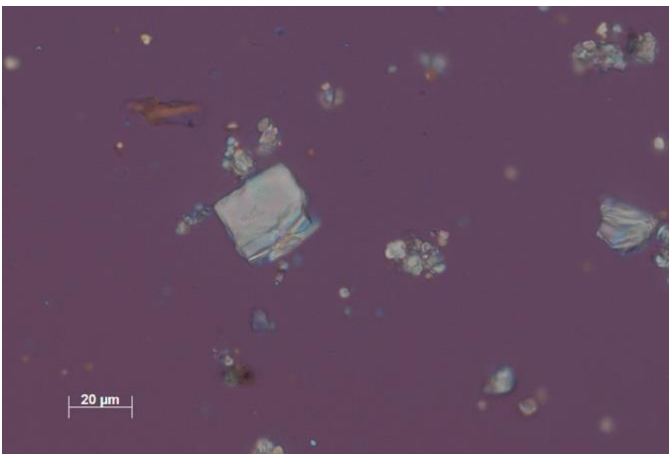
240. kép: Pozitív vasteszt

A 35. mintát a szarkofág jobb oldaláról, a kar magasságából, a ruha szegélyén látható vörös sávból vettük. Alul a barna hordozó egy része, felette a fehér alapozás, majd egy vörös festékréteg található. Az aprószemcsés vörös pigment mikroszkópos tulajdonságai alapján vas-oxid vörös lehet, ezt alátámasztotta a pozitív vasteszt is.

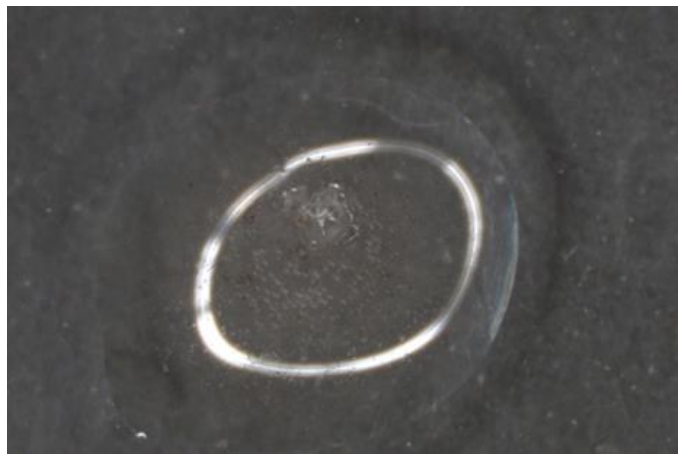
Alapozás (a 15. mintából)



241. kép: Kettőtörő áttetsző szemcsék, párhuzamos (balra) és keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív



242. kép: Kettőtörő áttetsző szemcsék, keresztezett analizátor - polarizátor állás, lambda lemez beiktatásával, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív



243. kép: A rétegből vett kaparéék savas megcseppentésre teljesen elpezsgett

Az alapozó mikroszkópos jellemzői alapján kalcium-karbonát szemcsékből áll. Ezt megerősítette a mikrokémiai teszt is, a rétegből vett minta savas megcseppentésre maradéktalanul elpezsgett, vagyis savra érzékeny anyagból áll.

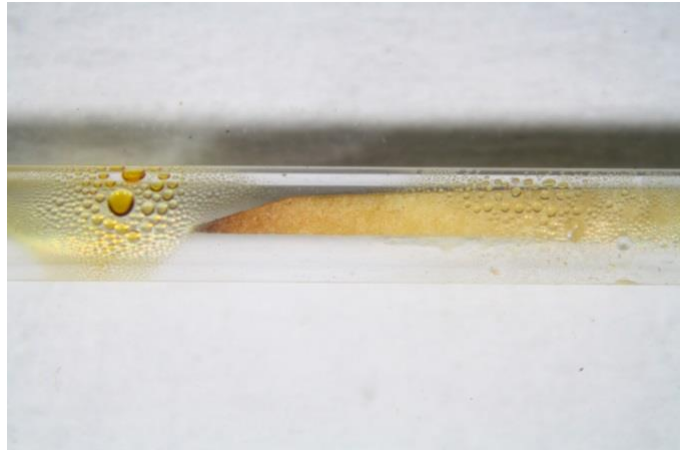
IV.2.2. Cseppentéses tesztek

1. Fehérje kimutatása Schiff/PAS reakcióval

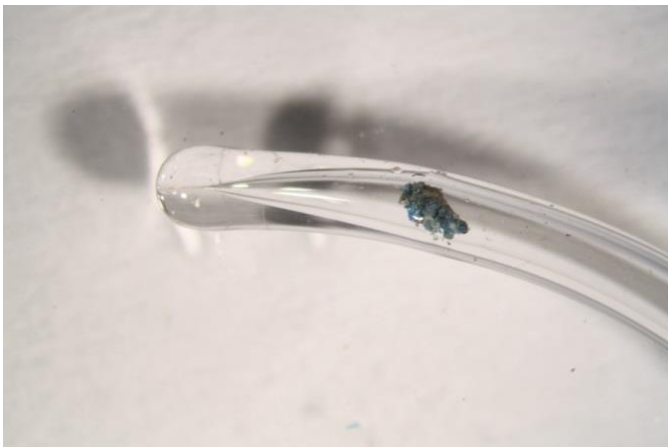
A vizsgálathoz az alapozó darabjait, és a 3. 10. 15. 29. és 35. minták festékrétegeiből vett mintákat használtuk. A teszt előtt törekedtünk rá, hogy a rétegeket a lehető legjobban szétválasszuk egymástól, a hamis eredmények elkerülése érdekében.



244. kép: A teszthez használt alapozó darabok



245. kép: Az alapozó esetében a papírdarab kissé elsötétedett, de nem lila színű



246. kép: A kék (3.) festékréteg darabja a kapillárisban



247. kép: A kék réteg negatív eredménye



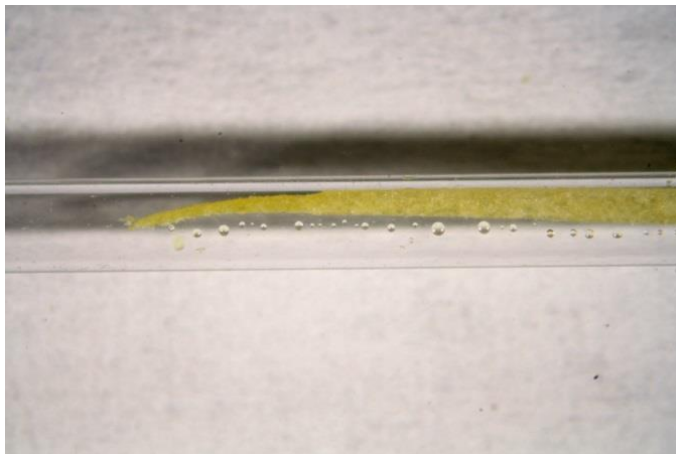
248. kép: A vörös réteg lazúrral (10.) a kapillárisban



249. kép: A 10-es minta negatív eredménye



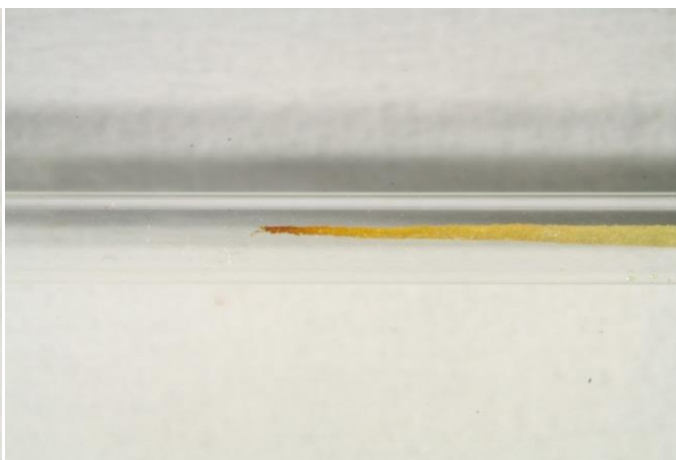
250. kép: A vörös és fekete (15.) rétegek a teszt előtt



251. kép: A vizsgálat negatív eredménye



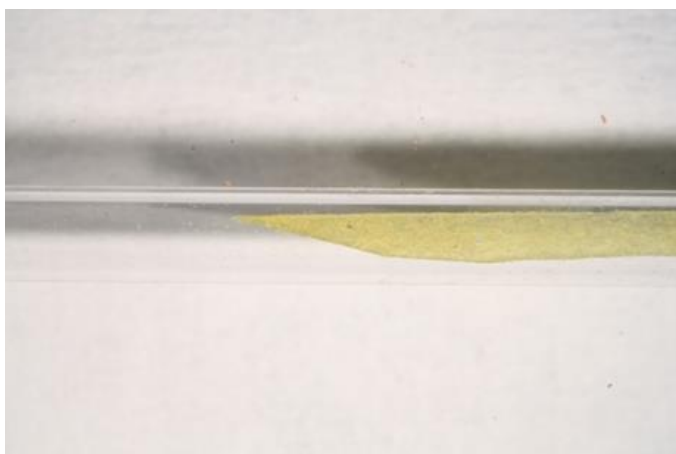
252. kép: A fehér réteg (29.) darabja a vizsgálat előtt



253.kép: A fehér réteg esetében a papír kissé elsötétedett, de nem látható lila szín



254. kép: A teszthez használt vörös (35.) rétegek darabjai



255. kép: A vizsgálat negatív eredménye a vörös rétegekre

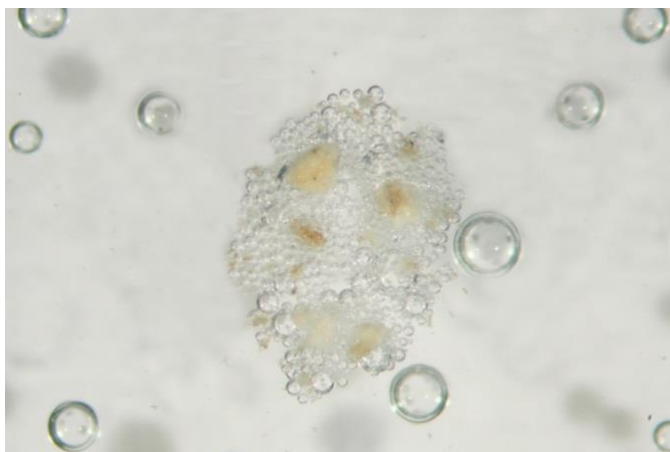
A tesztek eredményei kettő minta kivételével (az alapozó és a 29 fehér.) egyértelműen negatívak lettek. Azonban ebben a két esetben látható barnás-fekete szín valószínűleg a vizsgálat tökéletlen kivitelezése miatt jött létre (a papír a túl magas hőmérsékleten megégett). A pozitív eredmény viszont minden esetben lilás színreakciót adna. Ezek alapján valószínűleg sem az alapozó sem a festékrétegek nem tartalmazznak fehérjét.

2. Száradó olaj kimutatása szappanképzéssel

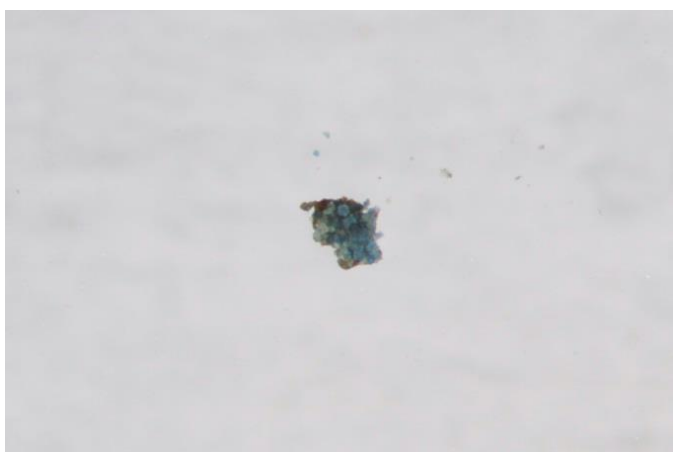
A teszthez szintén az alapozóból, és a 3. 10. 15. 29. 35. minták festékrétegéből vett mintákat használtuk. A rétegekből vett darabok mennyisége és mérete eltérő volt, a kisebb minták esetén gyengébb reakciót figyeltünk meg.



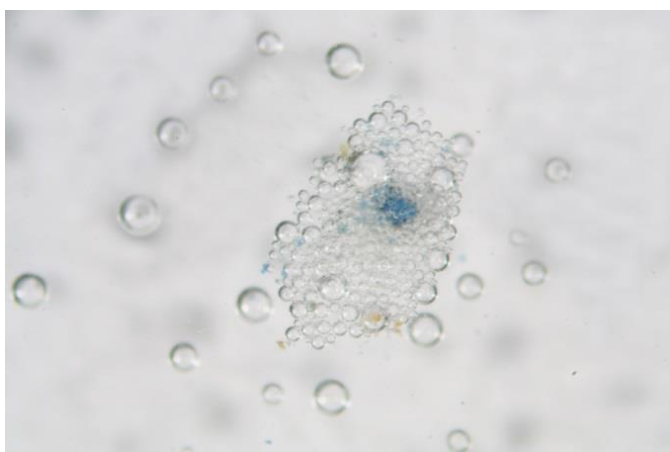
256. kép: A teszthez használt alapozó darabok



257. kép: Az alapozó mintáján buborékok keletkeztek



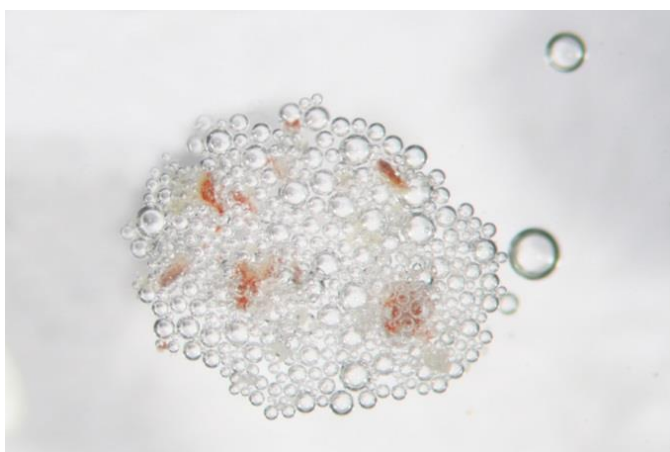
258. kép: A kék (3.) rétegből vett minta



259. kép: A kék rétegen is megfigyelhetőek buborékok



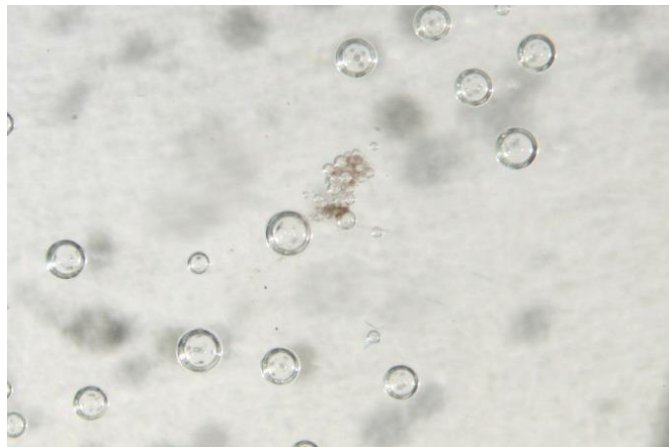
260. kép: A vörös réteg lazúrral (10.) a reakció előtt



261. kép: A vörös réteg esetében is képződtek buborékok



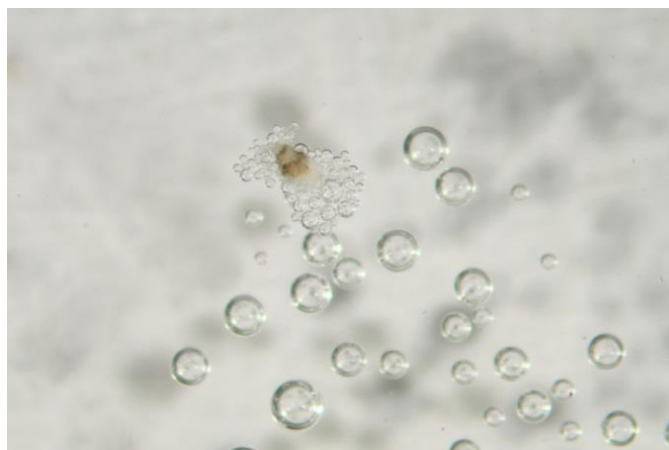
262. kép: A vörös és fekete (15.) rétegek darabja



263. kép: A 15. mintán is keletkeztek buborékok



264. kép: A fehér rétegből (29.) vett minta a teszt előtt



265. kép: A fehér mintán szintén láthatóak buborékok



266. kép: A vörös festékréteg (35.) darabjai



267. kép: A vörös rétegeken is keletkeztek buborékok

Minden minta esetében intenzív buborékképződést tapasztaltunk, de a keletkezett hab nem volt olyan stabil és sűrű, mint például a Melone festmény 2. és 4. mintáján. A szarkofágot egy korábbi restaurálás alkalmával kezelhették valamilyen konzerváló anyaggal¹⁸ (esetleg műgyantával), ezért elképzelhető, hogy ez okozta a buborékok kialakulását.

¹⁸ A 2018-as restauráláshoz készült lumineszcens felvételeken bevonat volt látható, ami acetonnal oldódott.

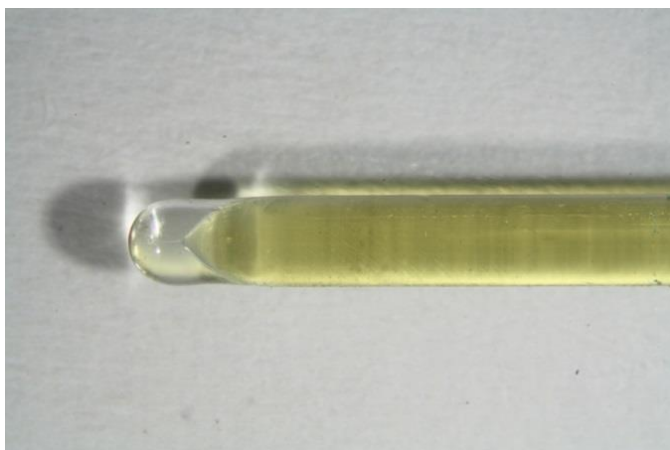
3. Növényi gumik kimutatása Bial's teszttel (pentóz kimutatás)

A növényi gumi tartalom vizsgálatára szolgáló tesztet az alapon, a 3. és a 29. mintákon végeztük el.

