

Az almakeréki falképek színelváltozása és vizsgálatai

Galambos Éva – Váli Zsuzsánna – Török Ákos – Nemes Erika

Az almakeréki templom román stílusban épült, majd a 14. században átépítették. A szentélyt díszítő freskók az 1390-1400 körüli időszakra datálhatók, különlegességük, hogy szinte érintetlenül őrzik a gótikus stílust, hiszen átfestés nélkül maradtak fenn, és a korábbi restaurálások során is csak kismértékű javításokat végeztek rajtuk.

A templom falképeinek szakszerű helyreállítása indokoltá tette a restaurátori beavatkozások megtervezéséhez az épület, főként a falképet hordozó falazat és vakolat, valamint a festett felület alaposabb felmérését és vizsgálatait. Szemrevételezéssel is megállapítható, hogy a falazat vizesedett, a vízzeljárható sók károsító folyamatokat indítottak be, és a falkép eredeti színezése elváltozott. A vizsgálatok célja a károsodás okainak kiderítése volt, és javaslatként azok megszüntetésére, valamint a szentély és a benne található falképek restaurálásának megtervezéséhez szükséges adatok közlése.

Az evangélikus templom felmérésére 2015 elején kaptunk megbízást a Forster Gyula Központtól. A megbízott képviselve Gayerhoffer Kovács Gábor szervezte meg a felmérést, előre elkészített alapos fotódokumentációval segítve munkánkat, valamint az erdélyi kollégákkal együtt¹ biztosította az előre állványozott helyszínt.

A helyszíni vizsgálatokat Dr. Török Ákos és Dr. Galambos Éva végezte, a mintavételben Nemes Erika segített. A laboratóriumi vizsgálatok egy része a Budapesti Műszaki Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék NAT által 1-1258/2011 számon akkreditált Anyagvizsgáló laboratóriumának közetvizsgáló részlegében készült Dr. Török Ákos vezetésével, másik része a Magyar Képzőművészeti Egyetem Restaurátor Tanszékének mikroszkópos laboratóriumában: Dr. Galambos Éva a festett rétegeket, Váli Zsuzsánna doktorandusz a só-, Nemes Erika a vakolatvizsgálatokat végezte.

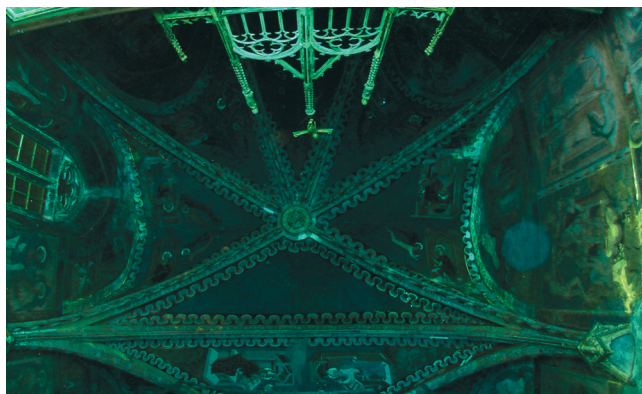
Az elemanalitikai (SEM-EDX) méréseket az ELTE TTK FFI Kőzettani és Geokémiai Tanszékén Bendő Zsolt, a röntgen-diffrakciós vizsgálatokat az MTA Kémiai Kutató Intézetében Sajó István készítette. A kötőanyag vizsgálatokat Varga Tímea és Judik Katalin végezte a MTA Geokémiai Kutatóintézetében.

Fototechnikai vizsgálatok

A helyszíni fototechnikai vizsgálatok során normál, surlófényes, és UV-lumineszcens felvételeket készítettünk. Ez utóbbiakon bizonyos felületek a környezetükhöz ké-



1. kép. Az apszis keleti boltszakasza normál fényben.



2. kép. UV-lumineszcens felvétel. A sóterhelt felületek világos foltokban jelennek meg a két oldalfal tetején és a zárókőnél.

pest világosabban jelentek meg (1-2. kép). A jelenség kétféleképpen is magyarázható: a világosan jelentkező anyagok vagy erősebben lumineszkálnak vagy jobban visszaverik a látható tartomány rövidebb hullámhosszú sugarait. Ezek a részek – pl. a középső zárókő és a borda indításánál lévő élénk kékes foltok, a boltozatok vállánál látható világos felületek, vagy az oldalfalakon sávosan megjelenő narancsos-rózsaszínes foltok –, általában a nagyobb sóterhelés miatt kialakuló sókiülések, vagy festékkipergések helyén kilátszó meszes vakolat kontrasztosabb megjelenései, melyek összefüggésben vannak a falvizesedés koncentráltabb területeivel.

Nedvességtartalom vizsgálat

A szentély falazatának belső, vakolt részein, a festett falszakaszokon és a mennyezetben is meghatároztuk a nedvességtartalmat hordozható GANN Hydromette UNI 1 műszer segítségével. Egyes belső falszakaszokon roncsolásmentes szilárdsági vizsgálatok is történtek durosz-

¹ A Kiss Lóránd irányította restaurátor csapat, akik a szentély alsó falszakaszának korábbi feltárását és restaurálását végezték.



3. kép. Az északi fal alsó szakasza, normál felvétel.



4. kép. Az északi fal alsó szakasza, lumineszcens felvétel: az alsó, sötétben jelentkező kiegészítő vakolaton a sókivirágzások az UV gerjesztés hatására világosan jelennek meg.

kóppal. A vizsgált falfelületekről, a vakolatból, valamint a festett rétegekből mintákat vettünk a vakolatösszetétel, a vízdoldható sótartalom és a festett rétegek felépítésének, pigmentjeinek meghatározásához.

A szentély külső falazatán történt mérések alapján megállapítást nyert, hogy az eredeti fugák, mint ahogyan az várható volt, nagyobb nedvességi értéket mutatnak, mint a mellettük található kőzetek. A felújításkor használt habarcsok esetében viszont a nedvességtartalom általában kisebb, mint a kőzeteké (ami utalhat arra, hogy az eredeti porózusabb részekben a sótartalom is magasabb). Az is leolvasható volt, hogy a talaj közelében minden szelvényben nagyon nedvesek a falak, a külső keleti, valamint észak-keleti falak pedig már vizesek, a köelemek a lábazat tetejéig átnedvesedtek, és a fugák is vizesnek mondhatók. Összegezve megállapítható, hogy a szentély külső falánál az alsó 1 méter átázott, ami azt jelzi, hogy a szentély falképei és a belső vakolat alulról, a talaj irányából kap nedvességet.

A szentélybelsőben történt mérések alapján egyértelműen kirajzolódott, hogy a járófelületnél és a zúzott kővel feltöltött ároknál egyaránt teljesen átnedvesedtek a falak, a legalsó zóna itt is mindenütt vizes, tehát a szárító árok nem funkcionál megfelelően. Feljebb egy kissé átnedvesedett vakolatrézrész következik, majd egy viszonylag szárazabb, kb. 50-100 cm széles zóna, az egyes falszakaszokon változó, az aljzat fölött 20-120 cm magasságban,² majd

² A száraz zóna magassága változó. Az I. falszakasznál (északi fal) 20-60 cm, a II. szakasznál (északi fal) kicsit feljebb van - akár 100 cm-ig is felérhet, míg a III. szakasznál (észak-keleti fal) változó magasságú (20-tól 100 cm-ig). A IV. szakaszon (keleti fal) 20-120 cm között található a szárazabb zóna, az V. szakaszon (dél-keleti fal) 60 cm körül van a legszárazabb rész, ami itt is 50-100 cm közötti magasságban húzódik, míg a VI. szakasznál (déli fal) a szakaszon belül is erősen változó a nedvességtartalom.



5. kép. Déli fal, felső zóna: normál felvétel.

egy újabb nedves zóna következik. A nedvességtartalom jelentősebb az északi és a keleti oldalon.³

A szentély boltozatán lévő falképeken, valamint fölöttük a padlástérben is végeztünk nedvességmérést. A mérési adatok alapján beigazolódott, hogy a padlástér száraz, a szentély a tető felől már nem kap nedvességet, tehát a boltozaton látható beázások korábbi periódusokból származnak.

Vakolatvizsgálatok

A vakolatvizsgálatok eredményei szerint a templom szentélyének képeit kétrétegű vakolatra festették. Az intonaco, vagyis a festővakolat kötőanyag és töltőanyag aránya becslés szerint kb. 1:1. A középkori vakolatokra jellemzően, a mintákban száraz mésztöltésre utaló mészcsomok voltak láthatók. A vakolatdarabok 10%-os sósav hatására könnyedén bomlásnak indultak, feltehetően sem a kötőanyag, sem a töltőanyag nem tartalmaz dolomitot, vagy hidraulikus részeket. Téglaoorlemény ugyan előfordult a mintákban, de nem számottevő mennyiségben, a vakolat szilárdságáért nem a téglaszemcsék felelősek. A homokfrakcióban főként két szemcseméret-tartomány határozható meg: egy finom szemcsézettű, iszapos rész és egy ennél durvább összetételű, de a durvább szemcsék mérete sem haladja meg az 1,8 mm-t. Az iszapos rész jelenléte a töltőanyagban arra utal, hogy a homokot felhasználás előtt nem mosták ki. Ez összefüggésbe hozható a jelen tanulmány későbbi részében bővebben kifejtett megállapítással, hogy az építőanyagok már felhasználásuk idején tartalmaztak vízdoldható sókat. A homok nagy része kvarc, a szemcsék szélei legömbölyödtek, feltehetően folyami homokot használtak. A vakolat sárgás színe a benne lévő sárga vasas aggregátumoknak tulajdonítható. A vakolatösszetevők között csillámok is előfordulnak, legfőképpen muszkovit.

Az intonaco alatt lévő durvább, alsó vakolatrétegről (arriccio) megállapítást nyert, hogy mész-homok vakolat. A karbonátos részek nehezen voltak oldhatók 10%-os sósavval. A savban oldódó és a nem oldódó rész aránya

³ A falakon alulról 220 cm magasságig történt meg a teljes nedvességtérkép elkészítése.



6. kép. Déli fal, felső zóna: lumineszcens felvétel. A nagyméretű repedés mellett világosabban lumineszkál a falkép. Feltehető, hogy ez koncentráltabban sóterhelt terület. A javításhoz használt vakolat anyagából is további sók oldódhattak ki. A feketés keretelő csík feltűnően élénk narancsos lumineszcenciája a pigmentelváltozásoknak köszönhető.

2:1. A vakolat keménysége a benne lévő tufahomoknak (üvegfázisnak) köszönhető. A homokfrakció itt is iszapos és durvább (0,2-2,6 mm) szemcsézetű. Ebben a vakolatban szintén vannak csillámok, sárga és vörös vasas aggregátumok, valamint téglaozlemény. A vizsgált vakolatminták általában nem tartalmaznak növényi szálas anyagokat vagy széndarabokat.

Sóvizsgálatok

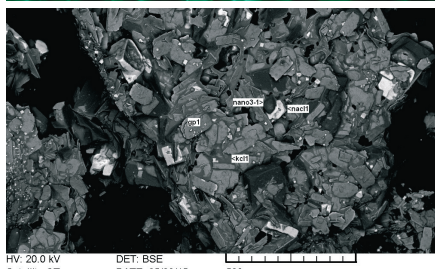
A mintákban lévő sók kvalitatív vizsgálata többféle módszerrel és eszközzel történt, az így kapott eredmények egymást alátámasztják, és kiegészítik. A kevésbé higroszkópos mintákon, vagy amelyeken a higroszkóposág ellenére lehetséges volt elemanalitikai mérést (SEM/EDX) és kristályszerkezet analízist (XRD) végeztünk. Vizsgáltuk továbbá az oldatokból kikristályosított sók optikai tulajdonságait polarizációs mikroszkóppal (PLM), valamint mikro-kémiai módszerekkel (pH mérés, cseppanalízis, tesztsík) is elemeztük a mintákat. A négyféle vizsgálati módszer által lehetett teljes képet kapni a mintákról és a falban lévő sók eloszlásáról. Kvantitatív elemzés nem történt, a koncentrációra vonatkozó eredmények csak tájékoztató jellegűek.