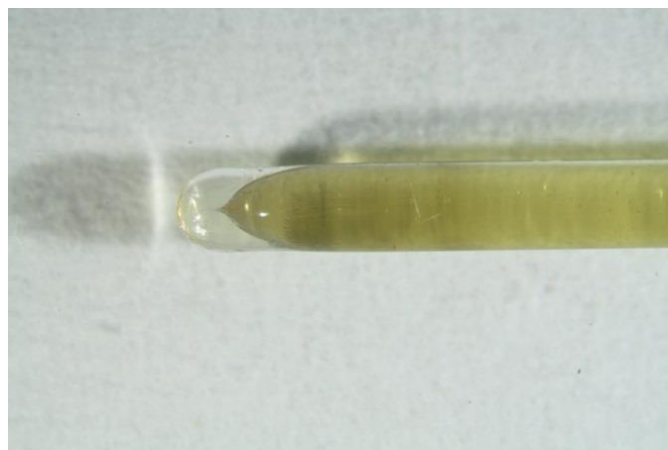


268. kép: Az alaponból vett darabminták

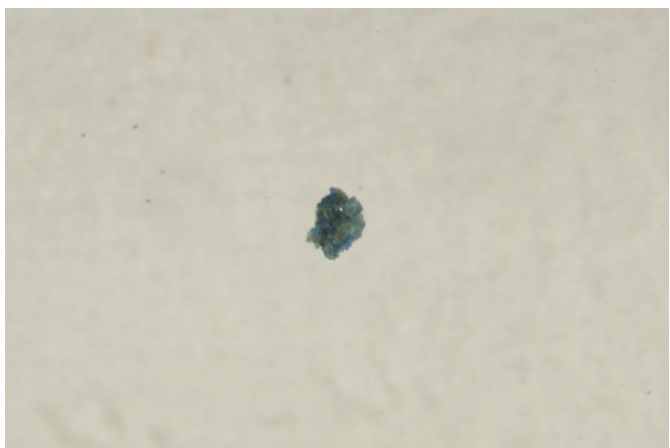
Az alaponból vett mintákat feloldottuk a reagensben, ezt követően pedig glicerinfürdőben melegítettük. A Bial's reagens sárgás színe nem változott el, vagyis az alapon negatív eredményt adott növényi gumikra.



269. kép: Az oldat a melegítés előtt

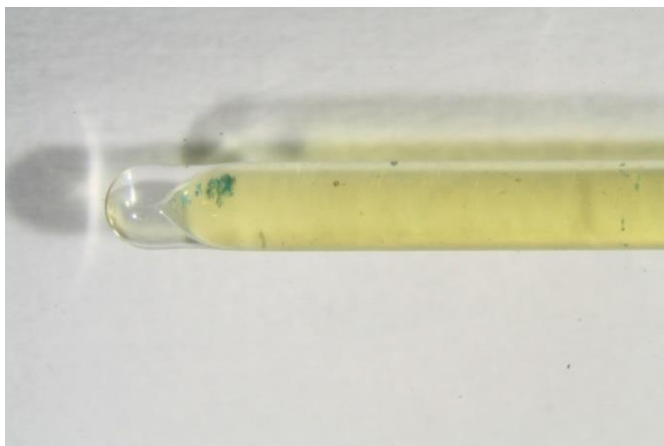


270. kép: Az oldat színe nem változott a melegítés után

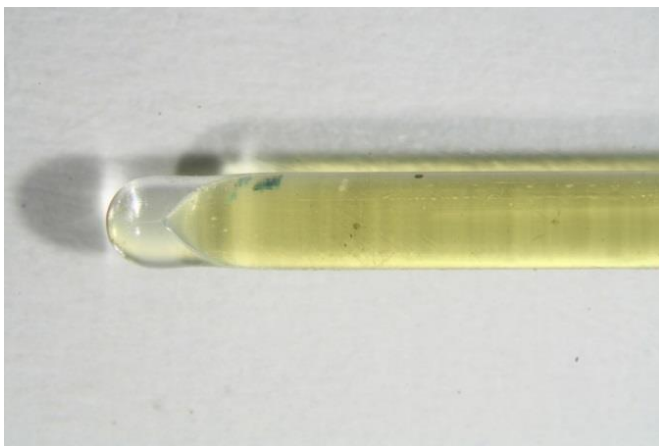


271. kép: A kék festékréteg darabja

A kék festékrétegből vett minta tesztje szintén negatív lett növényi gumikra.



272. kép: A reagens a mintával a melegítés előtt

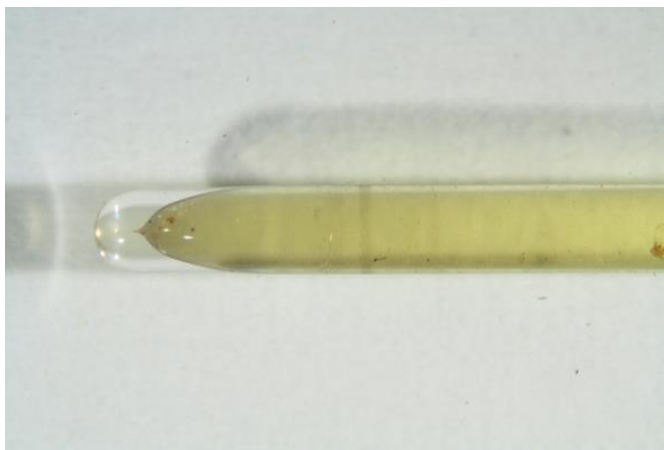


273. kép: A reagens színe változatlan a melegítést követően



274. kép: A fehér réteg darabjai

A vizsgálat alapján a fehér réteg sem tartalmaz növényi gumikat.



275. kép: A reagens a melegítés előtt



276. kép: A reagens színe nem változott a melegítést követően

4. Természetes gyanták kimutatása Storch-Morawski teszttel

A cseppentéses tesztet a 3. 10. és 35. minták festett rétegein végeztük el.



277. kép: A kék festékréteg darabja a teszt előtt



278. kép: Negatív eredmény a kék mintán



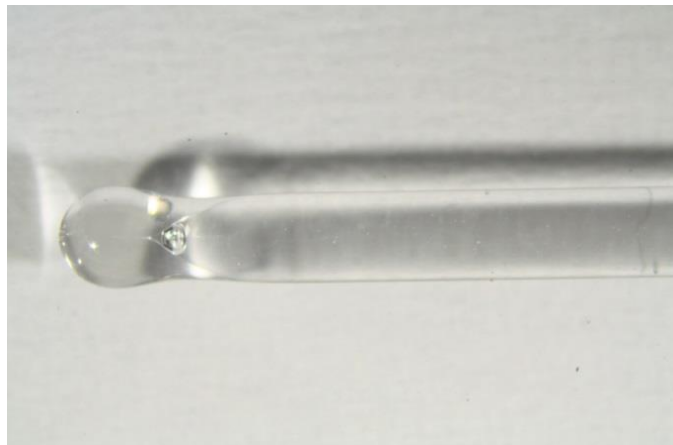
279. kép: A 10. minta vörös rétegeinek teszthez használt darabjai



280. kép: A vörös rétegek is negatív eredményt adtak



281. kép: A 35. minta vörös rétegének darabja a teszt előtt



282. kép: A vörös réteg vizsgálatakor sem történt színreakció

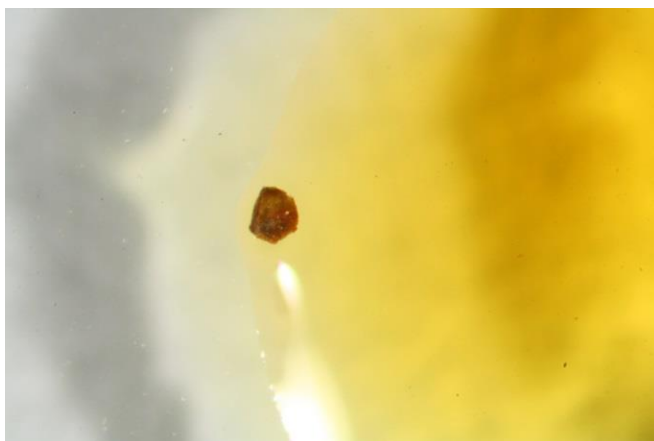
Mindhárom minta esetében negatív eredményt kaptunk a cseppentéses teszttel természetes gyantákra.

5. Keményítő vagy dextróz kimutatása kálium-jodiddal

A teszthez az alapozó, a 10. és a 29. minta darabjait használtuk fel.



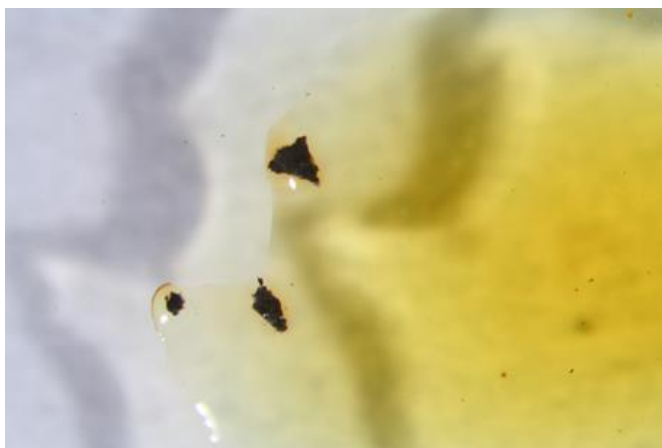
283. kép: A teszthez használt 10. minta festett rétegének darabja



284. kép: A minta barnásan elszíneződött



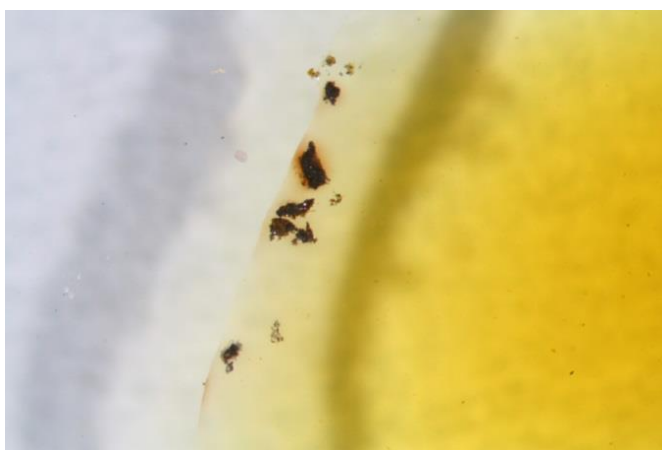
285. kép: A 29. minta fehér rétege a teszt előtt



286. kép: A darabok elsötétedtek a reagens hatására



287. kép: Az alapozó darabjai a vizsgálat előtt



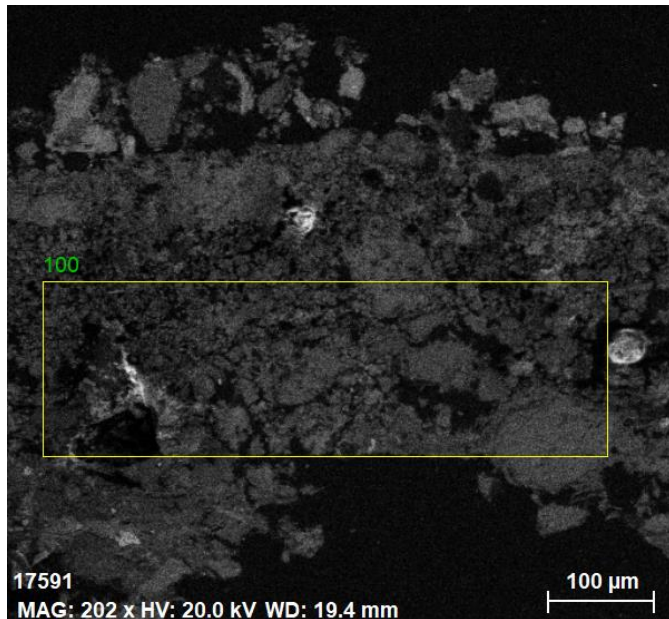
288. kép: Az alapozó darabjai szintén elváltoztak

A teszt mindhárom minta darabjai esetében színváltozással járt – a 10. minta elbarnult, a 29. és az alapozó kaparéka kékesen elsötétedett. A vizsgálat alapján feltételezhetjük, hogy a rétegek tartalmaznak keményítőt vagy dextringet.

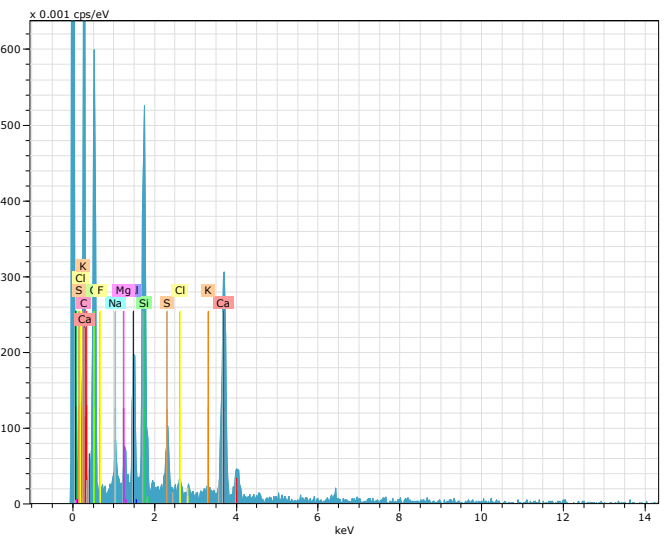
IV.2.3. SEM-EDS

Az elemanalitikai vizsgálatot a 3. 10. 12. 14. 15. és 20. mintákon végeztük el.

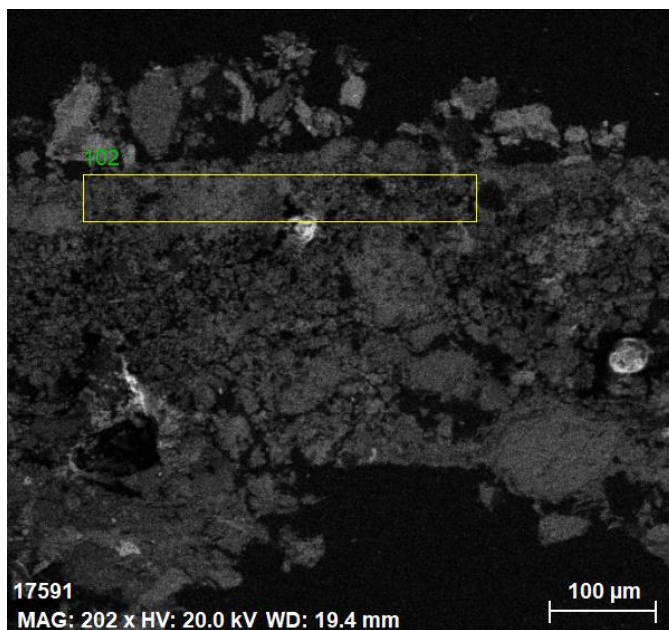
3. minta



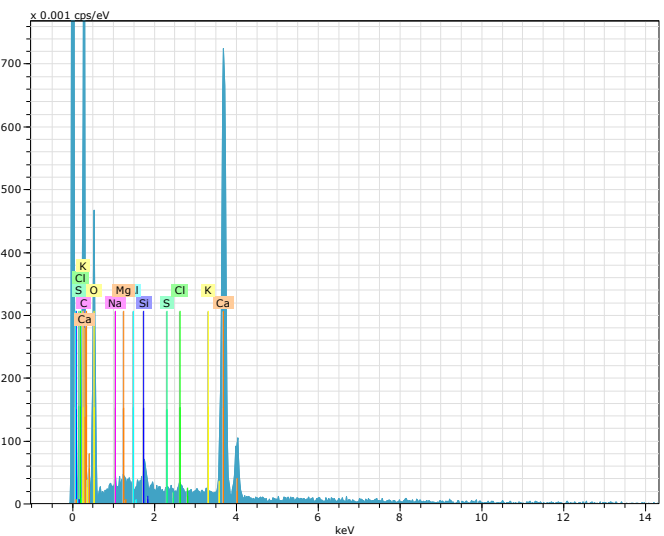
289. kép: A 3. minta hordozójának mérési területe



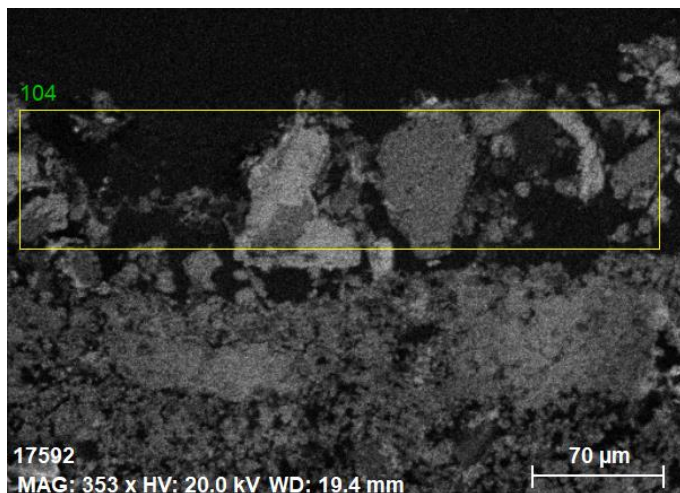
290. kép: A barnás hordozóban a nátrium, kálium, mangán és kén tartalom mellett a szilícium és kalcium a legtöbb



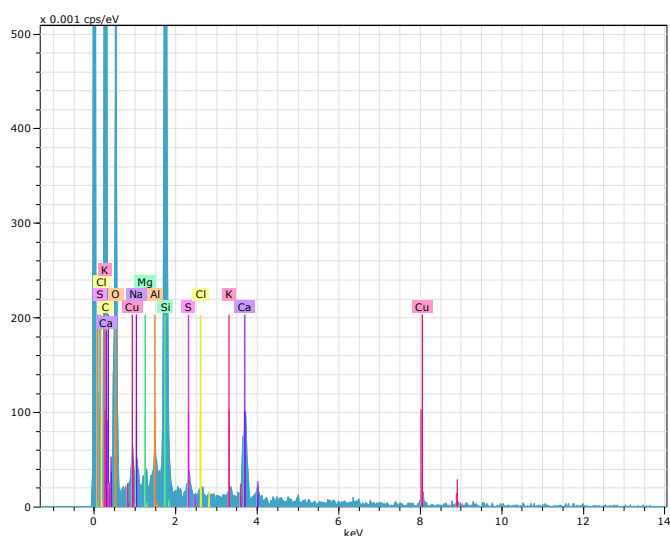
291. kép: A 3. minta alapozójának mérési területe