A fototechnikai vizsgálatok során készített lumineszcens felvételek tájékoztattak a felületen kikristályosodott sókról, melyek világosan jelentek meg⁴, valamint arról,

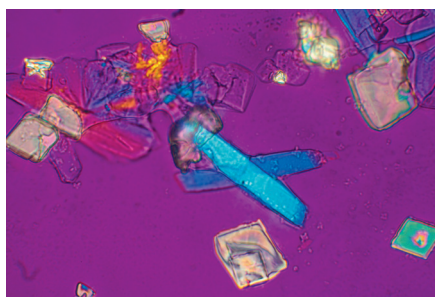
⁴ Az analitikai tisztaságú sók nem lumineszkálnak, a természetes körülmények között képződő sók kristályszerkezetében megjelenő szerves vagy szervesetlen szennyeződések azonban aktivátorként működve közrejátszhatnak abban, hogy az adott sók esetenként lumineszkáljanak. A kristálynövekedés során is előfordulhat lumineszcens jelenség (krisztalolumineszcencia), valamint ha a sók valamilyen élő szervezet számára szolgálnak táptalajul, ezek a szerves telepek, illetve anyagcseretermékek okozhatnak lumineszcenciát. Lumineszcenciának tűnhet az a fényszórás jelenség is, aminek az oka a kisméretű kristályokon jól szóródó, a látható tartomány rövid hullámhosszába tartozó, kék színű sugarak visszaverődése.



7. kép. Mintából kikristályosított só BV-lumineszcens mikroszkópos felvétele, 10x obj. nagyítás. Váli Zsuzsánna felvétele.



8. kép. A déli falról, 1 méterre a padlószintől vett 2A minta pásztázó elektronmikroszkópos képe (SEM-EDX). Bendő Zsolt felvétele.



9. kép. NaNO_3 , $\text{Ca}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ és NaCl kristályok (PLM, érzékeny ibolya lemez, 40x obj. nagyítás). Váli Zsuzsánna felvétele.

hogy a festékréteg hol pergett le a hordozó meszes vakolatrétegről. A sók káros hatása közrejátszhatott ez utóbbi károsodási forma kialakulásában is.⁵

A sók ott tudták leginkább kifejteni káros hatásukat, ahol a nedvesség utánpótlása megfelelően biztosított volt, a falak alsó szakaszán, a boltvállakban, és a nagyobb beázási zónákban (3-6. kép).

A mintákból kikristályosított sók egy része UV sugárzásra, mikroszkóppal vizsgálva is enyhe lumineszcenciát mutatott (7. kép). A mikroszkópban észlelhető lumineszcencia alátámasztja a helyszíni megfigyeléseket.

A vizsgálatok szerint a legtöbb minta tartalmazott nitrátot: a függőleges falakról vett minták többet és többféle, a boltozatról származók jóval kevesebbet. Mindegyikben kimutatható volt szulfát és klorid tartalom, ez utóbbi némelyikben kiemelkedő mennyiségben.

A különböző mintákban eltéréseket tapasztaltunk a sók összetételében és mennyiségében egyaránt. A leggyakrabban előforduló sók: $\text{Ca}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, NaNO_3 , NaCl és a CaCl_2 (8-9. kép). Ezek jelenléte arra utal, hogy a sók nem csupán külső forrásokból kerülhettek a falba, hanem feltehetően a felhasznált építőanyag is tartalmazott vízoldható sókat, illetve olyan anyagokat, melyek a környezeti kölcsönhatások révén vízoldható sókká alakultak.

⁵ A festékréteg pergését nem csupán a felület alatt és a felületen kikristályosodó sók tevékenysége okozhatta, hanem egyéb tényezők is, mint pl. a falzatba jutó víz duzzasztó, oldó hatása, a szerves kötőanyag lebomlása, stb.

Sók továbbá termelődhetnek a falzatban, a nedvesség hatására megtelepedett biológiai károsítók által is. Azokon a részeken, ahol nedvesség érte a falat, a sók kioldódtak, mobilizálódtak és a falképek károsodását, lepergését vagy a pigmentek színének elváltozását okozták.

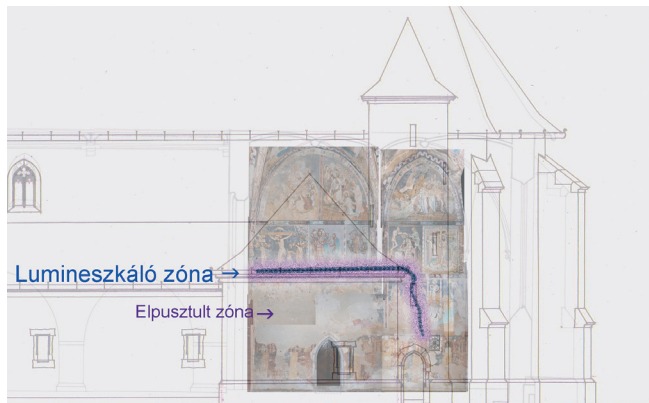
Ritkábban előforduló sók az alsó zónából vett egyik mintában kimutatott thermonátrit ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) és trona ($\text{Na}_2\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), valamint egy másikban a nesquehonit ($\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). A magnéziumtartalom feltehetően a javítóvakolathoz köthető, míg a thermonátrit származhat esetleg cementes javításból, vízüvegből, vagy a padló tisztításához használt vegyszerekből.

CaCl_2 tartalomra lehetett következtetni az oldatban lévő ionok kémiai kimutatása, valamint bizonyos minták rendkívüli higroszkópossága alapján is. Ez utóbbiak CaCl_2 tartalmát a SEM/EDX vizsgálat is bizonyította.

A földfelszínhez közeli vakolatok mintáiban a sók kevésbé bizonyultak higroszkóposnak, a magasabban, 100-185 cm-re, valamint az efölötti zónákban elhelyezkedőké sokkal jobban, és úgy tűnik, hogy az oldalfalak ilyen szempontból érintettebbek, mint a mennyezet. Megállapítható, hogy a falak alulról számított második nedvesedési zónájának kialakulásában a higroszkópos sók nagy szerepet játszanak.

Érdekes jelenség az északi fal falfestményeiről készült UV-lumineszcens felvételeken megfigyelhető, rózsaszínesen lumineszkáló vonalszerűen összefüggő folt, ami a sekrestye tetejének és a lépcsőtorony illeszkedésének vonalát rajzolja ki (10. kép). Ez alatt, a szentély északi oldalán a sekrestyeajtó feletti középzóna szinte teljesen elpusztult a sekrestye boltozatának vállmagasságában. Ennek fő oka a boltozat vállában összegyűlt víz és az ezzel összefüggő sókárosítás volt. A lumineszcenciát ez esetben feltehetően a nedves zónában megtelepedett biológiai károsítók okozták, ennek bizonyítása azonban további vizsgálatot igényel.

A falakon szabad szemmel látható sötét foltok szintén összefüggésben lehetnek a higroszkópos sók jelenlétével. A nagyobb sókoncentráció, valamint a higroszkópos sók jelenléte azokon a helyeken, ahol a falkép konzerválása szükséges, akadályozhatja a munkafolyamatokat, a keze-



10. kép. Az épület oldalnézeti rajzára vetített zónák elhelyezkedése (északi fal).

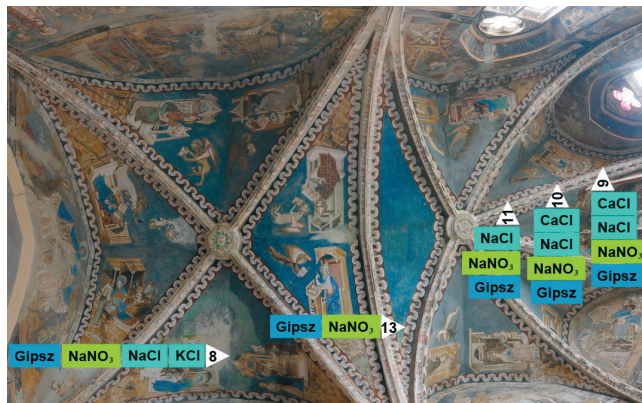


11. kép. A szentély kiterített képe. A függőleges falak sótérképe. A piros + azokat a részeket jelöli, ahol a mintákból kioldott sóoldat higroszkóposnak bizonyult. A térképen fel van tüntetve a vízdoldható sók előfordulása, eloszlása is. A falkép a déli fal (jobb oldal) alsó részén pusztult el teljesen, a keleti részen (közép) alul kisebb zónában, az északi falon (baloldal) alul kevésbé, de a sekrestye boltozatának vállrészénél – kb. 1–2,5 méter magasság között – az összegyűlt víz és sókár miatt nagy területen. G. Kovács G. felvétele.

lőszerek bejuttatását, ezért a sók kivonása ezeken a területeken lokálisan indokolt lehet. A falak teljes sótelenítése nem kivitelezhető, különösen, ha a sók egy része az építőanyagokkal került a falzatba. Erre a falazó- és építőanyagok további vizsgálata adhat választ. A falzatban lévő sók miatt nem javasolt olyan konzerváló anyag használata, mely filmképző lehet. A konzerválószer kiválasztásánál figyelembe kell venni továbbá, hogy ne befolyásolja se a vakolat kapilláraktivitását, se a vízgőz-átjárhatóságát.

A falképek többnyire szekko technikával készültek és sérülékenyek, ezért javasolt, hogy sókivonást csak a konzerválás elvégzéséhez legszükségesebb részekben végezzenek. A sókivonást csak a festékréteg és az elvált, vagy porló vakolatok előszilárdítása, valamint a falképek anyagával kompatibilis porozítású és anyagú próbapakolás készítése és vizsgálata után szabad megkezdeni. A sókivonás legkíméletesebben a folyamatos, hosszútávú karbantartás keretein belül volna megvalósítható, a természetes módon, a felületen kikristályosodó sók időszakonkénti eltávolításával.

A vakolat és a festett rétegek leválása, a pigmentek nagy felületeket érintő színváltozása is a sók káros



12. kép. A mennyezetről vett mintákból kioldott sók térképe.



13.



14.



15.



16.

13. kép. Fekete alárajz a déli fal alsó szakaszán.

14. kép. Vakolatminta sztereo-mikroszkópos képe: a szürkésabb alapvakolatra került fel a világosabb, vékony festővakolat.

15. kép. A boltzati kőbordáról felváltó és pergő vékony vakolat.

16. kép. A bekarcolás kb. 1 mm széles eszközzel történt, a karc mélysége 300 mikron körüli (mikroszkópos keresztmetszet-csiszolat, felső megvilágítás).

tevékenységével kapcsolható össze, ezért számolni kell azzal, hogy ezek a folyamatok folytatódhatnak, főként, ha a falakat további nedvesedés

éri. Ennek megakadályozását, vagy mérséklését a körülmények optimalizálásával lehet elérni. Figyelemmel kell lenni azonban arra, hogy a templomban jelenleg kialakult mikroklímába történő beavatkozással, vagy jelentős vízmennyiség bejuttatásával járó sókivonó pakolás alkalmazása esetén a jelenlegi sóoldatokban beállt egyensúlyi állapot felborulhat, ami felgyorsíthatja a műemlék további károsodását, ezért olyan restaurátori beavatkozás, ami a falazatok vizezésével jár, körültekintő megtervezést igényel.

A falképek festéstechnikája

A helyszíni felmérések és a mikroszkópos keresztmetszet-csiszolatok vizsgálata alapján feltérképezhetővé vált a falkép készítechnikája is. Ennek megismerése a művészettörténeti meghatározás mellett a restaurátori beavatkozások megtervezésekor is fontos, a festéstechnikai jellegzetességek és a felhasznált anyagok ismerete alapvető igény.

A falkép készítése az alsó vastagabb, szürkés színű vakolatra fekete szénnel felvitt előrajzzal indult, aminek kevés nyoma maradt meg, de az északi és a déli fal középső és alsó zónájában is látszik egy-egy jól kivehető vastagabb vonaltörredék. Például a déli fal alsó szakaszán a foltok kontúrvonala a később megfestett fülkék ívével párhuzamosan jelenik meg (13. kép).