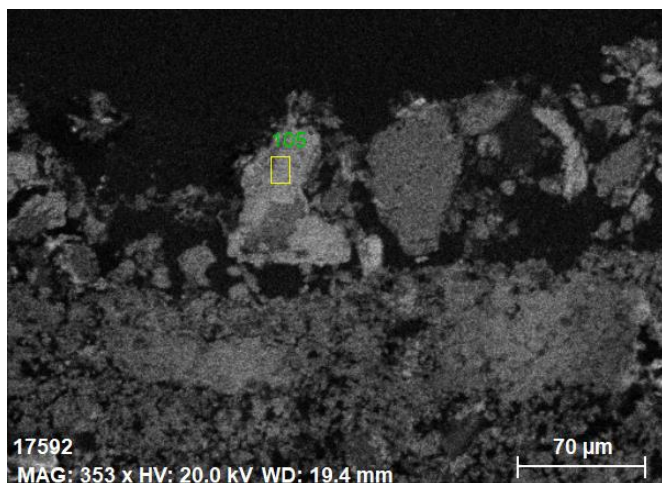
292. kép: A fehér alapozás főleg kalciumot tartalmaz



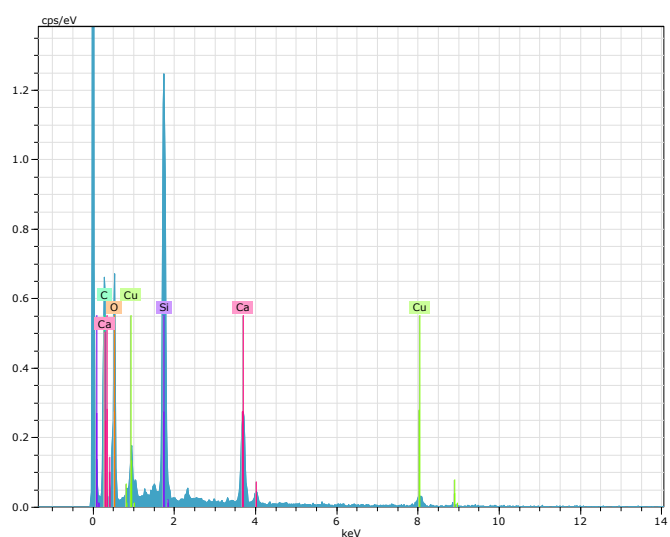
293. kép: A 3. minta kék festékrétegének mérési területe



294. kép: A festékrétegben magas a szilícium és kalcium tartalom, de réz is található benne



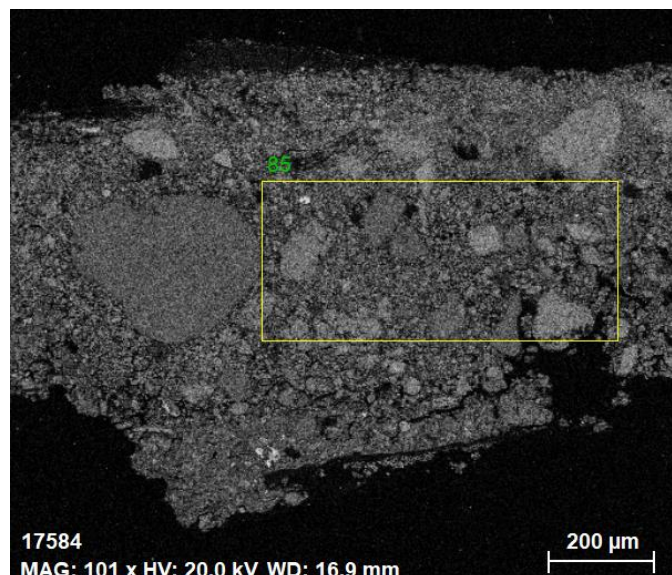
295. kép: Egy kék szemcse mérési pontja



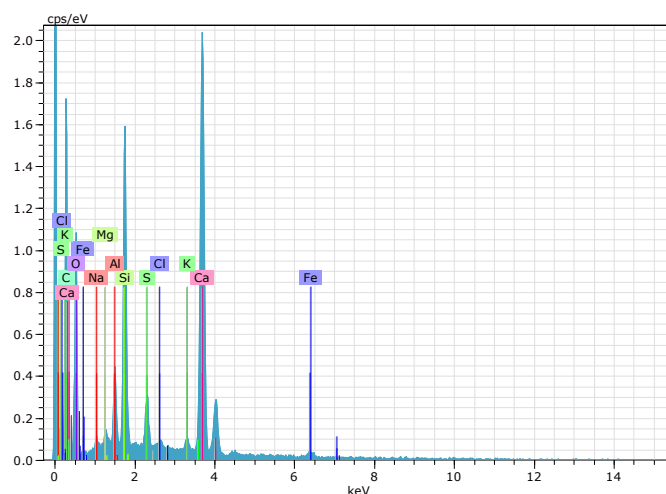
296. kép: A kék szemcsékben réz, kalcium és szilícium található

A 3. minta hordozója a mérések szerint agyagos föld, finom homok és kalcium-karbonát keveréke lehet. A fehér színű alapozó főleg kalcium-karbonát, a kék pigment réz, szilícium és kalcium tartalmú komplex, vagyis egyptomi kék lehet. Minden spektrumon megjelent a klór, ami valószínűleg sóként van jelen a műtárgy anyagában a nátriummal és káliummal.

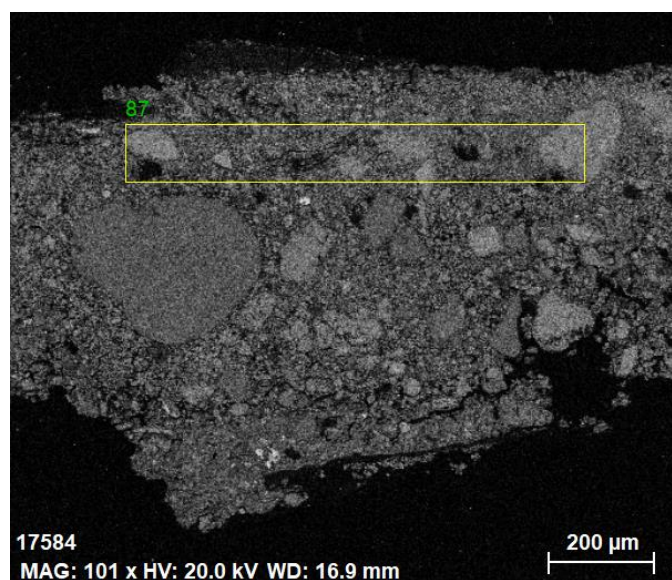
10. minta



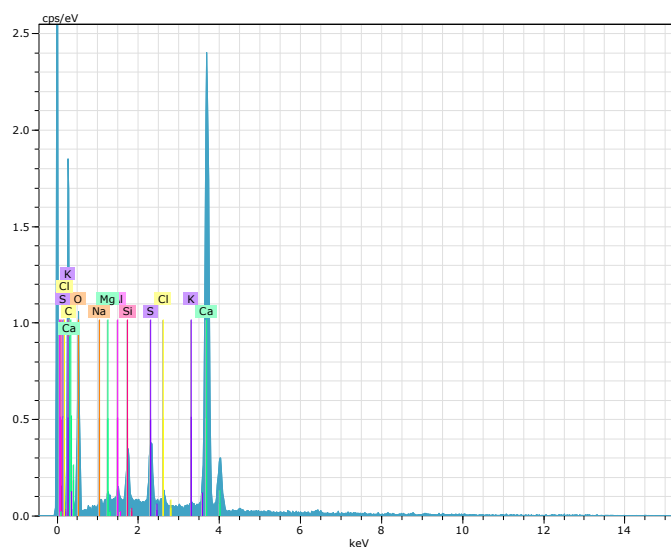
297. kép: A 10. minta hordozójának mérési területe



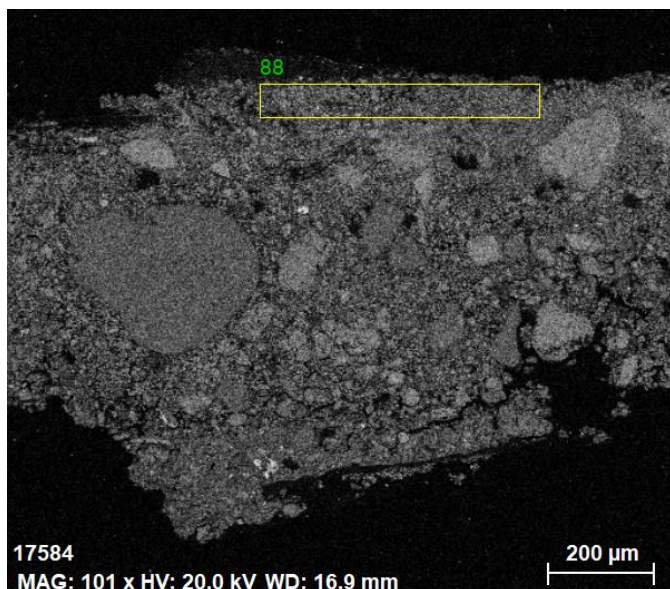
298. kép: A hordozóban a nagy mennyiségű szilíciumon kívül alumínium, kalcium, mangán, klór és vas is található



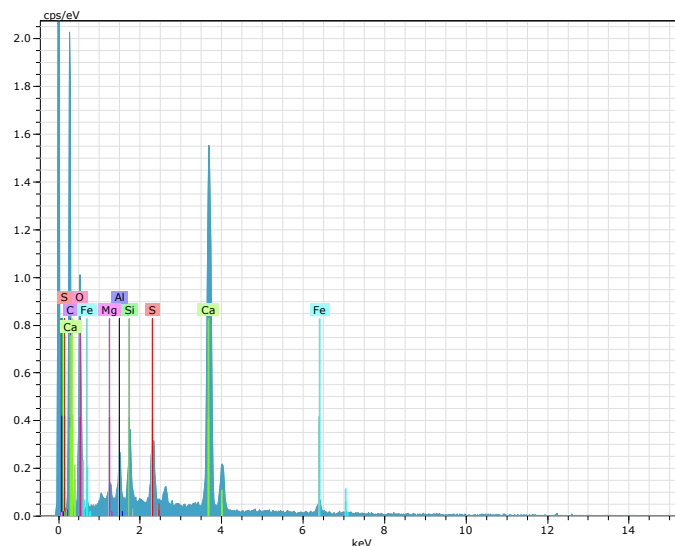
299. kép: A 10. minta alapozójának mérési területe



300. kép: Az alapozó nagyrészt kalciumot, de kén, káliumot és nátriumot is tartalmaz



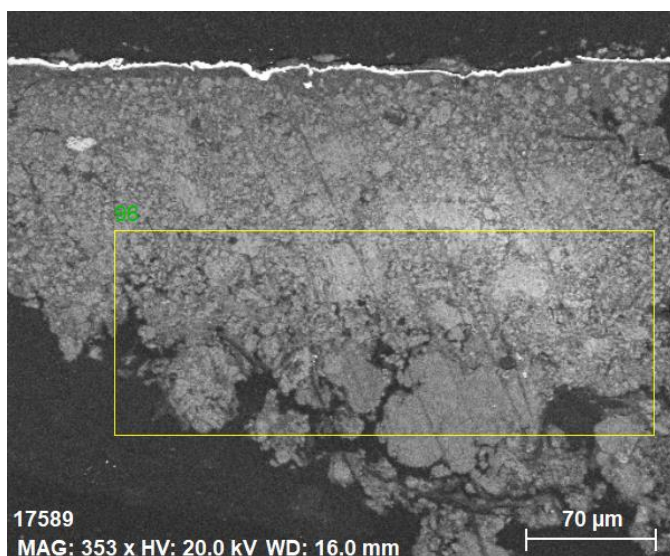
301. kép: A 10. minta festékrétegének mérési területe



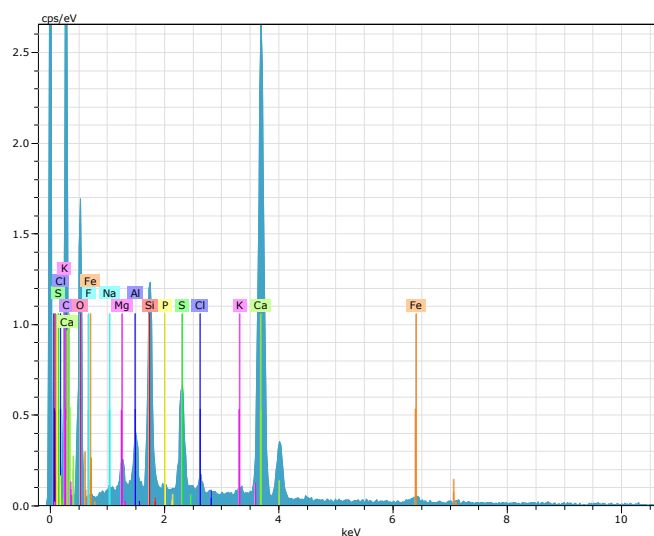
302. kép: A vörös festékrétegben a kalciumon kívül kén, alumínium, és vas is előfordul

A 10. minta hordozója, csakúgy, mint a 3. mintán az elemanalízis szerint agyagos föld lehet, nátrium- és kálium-klorid sókkal. Az alapozó nagyrészt kalcium-karbonát, a festékrétegben pedig vas tartalmú pigment található, valamint kalcium-szulfátra vagy alumínium tartalmú anyagra lecsapatott színezék.

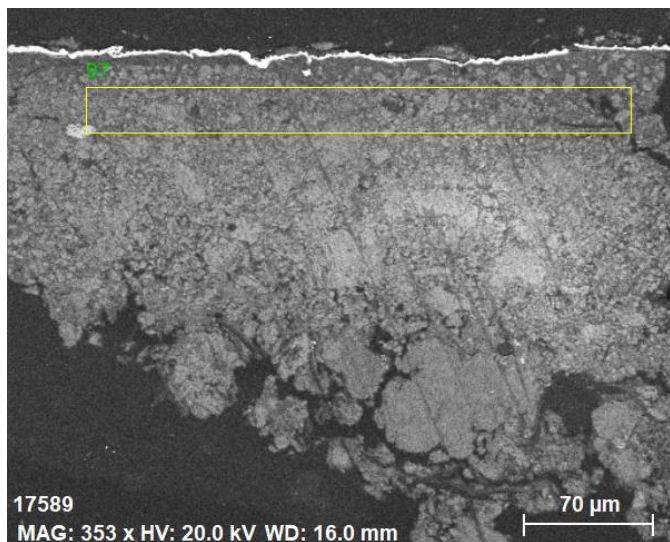
12. minta



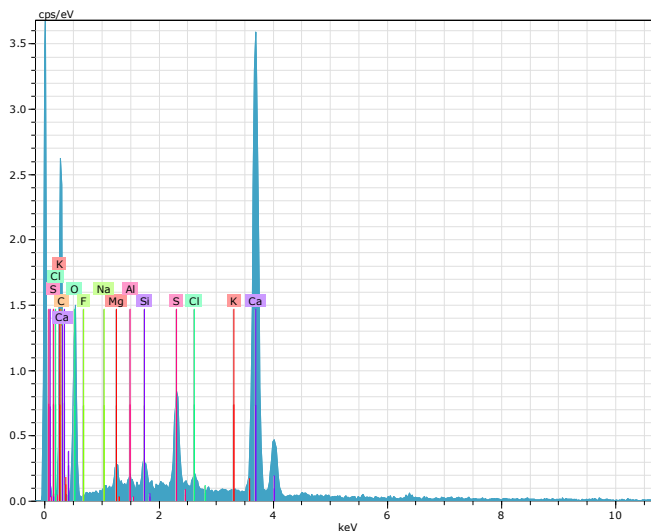
303. kép: A 12. minta hordozójának mérési területe



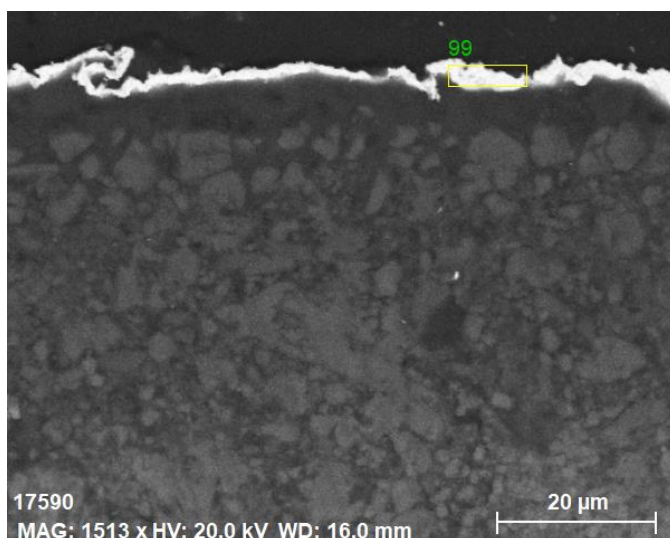
304. kép: A rétegben nagy mennyiségű kalciumon és szilíciumon kívül kén, alumínium, mangán, kálium, nátrium és klór található



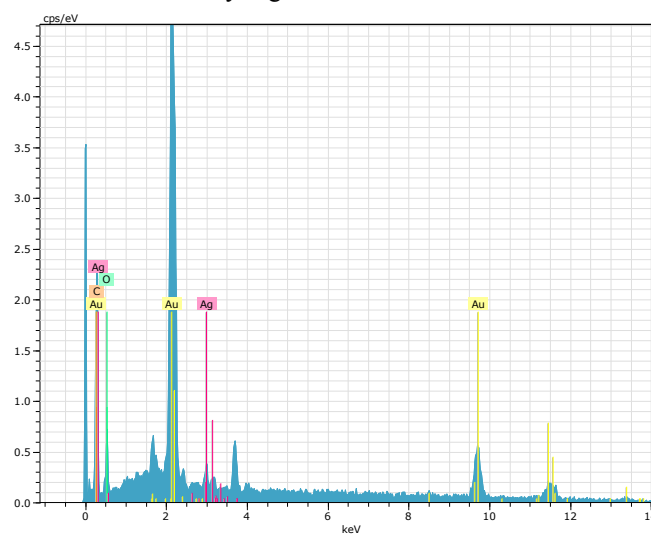
305. kép: A 12. minta alapozójának mérési területe



306. kép: A fehér alapozóban nagyrészt kalcium és kisebb mennyiségben kén is előfordul



307. kép: A fémréteg mérési területe



308. kép: A fémfólia nagyobb mennyiségben aranyat, de kisebb arányban ezüstöt is tartalmaz az ötvözet

Spectrum: 99

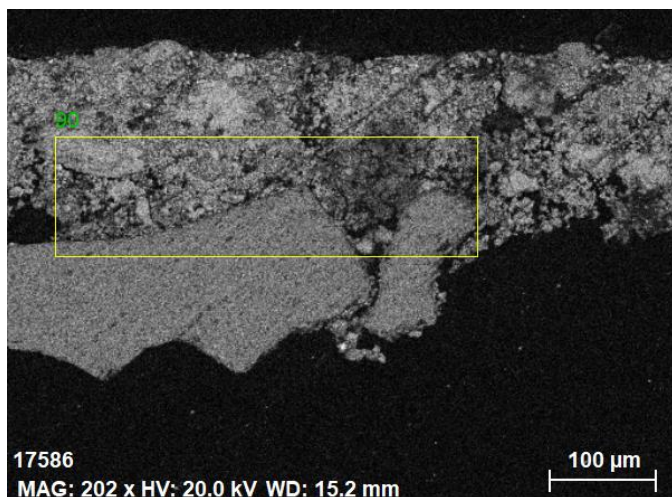
Element	Series	unn. C	norm. C	Atom. C	Error (1 Sigma)
[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	
Gold	L-series	87.72	94.03	89.62	3.20
Silver	L-series	5.57	5.97	10.38	0.31

Total:		93.29	100.00	100.00	

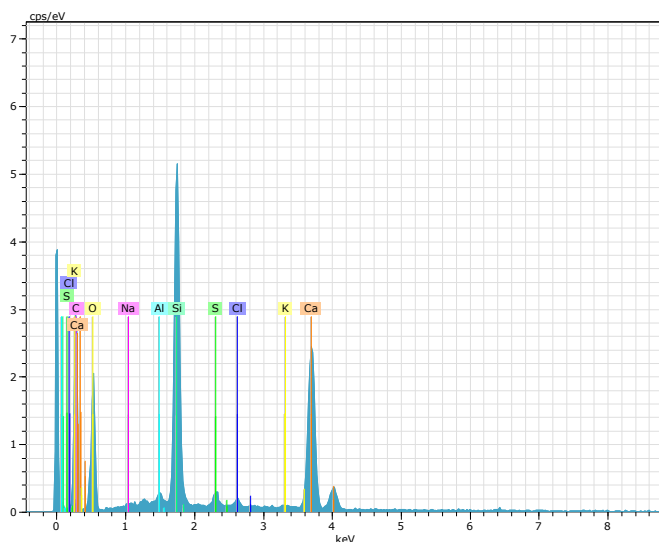
309. kép: A fémfólia összetételének százalékos értékei

A hordozó és az alapozás összetétele egyezik az előző két mintánál megállapítottakkal. A fémfólia ötvözet, anyaga körülbelül 90% arany, és 10% ezüst.