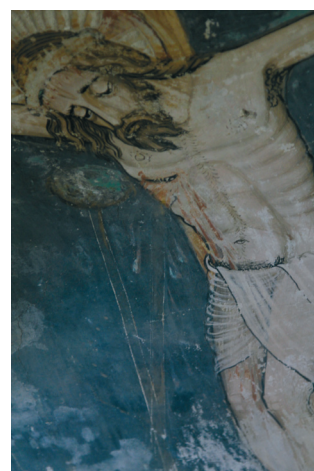
Az alsó vakolatra és a szénrajzra hordták fel a vékony (átlag 1-2 cm) festővakolatot (14. kép) egyenetlen felülettel. Surlófényben látszanak a besimításhoz használt eszközök nyomai. A kereteket és a képmezőket általában

külön foltként vakolták fel. A boltzat köelemein csak a festővakolat található meg. Jellemző, hogy a körül ez a vékony réteg könnyebben lepereg, jelenleg ezek a felületek a legrosszabb megtartású részek (15. kép).

A vékonyabb festővakolatba előkarcolták a fő kompozíciós elemeket (16. kép). Vonalzóval, vékony vonallal a kereteket és az architektúrális részeket; körzővel a glóriákat, de sok esetben mind a figurális ábrázolásokat, mind a glóriák díszítő karcait vastagabb vonallal készítették (17. kép). Több helyen látszik a kompozíció módosítása (18. kép), a helyszínen történt változtatásokra utal az is, hogy a karcok vonalához a kifestés nem mindig igazodik. Előfordul olyan bekarcolt osztás egy-egy képmezőn belül is, amit teljesen lefestettek, nem használtak fel a falkép festésekor. A bekarcolás sokszor a már majdnem megszilárdult, száraz vakolatba készült, erre lehet következtetni abból, hogy a szemcsék kiszakadtak a behúzáskor (17. kép).



17. kép. Déli fal, Mária koronázása jelenet. Jól látszik a vakolat besimításához használt eszközök nyoma, a vastagabb bekarcolások, és a karcnyomok kitördelt szélé.



18. kép. Északi fal, Kálvária jelenet: a szivacsot tartó lándzsa módosított bekarcolása.



19. kép. A későbbi patronminta próbaként felfestett vázlata a boltozat köelemein.

A boltozat kőíveinek felületén a kipergett vakolatrészeknél helyenként láthatóvá vált egy-egy próbaként felfestett mintázat, a későbbi patronminta vázlata (19. kép).

A képfelületeken okkeres-narancsos színű alárajzzal kezdték a kompozíciókat, néhol sötétebb színű is előfordul, pl. a boltozat „Angyali üdvözlés” galambja esetében. Majd a hátterek nagyobb területeinek aláfestése következett, a nagy azurit felületeknél sötét, szürkés-fekete színnel. Az alárajz és az aláfestett színek a vakolattal freskósan kötöttek meg, a lepusztult festett réteg alatt szinte csak ezek maradtak meg, főleg a déli fal középszakasán (21. kép). Az alárajz-



20.



21.



22.



23.

20. kép. Déli fal: a Mária koronázása jelenet részlete. Az okkeres alárajz szépen megmaradt, a kifestés teljesen lekopott.

21. kép. Dél-keleti fal: A nőalak keze vázlatosan megrajzolt, a háttér sötét aláfestése nagyvonalú, nem pontosan követi a formát.

22. kép. A boltozaton lévő evangélista fej. Az arcokat általában sárgás színnel árnyékolva festették meg, erős fekete kontúrokat alkalmazva.

23. kép. A csúcspétek sok helyen elfekedtek.



24. kép. Az azurit háttérrel a figurák kontúrjának megfestése után vitték fel.



25. kép. Fémfóliával díszített bárd részlete.

ok elég lendületesek, magabiztos kézre vallanak, sokszor csak a formákat jelölik, elnagyoltak. A rajzok karakteres jegyeket hordoznak, (fejtartás, vastag ornyereg, szemöldök-orr vonal egyben meghúzása, a száj és a szem jelölése stb.) a mester további műveinek meghatározásában nagy segítséget jelenthetnek.

A festett rétegek nagy részét szekkó⁶ technikával, száraz vakolatra hordták fel, így például, a testszíneket, drapériákat, a fekete kontúrokat és a háttér kék azuritjait (22. kép). Ez nagyrészt hozzájárult e területek erőteljesebb károsodáshoz; a festékrétegek sok helyen levelesen elváltak a festővakolattól, vagy porlékonyvá váltak és kiperegtek. Mindezt fokozta a víz, valamint a vízdoldható sók okozta nagymértékű károsítás is.

A formák festése egyszerű, általában valamilyen alapszín, csúcspétekkel modellálva (23. kép). Ez utóbbiak színe változott el a leginkább zavaró módon, feketés barnás foltokként jelennek meg. Az elváltozások összefüggnek a pigmenthasználattal is, a legtöbb esetben az ólom- és réztartalmú festékek módosultak.

A festés következő fázisa az azurit hátterek (24. kép) és az aprólékosan kivágott fémfólia-díszek felrakása volt (25. kép). A glóriákon kívül nagyon sok területen alkalmaztak apró, kivágott díszítő elemeket négyzet alakú ruhadíszeket, csillagokat a kék eget ábrázoló háttérben, stb. Mindezeket olyan gondosan kidolgozva, mintha táblaképet ékesítettek volna. A figurális festés mellett a képkeretező sávokat és egyes drapériákat is patronmintával díszítették (27. kép). Az egész szentélyben jellemző ez az aprólékos, mindenre kiterjedő díszítőkedv.

Pigmentvizsgálatok, a pigmentek színváltozása

A vizsgálatok alapján a falfestményekhez az alábbi pigmenteket használták: az alárajzhoz alkalmazott narancsos pigment vas-oxid tartalmú festék, feltehetően leg-

⁶ A kötőanyag vizsgálatok (FTIR) alapján a fehérje tartalom igazolható volt.



26. kép. Mária köpenyét kivágott négyzetes fólia rátétekkel díszítették, melyeknek nagyrészt csak a helye maradt meg.



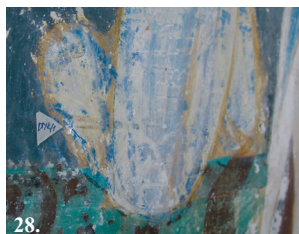
27. kép. Az angyal testének festése elsötétedett, de a patronminta látszik rajta.

inkább természetes okkerek (goethit) tartalmaz (28-29. kép). Különböző árnyalatú és színű vas-oxid tartalmú földfestékeket, vöröset és barnát is használtak, ezek a pigmentek nem változtak el.

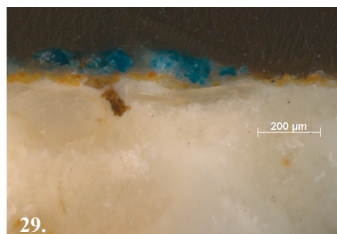
A *testszínek* általában világosak, fehér (mész vagy szentjánosfehér) és okkeres színek használatával festette meg a mester a részleteket, majd növényi szénből készült feketével kontúrozta (30-31. kép). A fejek kidolgozása nem mindenhol egyforma, vannak egyszerűbben megrajzoltak, vannak kidolgozottabbak. A képek közül kitűnik az északi falon lévő „Feltámadás” jelenet figuráinak arca, ahol az ábrázolás részletgazdagabb és a testszínek sötétebb rózsaszínűek (32-33. kép) mint máshol. Ennek oka, hogy sokkal több vas-oxid tartalmú vörössel készültek. Ezt a jelenetet feltehetően más mester alkotta, mint a szentély többi képét.

A *háttér* kék égboltján növényi szénrel és mésszel készült, szürkés-fekete színű aláfestésre vastag azurit réteget hordtak fel. A *kék ruhákat* is azurittal festették, de ezek alatt általában nincs fekete aláfestés (28. kép).

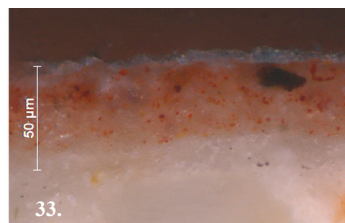
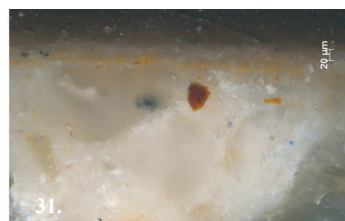
A kék színek árnyalatait tehát úgy érte el a festő, hogy az azurit alatti aláfestést módosította (34-35. kép), vagy a sötétebb tónus eléréséhez növényi szenet is kevert a festékbe.



28. kép. Angyalfigura kék ruhája, alatta jól látszik az okkeres alárajz, déli fal.



29. kép. Nagyon vékony, 20-30 µm-es, vas-oxid tartalmú festékekkel készült alárajz, a kék azurit alatt. Mikroszkópos keresztmetszet-csiszolat.



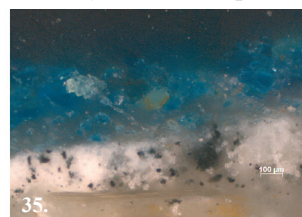
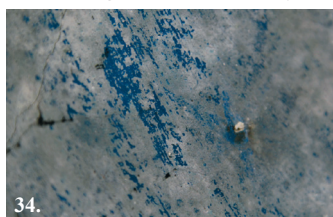
30. kép. Világos testszín, részlet a boltozatról.

31. kép. A világos testszínből vett minta mikroszkópos keresztmetszet-csiszolata. A testszín nagyon kevés sárga és vörös szemcsét tartalmaz. A keresztmetszeten látszik a narancsos alárajz is.

32. kép. Északi fal, „Feltámadás” jelenet, a katona arcáról vett testszín minta.

33. kép. A katona arcáról vett minta mikroszkópos keresztmetszet-csiszolata. A testszín pigmentáltabb, rózsaszínesebb, mint a világos-sárgás testszínek.

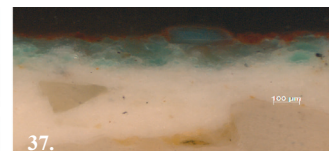
A *barnás-okkeres színek* földfestékekkel készültek (36-37. kép), de sok felületen a jelenleg látható barna szín zöld, vagy vörös pigmentek elváltozásából alakult ki, azaz eredetileg nem volt ennyi barna árnyalat a falképeken.



34. kép. Boltozat, háttér: az azurit nagyrésze kipergett és látszik a szürkés aláfestés.

35. kép. Mikroszkópos keresztmetszet-csiszolat: az aláfestő szürkés réteg mész és növényi szén keveréke, ezen pedig az azurit.

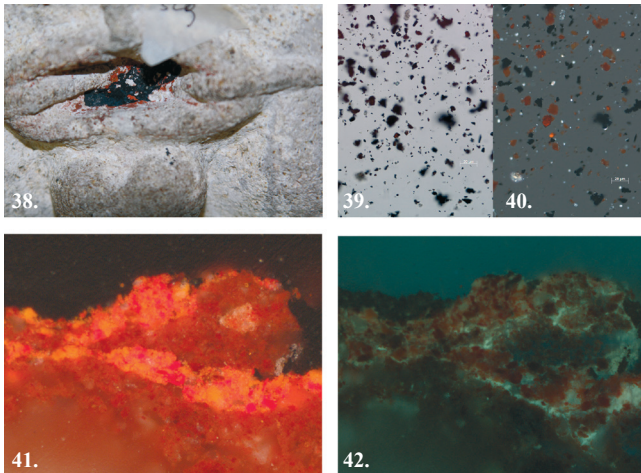
Több volt a zölddel festett rész is: főleg drapériák, fák, virágok és növények. Ezek festéséhez szferolitos malachitot használtak. Az eredeti színvilág további módosulása, hogy a ma élénkebb zöld vagy türkíz színűnek látszó



36. kép. Zöld alapon barna patronminta.

37. kép. Mikroszkópos keresztmetszet-csiszolat. A barna patronminta rétege vas-oxid tartalmú, alatta az eredeti zöld kerekded szferolitos malachit szemcséket tartalmazó réteg húzódik.