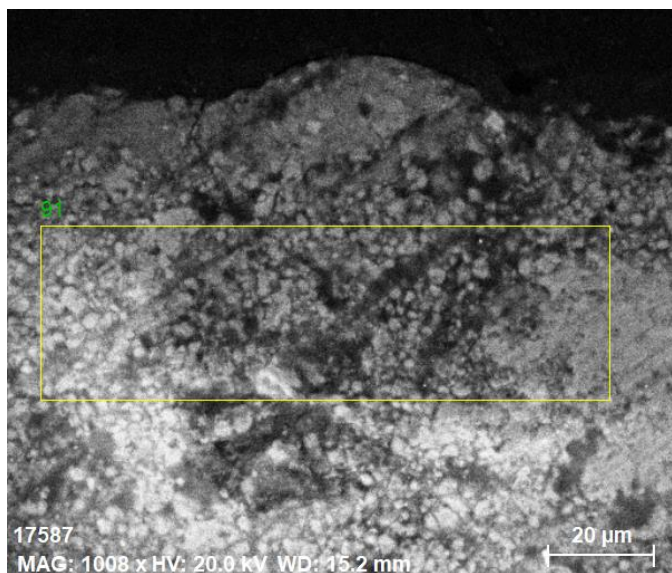
14. minta



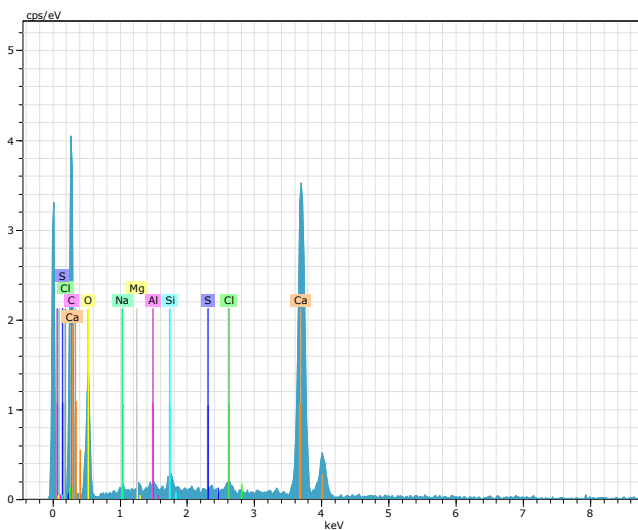
310. kép: A 14. minta hordozójának mérési területe



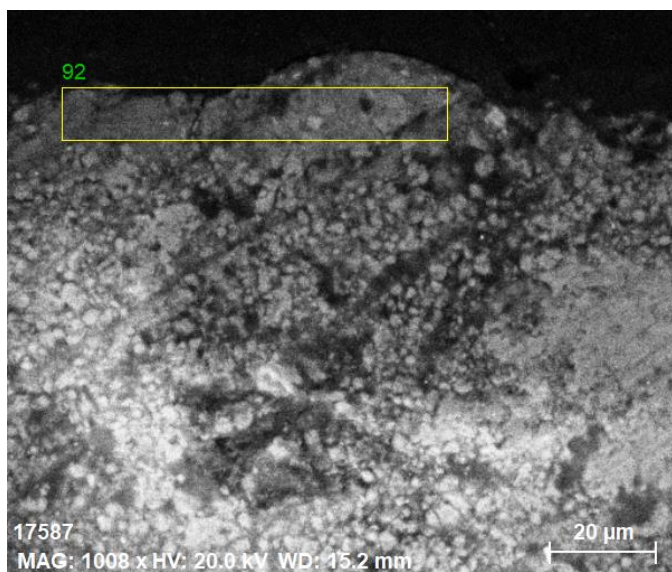
311. kép: A réteg nagy mennyiségű szilíciumot és kalciumot tartalmaz, kevesebb kénnel, nátriummal, káliummal és klórral



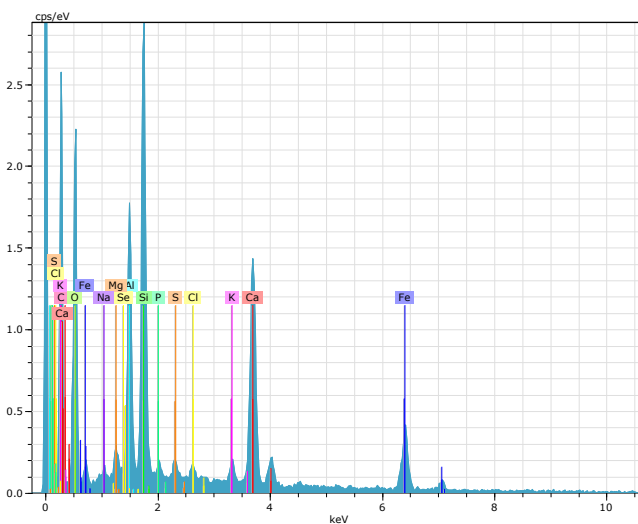
312. kép: A 14. minta alapozójának mérési helye



313. kép: Az alapozó ezen a mintán is főleg kalciumot tartalmaz



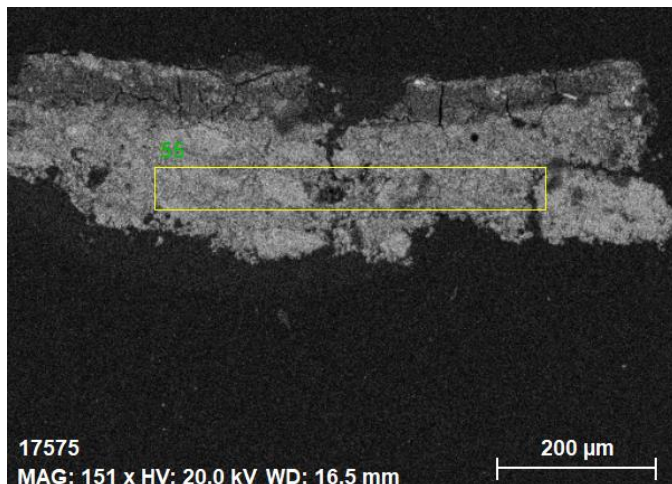
314. kép: A 14. minta sárga festékrétegének mérési helye



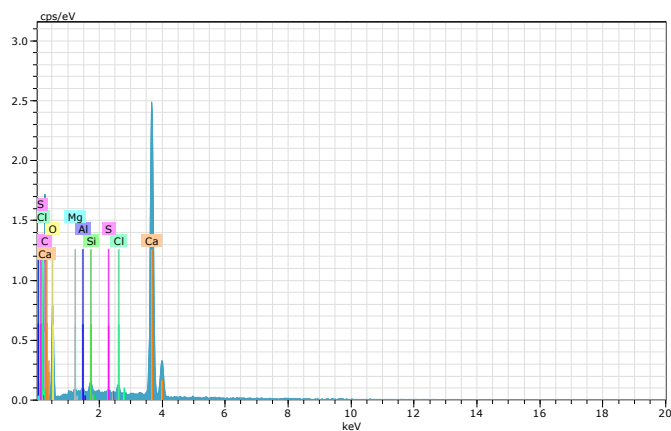
315. kép: A sárga rétegben kimutatható a vas

Az elemanalitikai vizsgálat alapján a hordozó és az alapozás anyaga egyezik az előző mintákéval, a sárga pigment pedig okker, esetleg jarosit lehet.

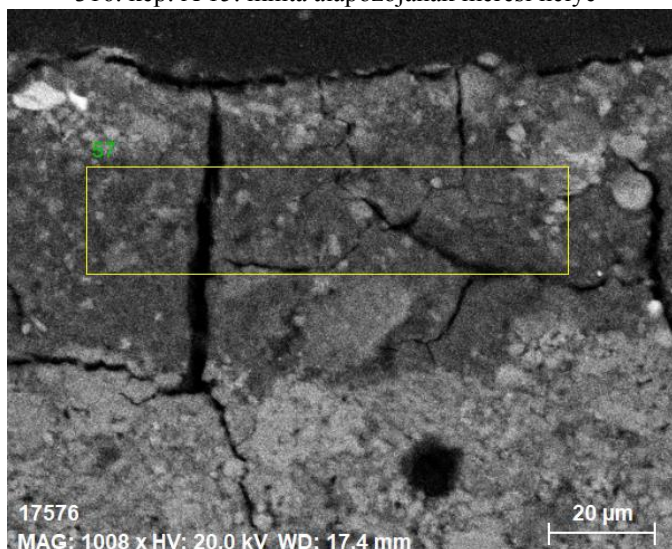
15. minta



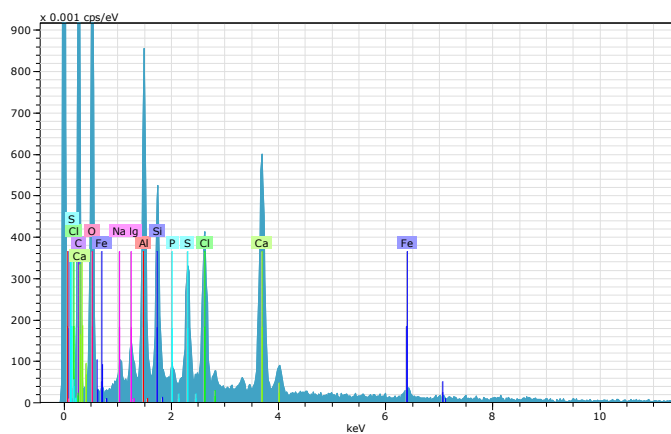
316. kép: A 15. minta alapozójának mérési helye



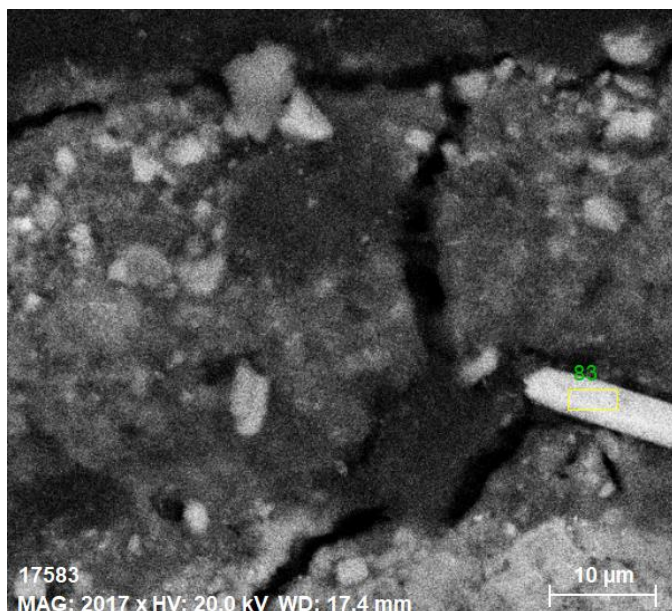
317. kép: A réteg nagyrészt kalciumból áll



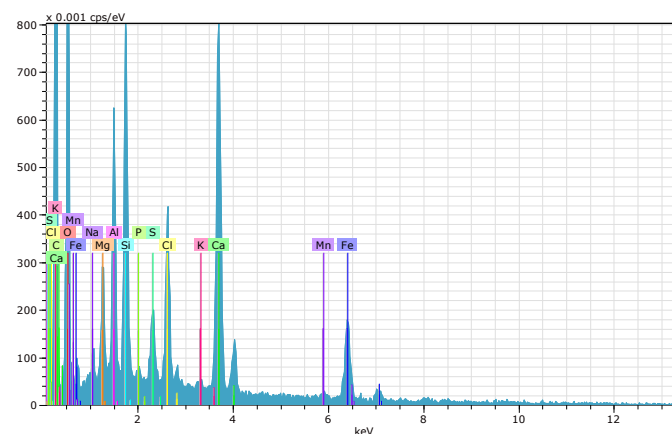
318. kép: A fekete és rózsaszín keverék festékrétegnek mérési helye



319. kép: A festett rétegben nagy mennyiségű kalcium, alumínium, kén és vas is található



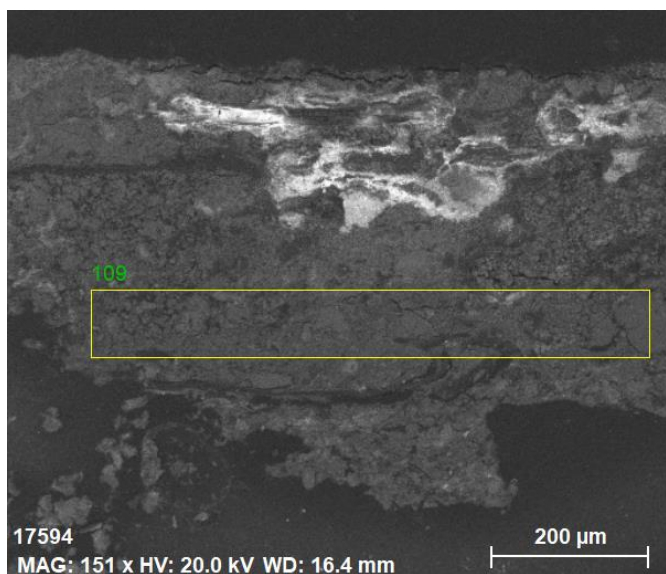
320. kép: A festett réteg egy vöröses szemcséjének mérési pontja



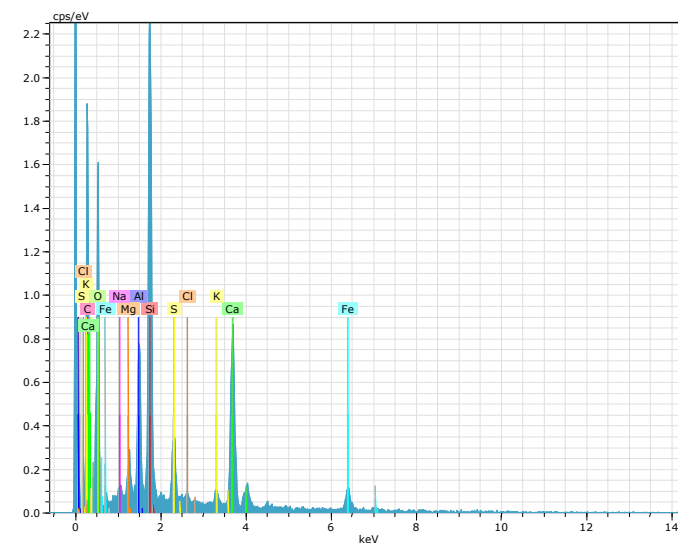
321. kép: A vörös szemcse nagy mennyiségű mangánt, szilíciumot, vasat és kalciumot tartalmaz

A minta alapozórétege a mérések alapján szintén kalcium-karbonát lehet, a festett rétegben kalcium-szulfát előfordulhat, mint a szerves színezék hordozója, valamint vas tartalmú, és földpigmentek is.

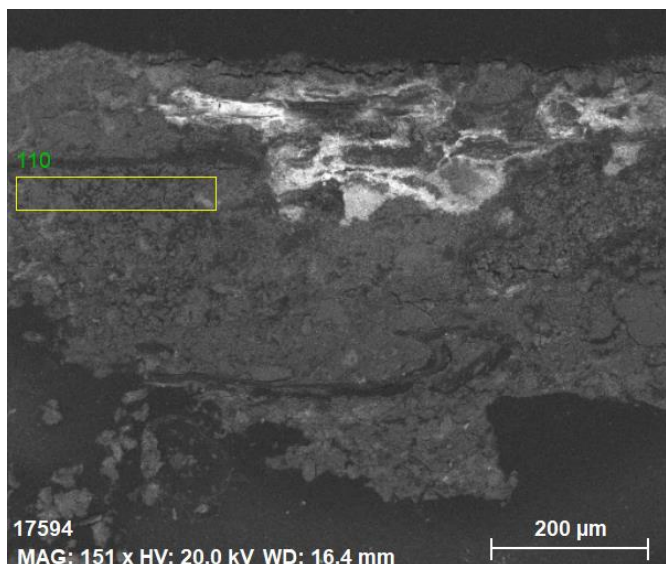
20. minta



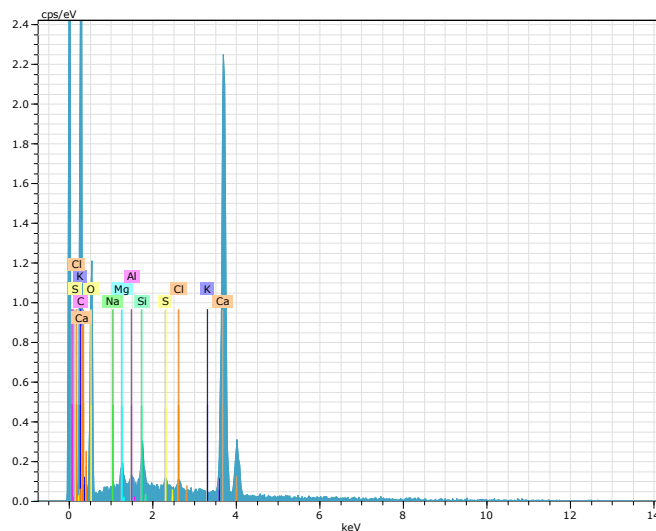
322. kép: A 20. minta hordozójának mérési területe



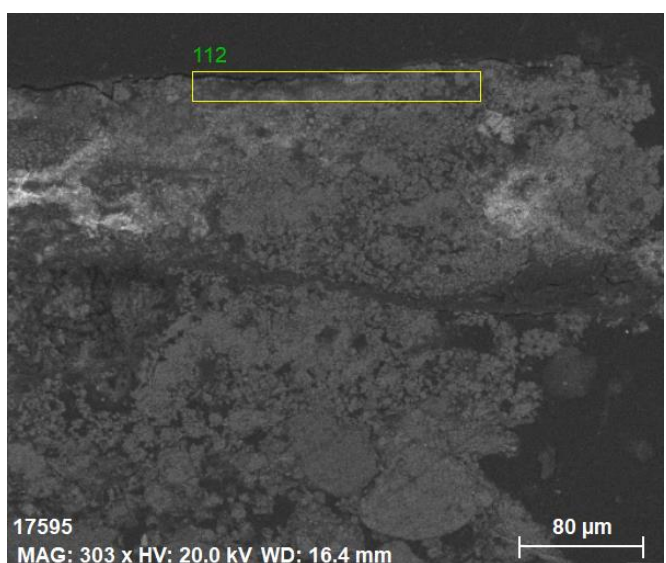
323. kép: A hordozó főleg szilíciumot, kalciumot, alumíniumot, mangánt és vasat tartalmaz



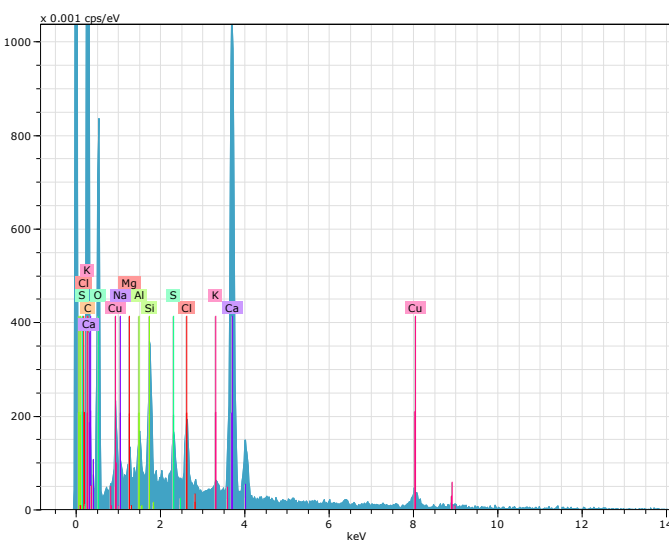
324. kép: A 20. minta alapozójának mérési területe



325. kép: Az alapozó nagyrészt kalciumból áll



326. kép: A zöld festékréteg mérési helye



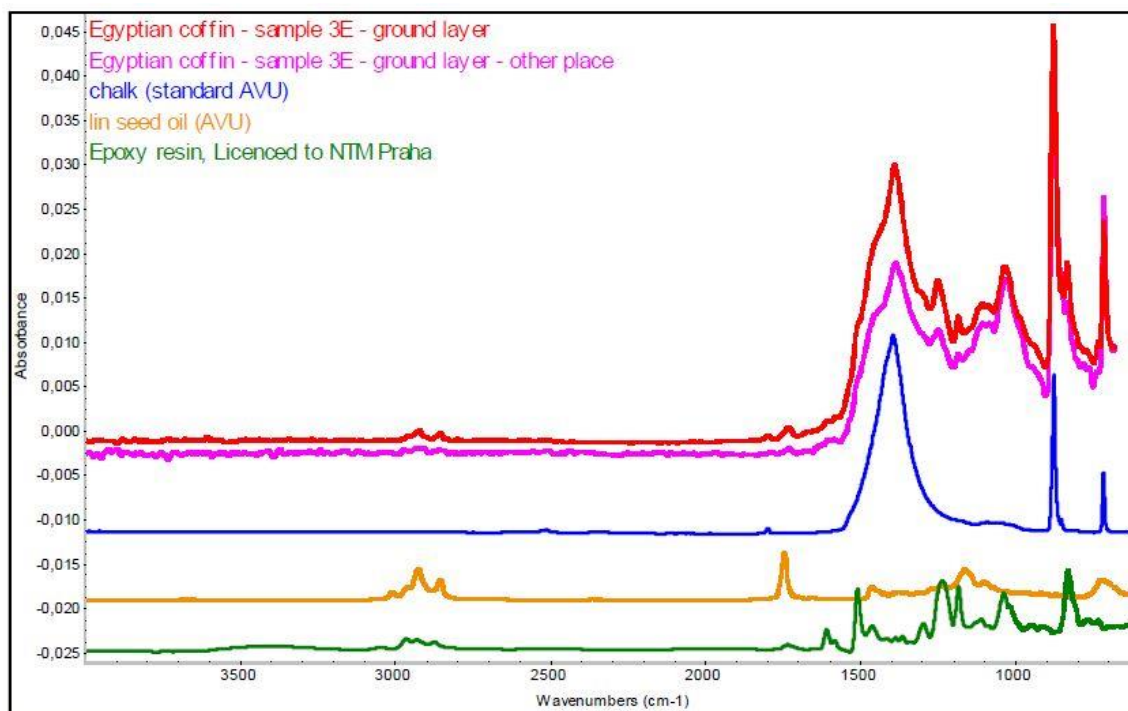
327. kép: A rétegben kalcium mellett szilícium és réz is kimutatható

A 20. minta hordozójának és alapozójának összetétele egyezik az előző mintákéval. A zöld pigment réz tartalmát megerősítette az elemanalitika.

IV.2.4. FTIR

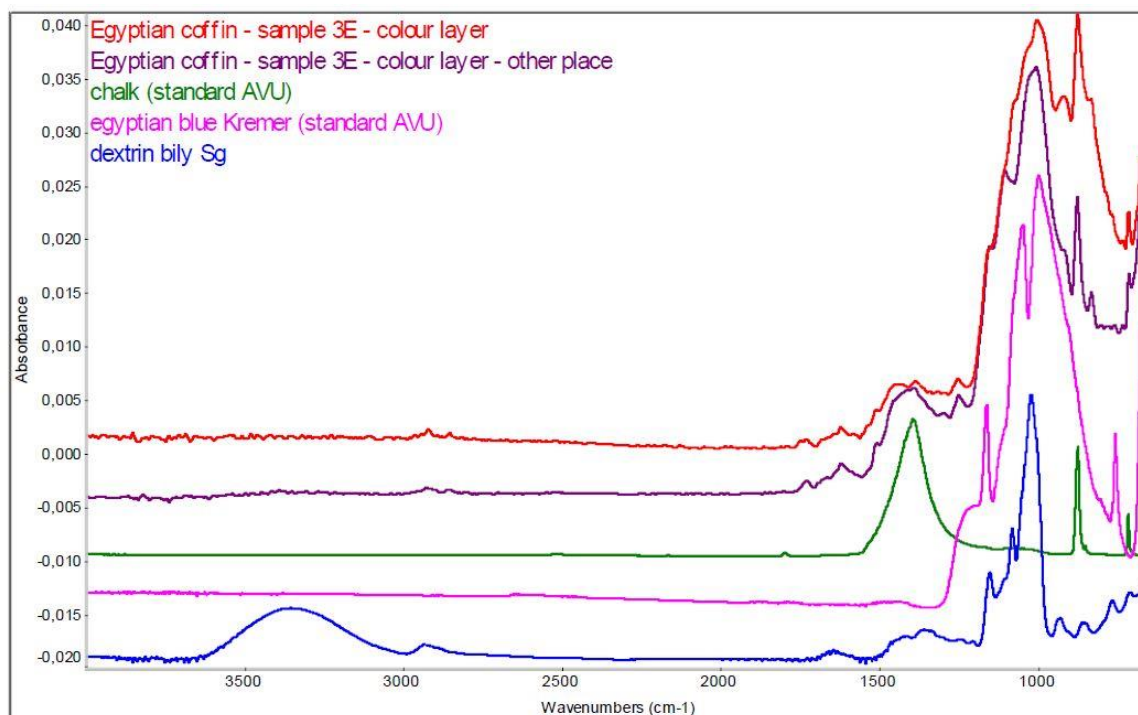
A Fourier Transzformációs infravörös spektroszkópiás mérésekre a 3. 10. és 14. mintákon került sor.

3. minta



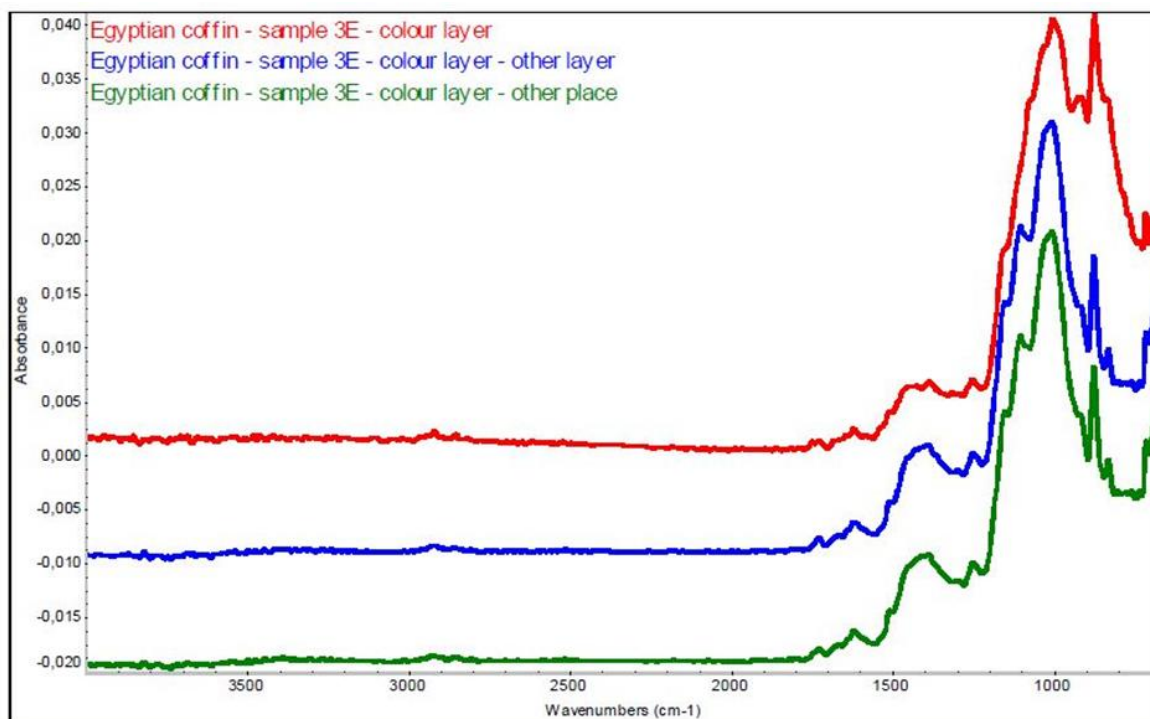
328. kép: A 3. minta világosabb barna hordozó rétegéről készített spektrumok standardokkal összevetve

A 3. minta alapozójában kréta töltőanyag mellett olajra és epoxi műgyantára jellemző csúcsok láthatóak.



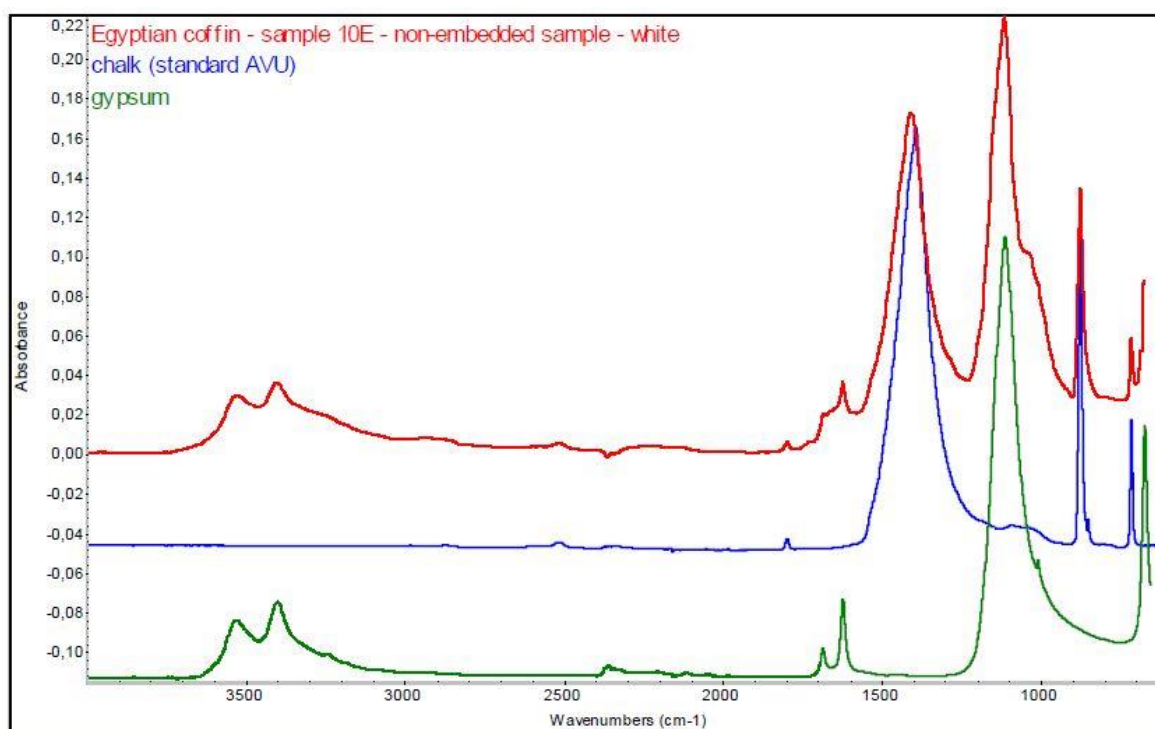
329. kép: A 3. minta kék festékrétegének spektruma standardokkal összehasonlítva

A kék pigmentet spektruma alapján a mérést végző szakemberek egyiptomi kékként határozták meg, kötőanyagként poliszacharidot (pl. dextrint) valószínűsítettek.



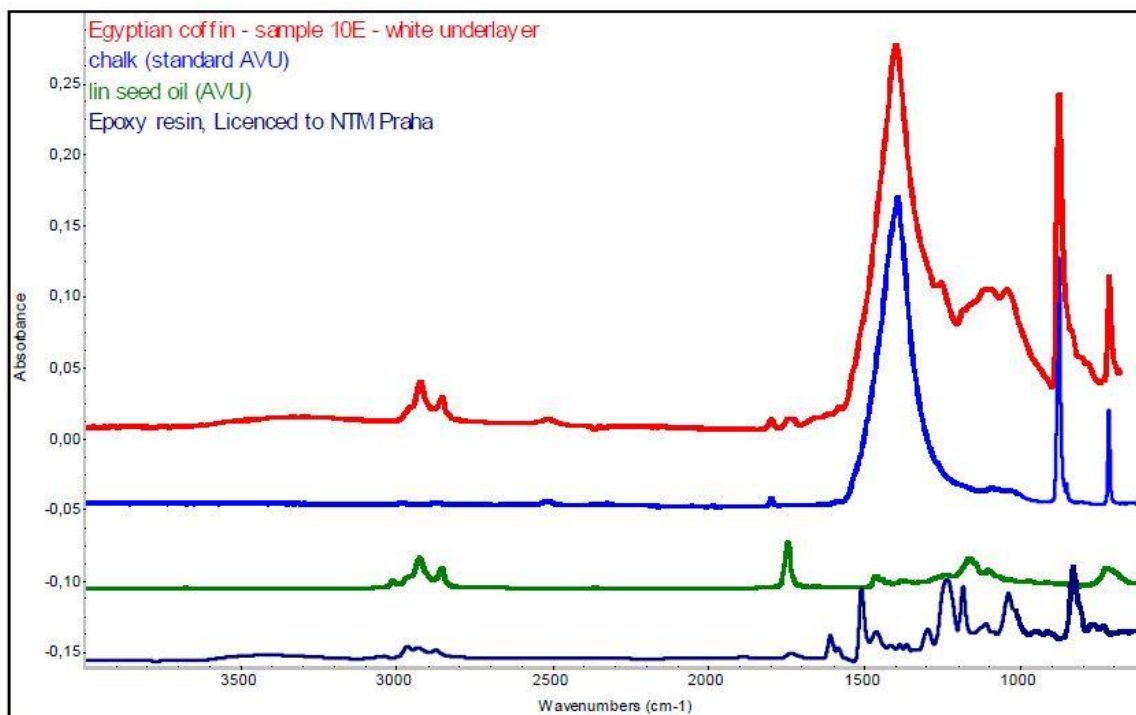
330. kép: A kék festékrétegről felvett spektrumok

10. minta



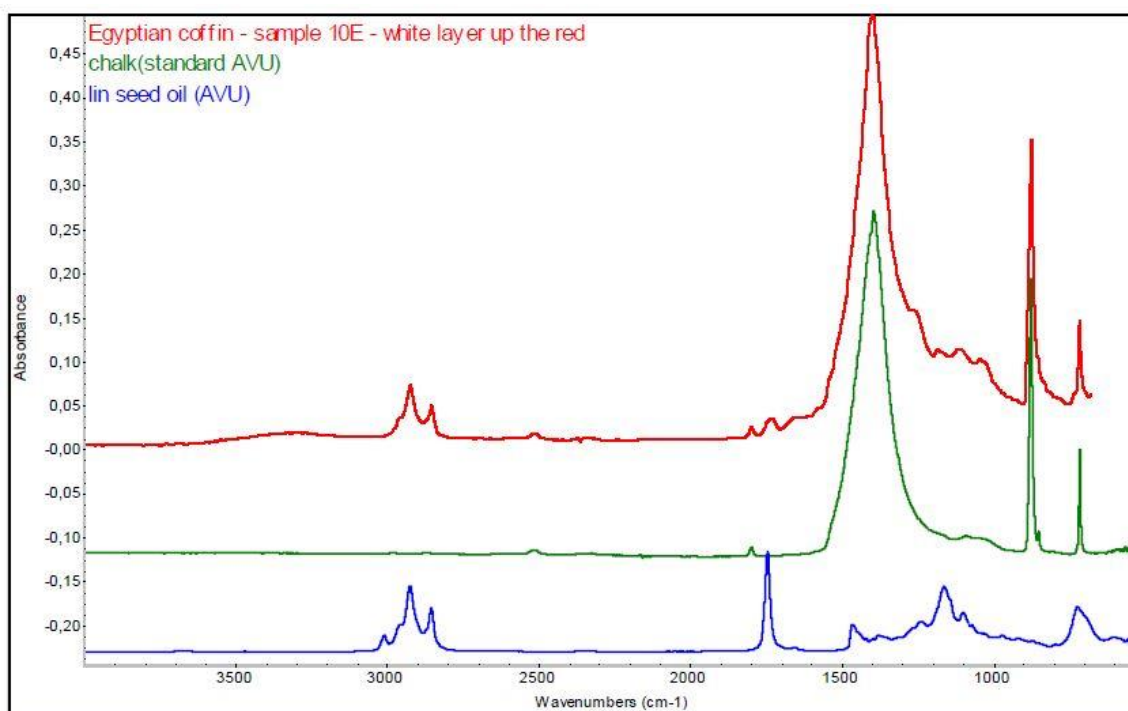
331. kép: A 10. minta alapozójának beágyazatlan darabjáról készített spektrum és standardok

A 10. minta fehér alapozórétege a vizsgálat szerint kréta és gipsz keveréke. Kötőanyagra a szervesetlen összetevők csúcsainak átfedése miatt nem lehetett következtetni.