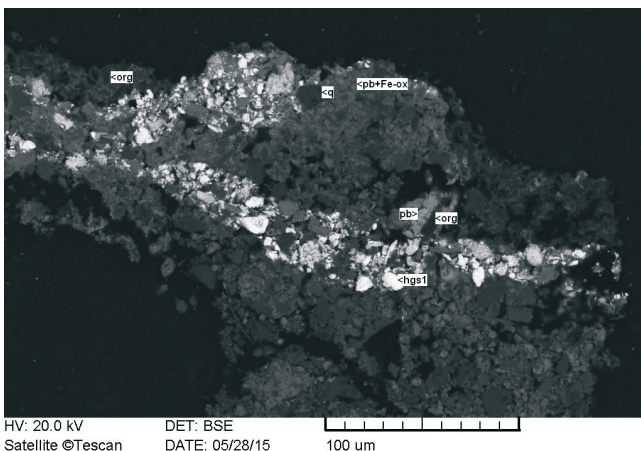
felületek szintén pigmentelváltozások eredményeképpen alakultak ki. Ezek az átalakulási termékek a malachit zöld színéhez tónusban közelítenek, de valójában az ilyen réte-



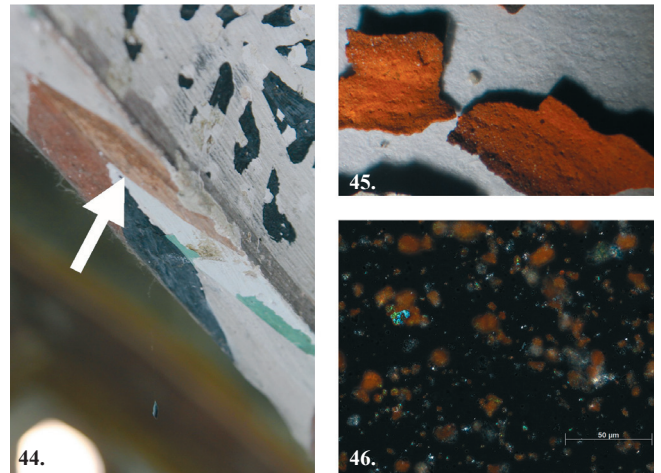
38. kép. A zárókő szája a festékmaradék alapján vörös volt.
 39-40. kép. Szemcsepreparátum átmenő fényben. Jól látszanak a hasábos cinóberszemcsék. Keresztezett polarizátor-analizátor állásnál mutatkozik a cinóber erős kettőtörése, és a narancsos saját színe.
 41-42. kép. A zárókő szájából vett minta mikroszkópos keresztmetszet csiszolata élénk-vörös cinóber és narancsszínű minium szemcsékkal. Lumineszcens felvétel ugyanannak a mintának a keresztmetszet csiszolatáról (BV gerjesztés).

geket a malachit és a kék azurit átalakulásából keletkezett réz-kloridok alkotják.

Az élénk-vörös színek szinte teljesen eltűntek az alma-keréki falképekről, vagy a pigmentek színváltozásai miatt, vagy, mert a festékréteg felszínén olyan bevonat képződött, ami eltakarja az eredeti színt (38-46. kép). Jelenleg csak a vas-oxid tartalmú vöröses barna színeket látni, az élénkebb árnyalatok többnyire elsötétedtek. Az elváltozások oka az alkalmazott pigmentekben és a károsító folyamatok összefüggésében keresendő. Ilyenek a cinóberrel és miniummal festett felületek, az ezekből vett minták alsóbb rétegeiben még találni ép szemcséket is. A cinóbert tartalmazó rétegekből származó minták majdnem mindegyikében kimutatható volt ólomtartalom (minium) is, a kétféle vörös pigmentet keverve használták.



43. kép. A minta SEM-EDX felvétele: a cinóberre utaló higany (Hg) és kén (S) mellett az ólom (Pb), a minium fém eleme is kimutatható.



44. kép. A boltozati bordáról származó minta vételi helye.
 45. kép. Sztereo-mikroszkópos felvétel: a minta alja élénk narancsos vörös, ilyen volt a minium eredeti színe.
 46. kép. Szemcsepreparátum átmenő fényben, keresztezett analízátor állásnál: a minium különleges zöldes interferencia színe alapján jól meghatározható. A mintában sárga ólom-oxidok is voltak.

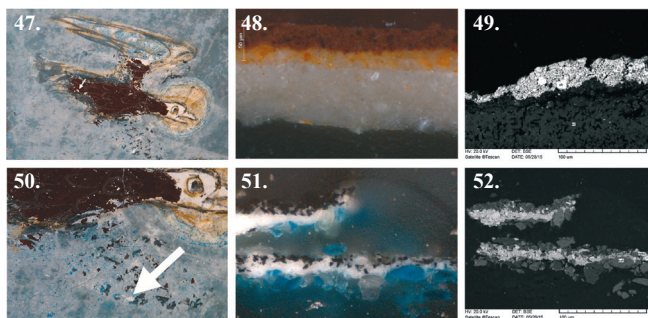
A falképen tehát rengeteg, színváltozással járó pigment-átalakulás történt az évszázadok folyamán, főként az ólomtartalmú és a réztartalmú pigmentek esetén. Az elváltozott anyagok pontos meghatározása műszeres vizsgálatokat igényel, mert a kialakult barnás-feketés termékek mikroszkópi módszerekkel nem mindig azonosíthatók.

Az ólomtartalmú pigmentek elváltozásai

A középkorban gyakran használt ólomtartalmú pigmentek a vörös minium (ólom-tetraoxid), a sárga masszikot (ólom-oxid) és az ólomfehér (bázisos ólom-karbonát) voltak. A falkép mára elbarnult, elfeketedett, vagy narancsos megjelenő részéről származó mintákon mikro-elemanalízissel (SEM-EDX) egyértelműen kimutatható volt az ólom. Sajnos az általunk használt műszerrel az ólom mellett a kén nem határozható meg, így kérdéses maradt, hogy ólom-oxidok vagy szulfidok alakultak-e ki az elváltozások során.⁷

A legszembetűnőbb pigment elváltozás az „Angyali üdvözlés” jeleneten figyelhető meg, ahol a „Szentlélek galambja” feketének látszik (47-52. kép). Feltételezhető volt, hogy a művész a galamb festéséhez fehér színt, vagy valamilyen fényes fóliát alkalmazott, hiszen ikonográfiai szempontból a fekete szín használata elképzelhetetlen. A SEM-EDX vizsgálat eredménye bizonyította az ólom jelenlétét a galamb-ábrázolásból vett mintában. A mester módosította a galamb alakját az alárajzhoz képest, a felvázolt oldalnézet helyett kiterjesztett szárnyakat festett.