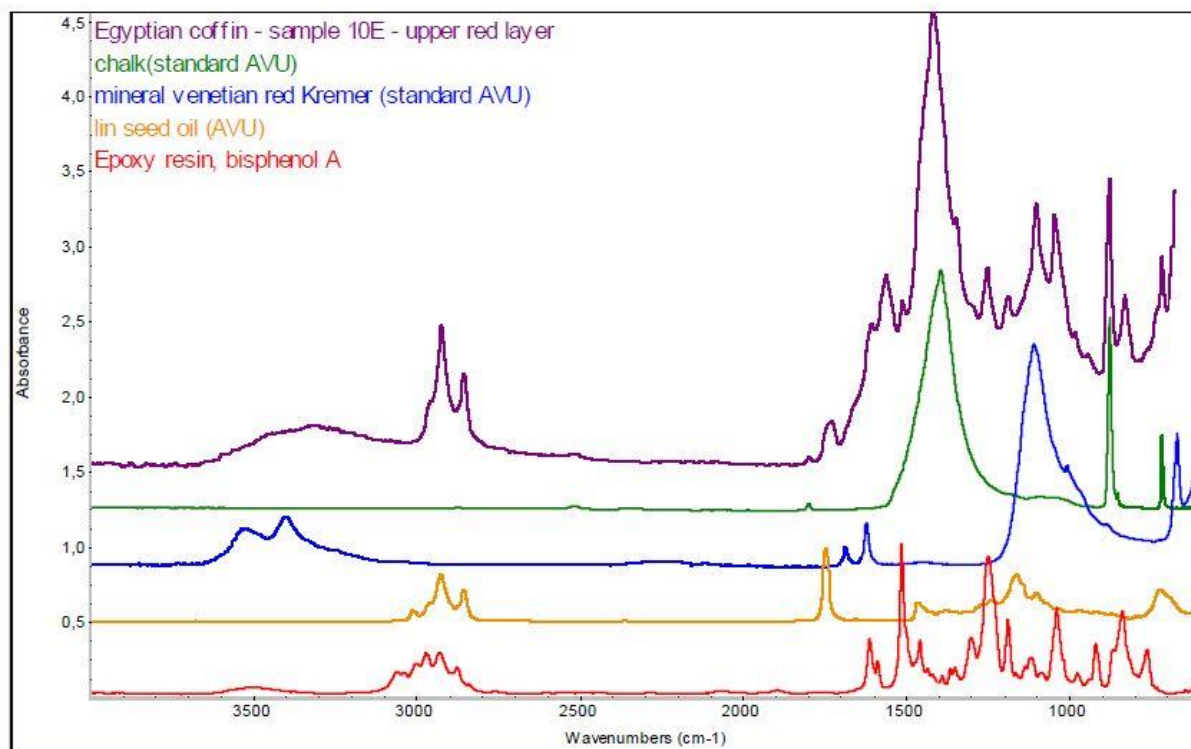
332. kép: A 10. minta alapozórétegének spektruma standardokkal összehasonlítva

A 10. minta fehér alapozásának spektrumán (beágyazott mintán) szintén olaj, epoxi és kréta csúcsokat határoztak meg.



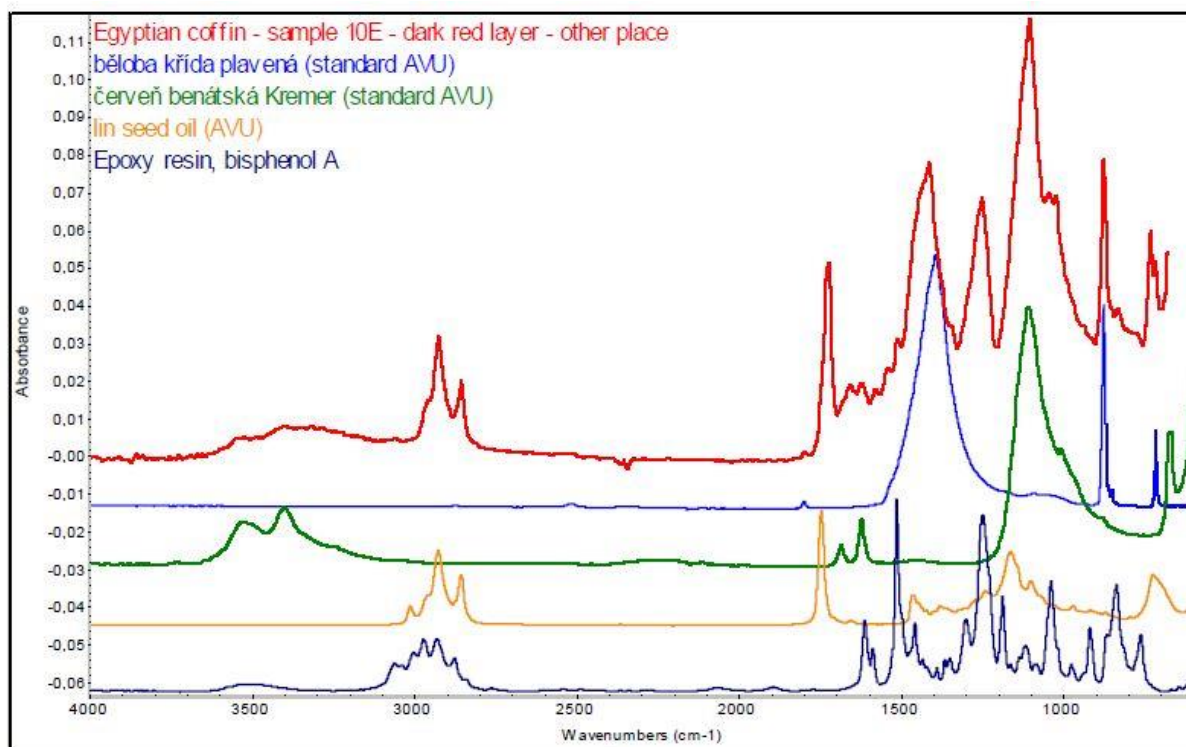
333. kép: A 10. minta két vörös rétege között található fehér spektruma és standardok

A vörös festékrétegek közötti fehér rétegben olajat és krétát feltételeznek a szakemberek.



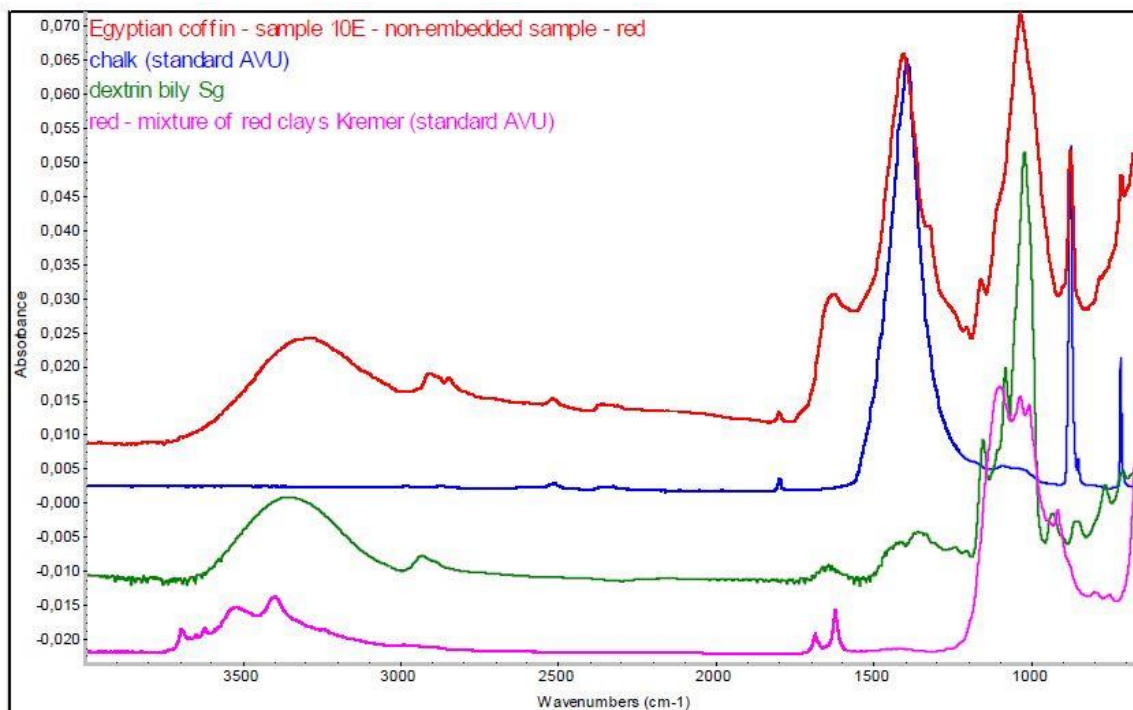
334. kép: A 10. minta rózsaszínes lazúrjának spektruma a standardok mellett

A felső rózsaszínes lazúrban a krétához és vörös okkerhez köthető csúcsokat, valamint kötőanyagként olajat határoztak meg. A beágyazó gyanta sávjai szintén jelen vannak.



335. kép: A minta bal felső részén található töredékes réteg spektruma és standardok

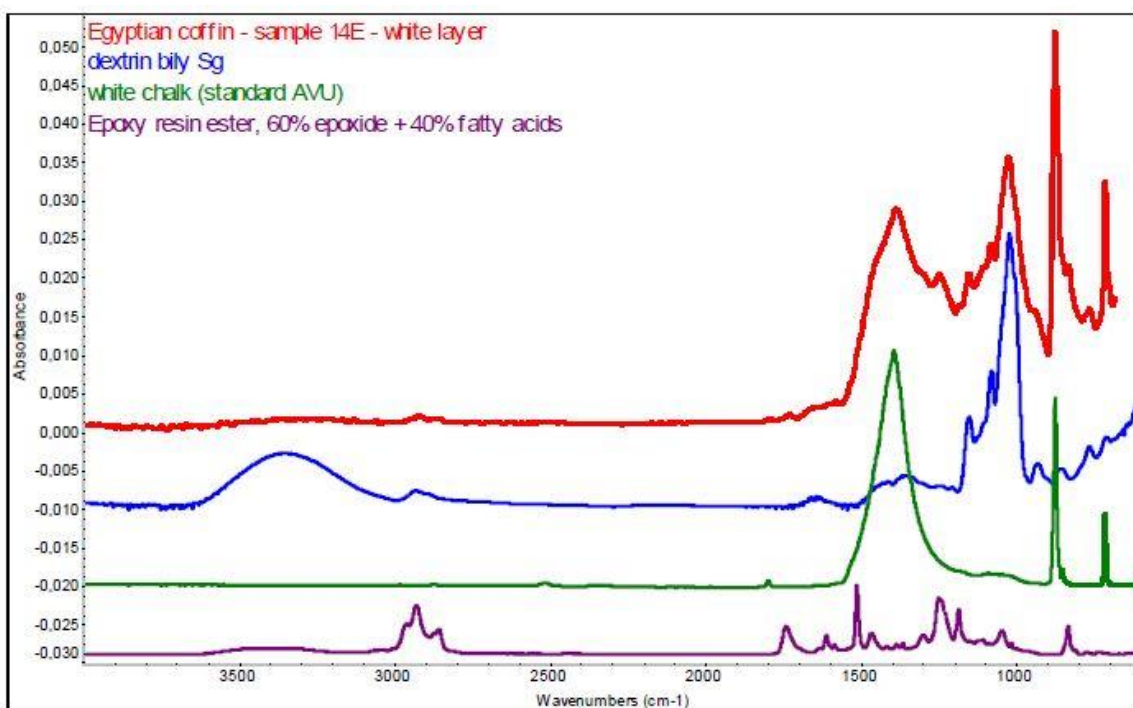
A rétegben a mérések alapján vörös okkert, gipszet és kötőanyagként olajat feltételeznek. A beágyazó epoxi csúcsok jelen vannak a spektrumon.



336. kép: Az alsó vörös réteg beágyazatlan darabjáról felvett spektrum standardokkal összevetve

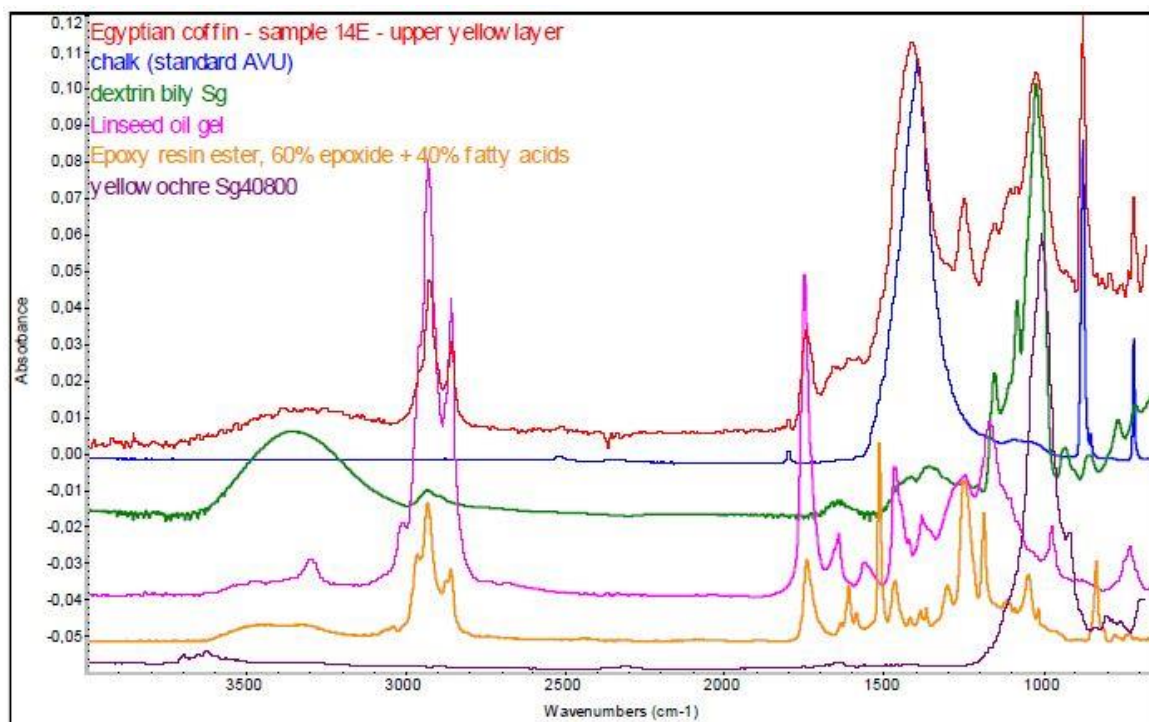
A beágyazatlan vörös festett rétegek görbéje a kréta, vörös okkerek és valamilyen poliszacharid (pl. dextrin) spektrumaival mutat hasonlóságot.

14. minta



337. kép: A 14. minta fehér alapozójának spektruma és standardok

A minta fehér alapozójában a vizsgálat során töltőanyagként krétát, kötőanyagként poliszacharidot (pl. dextrint) határoztak meg, de az epoxi csúcsok is megjelentek a spektrumon.



338. kép: A sárga festékréteg spektruma standardok mellett

A sárga rétegben a krétát és sárga okkert feltételeznek. Kötőanyagként a poliszacharid (pl. dextrin) mellett olaj tartalmat sem zárnak ki, az epoxi sávjai szintén láthatóak a spektrumon.

IV.1.5. A mintákon végzett vizsgálatok összegzése a kötőanyag meghatározás szempontjából

	hordozó és alapozó	3 kék	10 vörös és vörös lazúr	12 arany fólia	14 sárga	15 vörös és vörös feketével keverve	20 zöld	29 fehér	35 vörös
<i>fény mikroszkópos vizsgálat</i>	hordozó: agyag alapozó: főleg kalcium-karbonát	egyiptomi kék	vas-oxid vörös és szerves színezék	arany fólia	sárga okker	vas-oxid vörös és feketék szerves színezékkel keverve		kalcium-karbonát	vas-oxid vörös
<i>mikrokémiai tesztek</i>	pozitív, sósav teszt		pozitív kálium-ferrocianid teszt (vas)		pozitív kálium-ferrocianid teszt (vas)	pozitív kálium-ferrocianid teszt (vas)	pozitív kálium-ferrocianid teszt (vas) pozitív kénhidrogén teszt (réz)	pozitív, sósav teszt	
<i>cseppentéses tesztek</i>									
<i>fehérje</i>	?	negatív	negatív			negatív		?	
<i>olaj</i>	pozitív ?	pozitív ?	pozitív ?			negatív ?		pozitív ?	
<i>keményítő</i>	pozitív							pozitív	
<i>gyanta</i>		negatív	negatív						
<i>gumi</i>	negatív	negatív						negatív	
<i>Sem-EDX</i>	hordozó: agyag alapozó: kalcium-karbonát, kalcium-szulfát	egyiptomi kék	vörös okker, kalcium karbonát	arany és ezüst fólia	sárga okker	vörös okker, csont fekete, kalcium-karbonát, kalcium-szulfát, földpigment	réz tartalmú zöld		
<i>FTIR</i>	hordozó: alumínium szilikátok kalcium-karbonát polisza-charid	egyiptomi kék, olaj (?), polisza-charid	kalcium-karbonát vörös okker, olaj (?), polisza-charid, beágyazó gyanta		sárga okker, polisza-charid, olaj (?), beágyazó gyanta				

2. táblázat: A mintákon végzett tesztek eredményeinek összegzése

A hordozón végzett elemanalitikai mérések alátámasztották a fénymikroszkópos vizsgálatok eredményeit, ezek szerint a szarkofág alapját képző anyag agyag és homok (kvarc, montmorillonit, kaolinit,

és anortit) keveréke, ezt pontosan egy utólag végzett röntgen diffrakciós vizsgálat is kimutatta¹⁹. A felsőbb, világosabb barna részeken kalcium-karbonát (kréta) is található benne. Az FTIR vizsgálat is a hordozót alumínium-szilikátok és kalcium-karbonát keverékeként határozta meg.

A fehér alapozás töltőanyaga kalcium-karbonát (kréta), a mikroszkópos, mikrokémiai és műszeres vizsgálatok alapján is. A kötőanyagra vonatkozóan a cseppentéses tesztek poliszacharidot (keményítő vagy dextróz) jeleztek. Az olaj kimutatására végzett hidrogén-peroxidos vizsgálattal nem kaptunk egyértelmű negatív eredményt, mivel hab képződött a reakció során. Az FTIR mérések spektrumain mindkét kötőanyag csoportra jellemző csúcsokat találtunk, tehát elképzelhető hogy a poliszacharid mellett olaj is található benne.

A festett rétegek mikroszkópos, elemanalitikai és spektroszkópiás vizsgálatának eredményei nagyon hasonló eredményeket adtak. A 3. minta kék pigmentje mikroszkópos jellemzői alapján egyiptomi kék, a SEM-EDS mérés és az FTIR vizsgálat igazolta ezt. A 10. minta alsó vörös festékrétege vastartalmú, felette a fehér réteg kalcium-karbonát, ezt mindhárom eljárás alátámasztotta. A legfelső réteg színezékének hordozója az elemanalitika szerint valószínűleg kalcium-szulfát, az FTIR spektrumokon szintén találunk gipszre jellemző sávokat. A fémrétegen végzett SEM-EDS mérés megerősítette a fénymikroszkópos és mikrokémiai tesztek eredményét, vagyis valóban aranyfóliát használtak. Az elemanalitika révén megtudhattuk, hogy ezt kis mennyiségű ezüsttel ötvözték. Minden eljárással megerősítést nyert, hogy a 14. mintán található sárga pigment vastartalmú, valószínűleg okker. A 15. minta alsó festékrétege vörös okker, ezt minden technika egyértelműen igazolja. A felette található keverék rétegben az elemanalitika alapján a színezék hordozója kalcium-szulfát. A mérések föld pigmenteket is feltételeznek a rétegben. A 20. minta zöld szemcséiben a SEM-EDS mérések megerősítették a réz tartalmát, vagyis valamilyen réz tartalmú pigmentről van szó. Az elemanalitikai vizsgálat szinte az összes rétegben kimutatott klórt, nátriumot és káliumot, ezek feltehetően sóként vannak jelen a tárgyban.

A festett rétegek kötőanyagaina végzett vizsgálatok hasonló eredményeket adtak, mint az alapozónál. A cseppentéses tesztek közül az olaj kimutatására végzett vizsgálat nem adott ugyan egyértelmű pozitív eredményt (nem volt stabil a képződött hab), de negatív se, viszont a poliszacharidokat jelző színreakció végbement. Az FTIR mérések spektrumain szintén olajra és poliszacharidra jellemző sávokat állapítottak meg. Mivel a szarkofágot egy korábbi restaurálás alkalmával műgyantával kezelték, elképzelhető, hogy ez az anyag befolyásolta a kötőanyag vizsgálatok eredményeit.

¹⁹ A méréseket Sajó István végezte, ennek alapján az agyagos alapanyagban a kvarc 30%, a montmorillonit 30%, a kaolinit 10%, és az anortit 30%

```
[FileName] Sample Id.:      MeasDate Wavenum Tube kV mA Step  ScanRange  Max.I
[ge_rs58 ] 58.sár, római szarkofág  07-19-2018 1.5419  Cu 40 35 0.04  2.8-54.8  1266

Reference patterns:
*33-1161 Quar  Quartz          SiO2
*13-0135 MntA  Montmorillonite (revised) (Ca,Mg)0.6Al2Si4O10(OH)2 H2O
*79-1870 KaoT  Kaolinite 1T      Al2[Si2O5(OH)4]
*76-0949 AnoS  Anorthite sodian, An66Ab34 Na0.34Ca0.66Al1.66Si2.34O8
```


V. A VIZSGÁLATOK SORÁN SZERZETT TAPASZTALATOK ÖSSZEGZÉSE

A két műtárgyon végigvitt vizsgálsor jól illusztrálja, hogy minél több típusú tesztet végzünk el, annál pontosabb képet kapunk az alkalmazott anyagokról. Az egyes technikák kiegészítették egymást: a fénymikroszkópos vizsgálat az alapot jelentette, a rétegrendet és a szemcsekaraktert határoztuk meg vele. A szervetlen összetevőkre végzett mikrokémiai tesztek eredményei összhangban vannak a SEM-EDS mérések adataival. Az elemanalitika révén olyan információkhoz jutottunk, amelyek kizárólag fénymikroszkópos vizsgálattal nem megszerezhetők: például megtudtuk a szarkofágon található fémfólia pontos összetételét, vagy egy kérdéses típusú pigmentet felépítő elemek arányát a szemcsékben (auripigment-realgár). A cseppentéses tesztek eredményeit az FTIR mérések megerősítették, a két műtárgy esetében jól működtek ezek az eljárások.

Fontos tapasztalat, hogy kizárólag egy típusú vizsgálat alapján nem szabad végleges következtetéseket levonni. Például kizárólag az FTIR méréssel a szarkofág kék festékrétege esetében a szilikát kötések rezgése alapján ultramarin kékre (összegképlete: $3\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{Na}_2\text{S}$) és egyiptomi kékre ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$) is gyanakodhatnánk. A két pigment fénymikroszkópos tulajdonságai azonban teljesen eltérőek, jól megkülönböztethető a két anyag. Az elemanalitikai mérések szintén segítségünkre vannak a pontosításban: réz (Cu) és kalcium (Ca) tartalom esetén egyiptomi kék, magas nátrium (Na) és alumínium (Al) tartalom esetén ultramarinról lehet szó. Ez a példa arra hívja fel a figyelmet, hogy a kiértékelést végző személynek tisztában kell lennie az adott anyagcsoport tulajdonságaival, hogy a téves következtetéseket elkerülhessük. Csupán egyetlen technika, vagy egyetlen vizsgálat eredményeinek használatával félrevezető adatokat is kaphatunk. Ha a kiértékelést ilyen módon végző szakember tapasztalatlansága miatt hamis eredményeket közöl az esetleg szintén hozzá nem értő megrendelővel (pl. ha egyéb tudományterületről, művészettörténet, egyiptológia stb. érkezik a kérés), az téves megállapításokhoz vezethet egy műtárgy esetében. Ezért nagyon lényeges az eredmények közlésénél megadni, hogy mi alapján állapította meg az adott anyagot a szakember (pl. az említett fenti esetben az FTIR mérésnél a szilikát csúcs alapján). Ezen a módon, a többi vizsgálat eredményével összevetve, elkerülhetőek a félreértelmezések, és szakszerű megállapítások tehetők.

Összefoglalva a tapasztalatokat, a cseppentéses (spot) tesztek jó alternatívát jelenthetnek a kötőanyagra vonatkozó gyors, költséghatékony vizsgálatok között. Segítségükkel a dolgozatban tárgyalt két esetben elég pontos eredményeket kaptunk, amelyeket műszeres vizsgálat is megerősített.

VI. IRODALOMJEGYZÉK

BAYER, K., BAYEROVÁ, T.: Basics of binding media and pigment identification, (egyetemi jegyzet), 2018

MASSCHELEIN-KLEINER, L.: Analysis of paint media, varnishes and adhesives, PACT, 1986, pp. 185-189. (Kühn hidrogén-peroxid teszt)

PLESTERS, J.: Cross-sections and chemical analysis of paint samples, Studies in Conservation, 1956, Vol. 2., pp. 110-157.

internetes oldalak:

<http://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termesztudomanyok/kemia/szerves-kemia/nitrogentartalmu-heteroaromas-vegyuletek/a-pirrol-az-imidazol-es-a-purin> 2018.05.16.

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/4-dimethylamino-benzaldehyde#section=Top> 2018.05.16.

<https://www.ankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/oxford-typotex-kemiai/ch01s17.html> 2018.05.16.

<https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/oxford-typotex-kemiai/ch01s17.html> 2018.05.16.

<https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/oxford-typotex-kemiai/ch01s17.html> 2018.05.18.

<https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/oxford-typotex-kemiai/ch01s08.html> 2018.05.18.

<https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/oxford-typotex-kemiai/ch01s17.html> 2018.05.18.

<https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/oxford-typotex-kemiai/ch01s04.html> 2018.05.18.

<https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/oxford-typotex-kemiai/ch01s06.html> 2018.05.18.

<https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/o1875?lang=hu®ion=HU> 2018.05.18.

https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/oxford-typotex-kemiai/ch01s05.html#etansav_anhidrid 2018.05.18.

<https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/oxford-typotex-kemiai/ch01s11.html> 2018.05.18.

VII. KÉPJEGYZÉK

1. kép: A reakció folyamata (Bayer, K., Bayerová, T., 2018)
2. kép: Az elkészített P-DAB reagens és a szükséges anyagok: p-Dimetil-amino-benzaldehid és metánsav (hangyasav) *A szerző felvétele*
3. kép: A szétválasztott réteg darabkája *A szerző felvétele*
4. kép: A szétválasztott réteg darabkait a kapillárisba helyezzük, kb. 2 cm-nyire az egyik végétől *A szerző felvétele*
5. kép: A minta a kapillárisban *A szerző felvétele*
6. kép: A kémcső végét gázláng felett összeolvasztjuk – bezárjuk *A szerző felvétele*
7. kép: A mintát lerázzuk a kapilláris összezárt végébe *A szerző felvétele*
8. kép: A szűrőpapírból vékony csíkot vágunk *A szerző felvétele*
9. kép: A levágott papírt a kémcsőbe próbáljuk *A szerző felvétele*
10. kép: A szűrőpapír végét a reagensbe mártjuk, majd visszaillesztjük a kapillárisba *A szerző felvétele*
11. kép: Gázláng felett fokozatosan melegítjük a mintát *A szerző felvétele*
12. kép: A reakció folyamata (Bayer, K., Bayerová, T., 2018)
13. kép: A vizsgálandó réteg darabkája *A szerző felvétele*
14. kép: A mintát porítjuk *A szerző felvétele*
15. kép: Tömény ammónium-hidroxidot cseppentünk a mintára *A szerző felvétele*
16. kép: Tömény hidrogén-peroxidot adunk az oldathoz *A szerző felvétele*
17. kép: A megcseppentett minta a tárgylemezen *A szerző felvétele*
18. kép: A pozitív reakció eredménye stabil hab *A szerző felvétele*
19. kép: A reakció folyamata (Bayer, K., Bayerová, T., 2018)
22. kép: Kis mennyiséget felszívunk a kapillárisba a reagensből *A szerző felvétele*
23. kép: Gázláng felett lezárjuk a cső végét *A szerző felvétele*
24. kép: Kémcsőfogóval mozgatjuk a kémcsövet *A szerző felvétele*

25. kép: Gázláng felett óvatosan melegítjük a kémcsövet *A szerző felvétele*
26. kép: A mintával összekevert Bial's reagens a melegítés előtt *A szerző felvétele*
27. kép: Pozitív eredmény, zöld szín *A szerző felvétele*
28. kép: A teszthez szükséges anyagok és eszközök *A szerző felvétele*
29. kép: A mintára ecetsav-anhidridet cseppentünk *A szerző felvétele*
30. kép: A feloldott mintát kapillárisba szívjuk fel *A szerző felvétele*
31. kép: Kénsav és ecetsav-anhidridben feloldott minta a kapillárisban *A szerző felvétele*
32. kép: A cső végét gázláng felett lezárjuk *A szerző felvétele*
33. kép: Pozitív eredmény, egyenletes lilás-barna szín *A szerző felvétele*
34. kép: A reakció folyamata (Bayer, K., Bayerová, T., 2018)
35. kép: A vizsgálathoz szükséges anyagok és eszközök *A szerző felvétele*
36. kép: Cseppentsünk az oldatból a tárgylemezre a minta mellé *A szerző felvétele*
37. kép: A reagens a tiszta keményítő mellett *A szerző felvétele*
38. kép: Kék színű komplex jön létre *A szerző felvétele*
39. kép: A reagens a tiszta dextrin mellett *A szerző felvétele*
40. kép: Barnás színű komplex jön létre *A szerző felvétele*
41. kép: Mintavételi helyek Altobello Melone: Krisztus színeváltozása című festményén http://www.szepmuveszeti.hu/adatlap_eng/the_transfigurationaltobello_melone_9818 2018.05.22. A kép alapján készítette a szerző
42. kép: A mintavételi hely fotója *A szerző felvétele*
43. kép: A minta sztereo mikroszkópos képe felülnézet (balra) és alulnézet (jobbra) *A szerző felvétele*
44. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
45. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
46. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
47. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív *A szerző felvétele*

48. kép: Míniium szemcse, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
49. kép: Míniium szemcse jellegzetes zöld interferencia színe, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
50. kép: Rózsaszín szemcsék a lazúrból, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
51. kép: Kénhidrogén teszt az 1. mintán *A szerző felvétele*
52. kép: A mintavételi hely fotója *A szerző felvétele*
53. kép: A minta sztereo mikroszkópos képe felülnézet (balra) és alulnézet (jobbra) *A szerző felvétele*
54. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
55. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
56. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
57. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
58. kép: Azurit szemcsék vörös kíséőásvánnyal, párhuzamos (balra) és keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
59. kép: A mintavételi hely fotója *A szerző felvétele*
60. kép: A minta sztereo mikroszkópos képe felülnézet (balra) és alulnézet (jobbra) *A szerző felvétele*
61. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
62. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
63. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
64. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
65. kép: Zöld és vörös szemcse párhuzamos (balra) és részben keresztezett analizátor - polarizátor állás, polarizációs m., 40x-es objektív *A szerző felvétele*
66. kép: Kénhidrogén teszt *A szerző felvétele*
67. kép: Mikrokémiai teszt vas- és réztartalom kimutatására *A szerző felvétele*
68. kép: A mintavételi hely fotója *A szerző felvétele*
69. kép: A minta sztereo mikroszkópos képe felülnézet (balra) és alulnézet (jobbra) *A szerző felvétele*

70. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
71. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
72. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
73. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív
74. kép: Kettőstörő fehér szemcsék aggregátumba rendeződve, párhuzamos (balra) és keresztezett (jobbra) analízátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
75. kép: Pozitív kénhidrogén teszt *A szerző felvétele*
76. kép: A mintavételi hely fotója *A szerző felvétele*
77. kép: A minta sztereo mikroszkópos képe felülnézet (balra) és alulnézet (jobbra) *A szerző felvétele*
78. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
79. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
80. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
81. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
82. kép: Vörös szemcse és aggregátumba összeállt kettőstörő fehér pigment, párhuzamos és keresztezett analízátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
83. kép: A mintavételi hely fotója *A szerző felvétele*
84. kép: A minta sztereo mikroszkópos képe felülnézet (balra) és alulnézet (jobbra) *A szerző felvétele*
85. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
86. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
87. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
88. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
89. kép: Hasábos, gyantaszerűen fénylő szemcsék, párhuzamos (balra) és keresztezett (jobbra) analízátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
90. kép: A mintavételi hely fotója *A szerző felvétele*
91. kép: A minta sztereo mikroszkópos képe felülnézet (balra) és alulnézet (jobbra) *A szerző felvétele*

92. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
93. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
94. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
95. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
96. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
97. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
98. kép: Vörös szemcse az alsó festékrétegből, párhuzamos (balra), és keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
99. kép: Vörös és fekete szemcsék az alsó festékrétegből, párhuzamos (balra), és keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
100. kép: Rózsaszín szemcsék a lazúrból, párhuzamos (balra), és keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
101. kép: A kék csapadék vasat jelez a vörös rétegben *A szerző felvétele*
102. kép: Kalcium-szulfát szemcse, keresztezett analizátor - polarizátor állás, beiktatott lambda lemez (jobbra), pol. m., 40x-es objektív *A szerző felvétele*
103. kép: Mikrokémiai teszt az alapozón *A szerző felvétele*
104. kép: A megvizsgált alapozó darab (az 1-es mintából) *A szerző felvétele*
105. kép: Pozitív eredmény az alapozóra *A szerző felvétele*
106. kép: A teszthez használt kék festékréteg (2.) darabjai *A szerző felvétele*
107. kép: Negatív eredmény a kék festékrétegre *A szerző felvétele*
108. kép: Minta a zöld festékrétegből (3.) *A szerző felvétele*
109. kép: A zöld festékréteg gyenge pozitív fehérjére *A szerző felvétele*
110. kép: A fehér festékréteg (4.) darabja *A szerző felvétele*
111. kép: A papír elsötétedett, de nem lila színű *A szerző felvétele*
112. kép: A teszthez használt testszín (6.) darabja *A szerző felvétele*
113. kép: Kissé elsötétedett papír, de nem látható lila szín *A szerző felvétele*

114. kép: Minta a vörös festékrétegből (8.) *A szerző felvétele*
115. kép: Gyenge pozitív eredmény a vörös rétegre *A szerző felvétele*
116. kép: A teszthez használt alapozó darab az 1-es mintából *A szerző felvétele*
117. kép: Az alapozó pozitív eredménye *A szerző felvétele*
118. kép: A kék réteg (2.) darabja *A szerző felvétele*
119. kép: A kék réteg egyértelműen pozitív *A szerző felvétele*
120. kép: A zöld réteg (3.) teszthez használt darabjai *A szerző felvétele*
121. kép: A zöld minta gyenge pozitív eredménye *A szerző felvétele*
122. kép: A fehér (4.) réteg vizsgálathoz használt darabja *A szerző felvétele*
123. kép: A teszt egyértelműen pozitív a fehér rétegen *A szerző felvétele*
124. kép: A testszínből (6.) vett minta darabja *A szerző felvétele*
125. kép: A testszín eredménye gyenge pozitív *A szerző felvétele*
126. kép: A vörös (8.) réteg vizsgálathoz használt darabja *A szerző felvétele*
127. kép: A vörös réteg gyenge pozitív eredménye *A szerző felvétele*
128. kép: Alapozó darabok a teszthez a 4-es mintából *A szerző felvétele*
129. kép: A reagens a melegítés előtt *A szerző felvétele*
130. kép: A reagens színe változatlan a melegítés után *A szerző felvétele*
131. kép: A teszthez használt fehér réteg (4.) darabjai *A szerző felvétele*
132. kép: A reagens a melegítés előtt *A szerző felvétele*
133. kép: A reagens színe változatlan a melegítés után *A szerző felvétele*
134. kép: A teszthez használt testszín (6.) darabjai *A szerző felvétele*
135. kép: A reagens a melegítés előtt *A szerző felvétele*
136. kép: A reagens színe változatlan a melegítés után *A szerző felvétele*
137. kép: A vizsgálathoz használt zöld réteg (3.) *A szerző felvétele*
138. kép: A teszt negatív eredménye a zöld rétegen *A szerző felvétele*

139. kép: A testszín (6.) darabja a teszt előtt *A szerző felvétele*
140. kép: Negatív eredmény a testszín rétegén *A szerző felvétele*
141. kép: A vörös (8.) rétegből vett minta *A szerző felvétele*
142. kép: A vörös réteg negatív eredménye *A szerző felvétele*
143. kép: Az 1. mintából vett alapozó darab a teszt előtt *A szerző felvétele*
144. kép: Az alapozó minta a kálium-jodid oldatban nem sötétedett el *A szerző felvétele*
145. kép: A fehér (4.) réteg darabja a vizsgálat előtt *A szerző felvétele*
146. kép: A fehér réteg a reagensben nem változott el *A szerző felvétele*
147. kép: A sárga (7.) réteg darabja a teszt előtt *A szerző felvétele*
148. kép: A sárga réteg a kálium-jodid oldatban nem sötétedett el *A szerző felvétele*
149. kép: Az alapozó mérési helye *A felvételt Karol Bayer készítette*
150. kép: Az alapozó nagy mennyiségű kalciumot és kén tartalmaz *A felvételt Karol Bayer készítette*
151. kép: Az alsó vörös réteg 1. mérési helye, vörös pigmentek *A felvételt Karol Bayer készítette*
152. kép: A magas ólom tartalom megerősíti, hogy a vörös pigment minium *A felvételt Karol Bayer készítette*
153. kép: Az alsó, vörös réteg 2. mérési helye, fehér pigmentek *A felvételt Karol Bayer készítette*
154. kép: A fehér rétegben magas a kalcium, kén és ólom tartalom *A felvételt Karol Bayer készítette*
155. kép: A felső vörös lazúr mérési helye, vörös pigmentek *A felvételt Karol Bayer készítette*
156. kép: A lazúrban a nagy mennyiségű kén és kalcium mellett alumínium is található *A felvételt Karol Bayer készítette*
157. kép: A kék réteg mérési helye, kék és fehér pigmentek, vörös kísérvásvánnyal *A felvételt Karol Bayer készítette*
158. kép: A kék rétegben nagy mennyiségű réz és ólom található *A felvételt Karol Bayer készítette*
159. kép: A zöld réteg 1. mérési területe *A felvételt Karol Bayer készítette*
160. kép: A rétegben nagy mennyiségű réz és vas található *A felvételt Karol Bayer készítette*

161. kép: A zöld réteg 2. mérési területe *A felvételt Karol Bayer készítette*
162. kép: Az ólom és ón tartalom valószínűleg a kisebb mennyiségű sárga pigmenthez köthető *A felvételt Karol Bayer készítette*
163. kép: A zöld réteg alatti szigetelés mérési helye *A felvételt Karol Bayer készítette*
164. kép: A szigetelő rétegben foszfor található *A felvételt Karol Bayer készítette*
165. kép: A fehér réteg mérési területe *A felvételt Karol Bayer készítette*
166. kép: A magas ólom tartalom az ólomfehér pigmenthez köthető *A felvételt Karol Bayer készítette*
167. kép: A testszín 1. mérési területe *A felvételt Karol Bayer készítette*
168. kép: A rétegben nagy mennyiségű kalcium, kén és ólom található *A felvételt Karol Bayer készítette*
169. kép: A testszínben található vörös szemcse mérési helye *A felvételt Karol Bayer készítette*
170. kép: A vizsgált vörös színű szemcse kén és higanyt is tartalmaz *A felvételt Karol Bayer készítette*
171. kép: A narancssárga réteg egy szemcséjének mérési helye *A felvételt Karol Bayer készítette*
172. kép: A pigment arzén és kén tartalmú *A felvételt Karol Bayer készítette*
173. kép: Az alsó vörös réteg mérési területe *A felvételt Karol Bayer készítette*
174. kép: A rétegben magas az ólom és vas tartalom *A felvételt Karol Bayer készítette*
175. kép: A felső vörös lazúr mérési területe *A felvételt Karol Bayer készítette*
176. kép: A lazúrban nagy mennyiségű kalcium és kén mellett alumínium is előfordul *A felvételt Karol Bayer készítette*
177. kép: Az 1. és 2. minta alapozóinak spektruma *A felvételt Eva Svobodová készítette*
178. kép: Az 1. minta vörös festékrétegének spektruma a feltételezett összetevők standard spektrumaival összevetve *A felvételt Eva Svobodová készítette*
179. kép: A 2. és 3. minta alapozóinak spektruma a gipsz és anhidrit standard spektrumokkal összehasonlítva *A felvételt Eva Svobodová készítette*
180. kép: A 2. minta kék festékrétegének spektruma a feltételezett összetevők standard spektrumaival összevetve *A felvételt Eva Svobodová készítette*

181. kép: A 2. és 3. minta alapozóinak spektruma az anhidrit standard spektrummal összevetve *A felvételt Eva Svobodová készítette*
182. kép: A 3. minta zöld festékrétegének spektruma a feltételezett összetevők standard spektrumaival összevetve *A felvételt Eva Svobodová készítette*
183. kép: Mintavételi helyek a szarkofágból *A szerző felvétele*
184. kép: A mintavételi hely fotója *A szerző felvétele*
185. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 10x-es objektív *A szerző felvétele*
186. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 10x-es objektív *A szerző felvétele*
187. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
188. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
189. kép: Kettőtörő kék szemcsék, párhuzamos (balra) és keresztezett (jobbra) analízátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
190. kép: A mintavételi hely fotója *A szerző felvétele*
191. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 10x-es objektív *A szerző felvétele*
192. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 10x-es objektív *A szerző felvétele*
193. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
194. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
195. kép: Áttetsző és halvány rózsaszín szemcsék, párhuzamos (balra) és részben keresztezett (jobbra) analízátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
196. kép: Áttetsző és sötétvörös szemcsék, párhuzamos (balra) és részben keresztezett (jobbra) analízátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
197. kép: A kék csapadék vastartalmat jelez a vörös rétegben *A szerző felvétele*
198. kép: A mintavételi hely fotója *A szerző felvétele*
199. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
200. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív *A szerző felvétele*

201. kép: A minta képe párhuzamos (balra) és részben keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állásban, normál megvilágítás, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
202. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
203. kép: Kénhidrogén hatására a fémfólia nem sötétedett el *A szerző felvétele*
204. kép: A mintavételi hely fotója *A szerző felvétele*
205. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
- 206.kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
207. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
208. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
209. kép: Sárga és áttetsző szemcsék, párhuzamos (balra) és részben keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
210. kép: Pozitív vasteszt a sárga festékrétegen *A szerző felvétele*
211. kép: A mintavételi hely fotója *A szerző felvétele*
212. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
213. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
214. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
215. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
216. kép: Rózsaszín, áttetsző és fekete szemcsék, párhuzamos (balra) és részben keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
217. kép: Vörös, áttetsző és fekete szemcsék, párhuzamos (balra) és részben keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
218. kép: A kék csapadék vastartalmat jelez a vörös rétegben *A szerző felvétele*
219. kép: A mintavételi hely fotója *A szerző felvétele*
220. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
221. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
222. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív *A szerző felvétele*

223. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
224. kép: Zöld szemcse, párhuzamos (balra) és részben keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
225. kép: Sárga és áttetsző szemcsék, párhuzamos (balra) és részben keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
- 226.kép: Fekete és áttetsző szemcsék, párhuzamos (balra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
227. kép: Kénhidrogén hatására a zöld szemcsék elsötétedtek *A szerző felvétele*
228. kép: A kálium-ferrocianid teszt során kevés kék csapadék keletkezett *A szerző felvétele*
229. kép: A mintavételi hely fotója *A szerző felvétele*
230. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
231. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
232. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
233. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 50x-es objektív *A szerző felvétele*
234. kép: Kettőstörő áttetsző szemcsék, párhuzamos (balra) és részben keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
235. kép: A darabminta savas megcseppentés hatására elpezsgett *A szerző felvétele*
236. kép: A mintavételi hely fotója *A szerző felvétele*
237. kép: A minta polarizációs mikroszkópos képe, normál megvilágítás, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
238. kép: A minta UV (balra) és BV (jobbra) gerjesztésben, 20x-os objektív *A szerző felvétele*
239. kép: Kettőstörő vörös szemcsék, párhuzamos (balra) és keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
240. kép: Pozitív vasteszt *A szerző felvétele*
241. kép: Kettőstörő áttetsző szemcsék, párhuzamos (balra) és keresztezett (jobbra) analizátor - polarizátor állás, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*
242. kép: Kettőstörő áttetsző szemcsék, keresztezett analizátor - polarizátor állás, lambda lemez beiktatásával, polarizációs mikroszkóp, 40x-es objektív *A szerző felvétele*

243. kép: A rétegből vett kaparékok savas megcseppentésre teljesen elpezsgött *A szerző felvétele*
244. kép: A teszthez használt alapozó darabok *A szerző felvétele*
245. kép: Az alapozó esetében a papírdarab kissé elsötétedett, de nem lila színű *A szerző felvétele*
246. kép: A kék (3.) festékréteg darabja a kapillárisban *A szerző felvétele*
247. kép: A kék réteg negatív eredménye *A szerző felvétele*
248. kép: A vörös réteg lazúrral (10.) a kapillárisban *A szerző felvétele*
249. kép: A 10-es minta negatív eredménye *A szerző felvétele*
250. kép: A vörös és fekete (15.) rétegek a teszt előtt *A szerző felvétele*
251. kép: A vizsgálat negatív eredménye *A szerző felvétele*
252. kép: A fehér réteg (29.) darabja a vizsgálat előtt *A szerző felvétele*
253. kép: A fehér réteg esetében a papír kissé elsötétedett, de nem látható lila szín *A szerző felvétele*
254. kép: A teszthez használt vörös (35.) rétegek darabjai *A szerző felvétele*
255. kép: A vizsgálat eredménye a vörös rétegekre *A szerző felvétele*
256. kép: A teszthez használt alapozó darabok *A szerző felvétele*
257. kép: Az alapozón buborékok keletkeztek *A szerző felvétele*
258. kép: A kék (3.) rétegből vett minta *A szerző felvétele*
259. kép: A kék rétegen is megfigyelhetők buborékok *A szerző felvétele*
260. kép: A vörös réteg lazúrral (10.) a reakció előtt *A szerző felvétele*
261. kép: A vörös réteg esetében is képződtek buborékok *A szerző felvétele*
262. kép: A vörös és fekete (15.) rétegek darabja *A szerző felvétele*
263. kép: A 15. mintán is keletkeztek buborékok *A szerző felvétele*
264. kép: A fehér rétegből (29.) vett minta a teszt előtt *A szerző felvétele*
265. kép: A fehér mintán szintén láthatóak buborékok *A szerző felvétele*
266. kép: A vörös festékréteg (35.) darabjai *A szerző felvétele*
267. kép: A vörös rétegeken is keletkeztek buborékok *A szerző felvétele*

268. kép: Az alapozóból vett darabminták *A szerző felvétele*
269. kép: Az oldat a melegítés előtt *A szerző felvétele*
270. kép: Az oldat színe nem változott a melegítés után *A szerző felvétele*
271. kép: A kék festékréteg darabja *A szerző felvétele*
272. kép: A reagens a mintával a melegítés előtt *A szerző felvétele*
273. kép: A reagens színe változatlan a melegítést követően *A szerző felvétele*
274. kép: A fehér réteg darabjai *A szerző felvétele*
275. kép: A reagens a melegítés előtt *A szerző felvétele*
276. kép: A reagens színe nem változott a melegítést követően *A szerző felvétele*
277. kép: A kék festékréteg darabja a teszt előtt *A szerző felvétele*
278. kép: Negatív eredmény a kék mintán *A szerző felvétele*
279. kép: A 10. minta vörös rétegeinek teszthez használt darabjai *A szerző felvétele*
280. kép: A vörös rétegek is negatív eredményt adtak *A szerző felvétele*
281. kép: A 35. minta vörös rétegének darabja a teszt előtt *A szerző felvétele*
282. kép: A vörös réteg vizsgálatakor sem történt színreakció *A szerző felvétele*
283. kép: A teszthez használt 10. minta festett rétegének darabja *A szerző felvétele*
284. kép: A minta barnásan elszíneződött *A szerző felvétele*
285. kép: A 29. minta fehér rétege a teszt előtt *A szerző felvétele*
286. kép: A darabok elsötétedtek a reagens hatására *A szerző felvétele*
287. kép: Az alapozó darabjai a vizsgálat előtt *A szerző felvétele*
288. kép: Az alapozó darabjai szintén elváltoztak *A szerző felvétele*
289. kép: A 3. minta hordozójának mérési területe *A felvételt Karol Bayer készítette*
290. kép: A barnás hordozóban a nátrium, kálium, mangán és kén tartalom mellett a szilícium és kalcium a legtöbb *A felvételt Karol Bayer készítette*
291. kép: A 3. minta alapozójának mérési területe *A felvételt Karol Bayer készítette*

292. kép: A fehér alapozás főleg kalciumot tartalmaz *A felvételt Karol Bayer készítette*
293. kép: A 3. minta kék festékrétegének mérési területe *A felvételt Karol Bayer készítette*
294. kép: A festékrétegben magas a szilícium és kalcium tartalom, de réz is található benne *A felvételt Karol Bayer készítette*
295. kép: Egy kék szemcse mérési pontja *A felvételt Karol Bayer készítette*
296. kép: A kék szemcsékben réz, kalcium és szilícium található *A felvételt Karol Bayer készítette*
297. kép: A 10. minta hordozójának mérési területe *A felvételt Karol Bayer készítette*
298. kép: A hordozóban a nagy mennyiségű szilíciumon kívül alumínium, kalcium, mangán, klór és vas is található *A felvételt Karol Bayer készítette*
299. kép: A 10. minta alapozójának mérési területe *A felvételt Karol Bayer készítette*
300. kép: Az alapozó nagyrészt kalciumot, de kén, káliumot és nátriumot is tartalmaz *A felvételt Karol Bayer készítette*
301. kép: A 10. minta festékrétegének mérési területe *A felvételt Karol Bayer készítette*
302. kép: A vörös festékrétegben a kalciumon kívül kén, alumínium, és vas is előfordul *A felvételt Karol Bayer készítette*
303. kép: A 12. minta hordozójának mérési területe *A felvételt Karol Bayer készítette*
304. kép: A rétegben nagy mennyiségű kalciumon és szilíciumon kívül kén, alumínium, mangán, kálium, nátrium és klór található *A felvételt Karol Bayer készítette*
305. kép: A 12. minta alapozójának mérési területe *A felvételt Karol Bayer készítette*
306. kép: A fehér alapozóban nagyrészt kalcium és kisebb mennyiségben kén is előfordul *A felvételt Karol Bayer készítette*
307. kép: A fémréteg mérési területe *A felvételt Karol Bayer készítette*
308. kép: A fémfólia nagyobb mennyiségben aranyat, de kisebb arányban ezüstöt is tartalmaz *A felvételt Karol Bayer készítette*
309. kép: A fémfólia összetételének százalékos értékei *A felvételt Karol Bayer készítette*
310. kép: A 14. minta hordozójának mérési területe *A felvételt Karol Bayer készítette*

311. kép: A réteg nagy mennyiségű szilíciumot és kalciumot tartalmaz, kevesebb kénnel, nátriummal, káliummal és klórral *A felvételt Karol Bayer készítette*
312. kép: A 14. minta alapozójának mérési helye *A felvételt Karol Bayer készítette*
313. kép: Az alapozó ezen a mintán is főleg kalciumot tartalmaz *A felvételt Karol Bayer készítette*
314. kép: A 14. minta sárga festékrétegének mérési helye *A felvételt Karol Bayer készítette*
315. kép: A sárga rétegben kimutatható a vas *A felvételt Karol Bayer készítette*
316. kép: A 15. minta alapozójának mérési helye *A felvételt Karol Bayer készítette*
317. kép: A réteg nagyrészt kalciumból áll *A felvételt Karol Bayer készítette*
318. kép: A fekete és rózsaszín keverék festékrétegnek mérési helye *A felvételt Karol Bayer készítette*
319. kép: A festett rétegben nagy mennyiségű kalcium, alumínium, kén és vas is található *A felvételt Karol Bayer készítette*
320. kép: A festett réteg egy vöröses szemcséjének mérési pontja *A felvételt Karol Bayer készítette*
321. kép: A vörös szemcse nagy mennyiségű mangánt, szilíciumot, vasat és kalciumot tartalmaz *A felvételt Karol Bayer készítette*
322. kép: A 20. minta hordozójának mérési területe *A felvételt Karol Bayer készítette*
323. kép: A hordozó főleg szilíciumot, kalciumot, alumíniumot, mangánt és vasat tartalmaz *A felvételt Karol Bayer készítette*
324. kép: A 20. minta alapozójának mérési területe *A felvételt Karol Bayer készítette*
325. kép: Az alapozó nagyrészt kalciumból áll *A felvételt Karol Bayer készítette*
326. kép: A zöld festékréteg mérési helye *A felvételt Karol Bayer készítette*
327. kép: A rétegben kalcium mellett szilícium és réz is kimutatható *A felvételt Karol Bayer készítette*
328. kép: A 3. minta világosabb barna hordozó rétegéről készített spektrumok standardokkal összevetve *A felvételt Eva Svobodová készítette*
329. kép: A 3. minta kék festékrétegének spektruma standardokkal összehasonlítva *A felvételt Eva Svobodová készítette*
330. kép: A kék festékrétegről felvett spektrumok *A felvételt Eva Svobodová készítette*

331. kép: A 10. minta alapozójának beágyazatlan darabjáról készített spektrum és standardok *A felvételt Eva Svobodová készítette*

332. kép: A 10. minta alapozórétegének spektruma standardokkal összehasonlítva *A felvételt Eva Svobodová készítette*

333. kép: A 10. minta két vörös rétege között található fehér spektruma és standardok *A felvételt Eva Svobodová készítette*

334. kép: A 10. minta rózsaszínes lazúrjának spektruma a standardok mellett *A felvételt Eva Svobodová készítette*

335. kép: A minta bal felső részén található töredékes réteg spektruma és standardok *A felvételt Eva Svobodová készítette*

336. kép: Az alsó vörös réteg beágyazatlan darabjáról felvett spektrum standardokkal összevetve *A felvételt Eva Svobodová készítette*

337. kép: A 14. minta fehér alapozójának spektruma és standardok *A felvételt Eva Svobodová készítette*

338. kép: A sárga festékréteg spektruma standardok mellett *A felvételt Eva Svobodová készítette*

VIII. MELLÉKLETEK

Az Altobello Melone festmény mintáinak FTIR mérési eredményei

Az 51.638 leltári számú római szarkofág mintáinak FTIR mérési eredményei