⁷ A SEM-EDX vizsgálatnál a két elem (Pb, S) nem mutatható ki egyszerre, a felvett spektrumban a két anyag karakterisztikus vonalai kitakarják egymást.



47. kép. Az „Angyali Üdvözlés” jelenete: a „Szentlélek galambja” ma feketének látszik.

48. kép. A „Szentlélek galambja” ábrázolásból vett minta mikroszkópos keresztmetszet csiszolatán a felső réteg barnásnak tűnik, alatta az alárajz narancsos rétege húzódik.

49. kép. A minta SEM-EDX képén a felső rétegben a nagy ólom-szemcsék szépen kirajzolódnak, alatta a vasoxidos alárajz alig látszik.

50. kép. A galamb kiterjesztett szárnyának festékrétegei nagyrészt kiperegtek. A nyíl a mintavételi helyet jelöli.

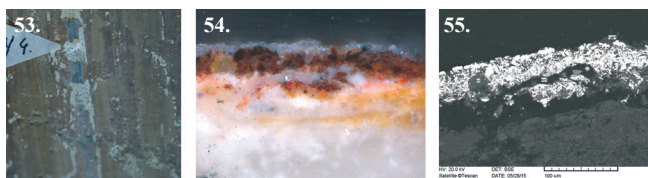
51. kép. A galamb szárnyából vett minta rétegfelépítése: alul azurit szemcsék, felettük a még ép ólomfehér réteg, a tetején az elfeketedett rész.

52. kép. SEM-EDX segítségével kimutatható volt az ólom a megfeketedett részekben is.

Ezeknek csak a nyomai vannak meg, a festékrétegeik elfeketedtek és kiperegtek, mert azokat szekkó technikával az azuritra hordta fel (50-52. kép).

A fehérek mellett a másik jelentős színváltozást mutató csoport a vöröseké. Több mintában van jelen vörös, ólomtartalmú pigment, minium. Megjelenése azonban a felületen barnás, szürkés, ami arra utal, hogy a festett réteg felszíne felől zajlott a rétegek elváltozása. Ennek többféle oka is lehet. Egyrészt okozhatja a sókivirágzás, ami miatt a felszín szórja a fényt és ezért szürkésen jelenik meg. Ilyen jelenség figyelhető meg a Júdás ábrázolás ruháján, ahol a festett felület felszínén gipszpáncél van (53-55. kép).

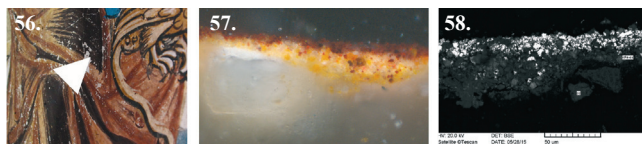
Emellett több minta vizsgálatánál tapasztaltuk, hogy a festő keverve használt cinóber vöröset és miniumot. Ez a réteg a keresztmetszeten narancsos színben jelenik meg. A kevert – cinóber és miniumtartalmú – rétegek teteje is elfeketedett. Ezt egyaránt okozhatta volna a cinóber és a minium szemcsék elváltozása, de a mikro-elemanalízis



53. kép. Északi fal, Júdás ruhája, elszürkült színelület, mintavételi hely.

54. kép. A Júdás ábrázolásból vett minta mikroszkópos keresztmetszet-csiszolata: a sópáncél a felszínen és a festékrétegben is megjelenik, ez okozza a színváltozást és a fizikai roncsolódást.

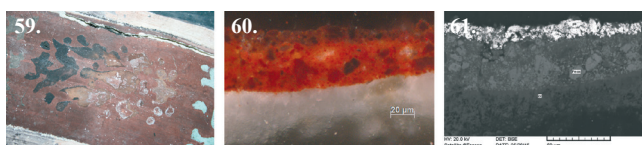
55. kép. A minta SEM-EDX képén az ólomtartalmú anyagok világosak, a sók sötétek. A mérések alapján a só kalcium-szulfát. A mintán megfigyelhető a sók mechanikai pusztító hatása.



56. kép. Elfeketedett palást, mintavételi hely a boltzatonon.

57. kép. Vöröses, a tetején pedig vékony fekete réteg, a színréteg vastagsága 30µm. XRD alapján az egész réteg: plattnerit (30%), kalcit (35%), kvarc (20%), whewellit (5%), azaz a fekete megjelenést az ólom-oxid, plattnerit okozza.

58. kép. Az EDX alapján az alsó vörös réteg vas-oxid, a felette lévő nagyrészt ólomtartalmú, de van benne cinóber szemcse is. Ez utóbbi az erősen reflektáló szemcse Hg tartalma alapján egyértelmű.



59. kép. Fekete-narancs-fehér színátmenetes patronminta vörös alapon.

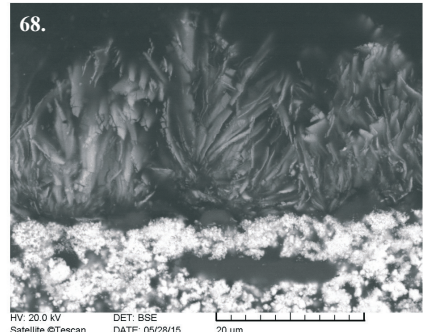
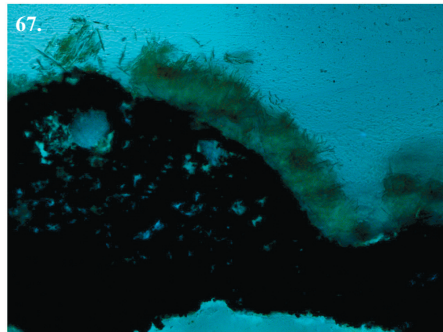
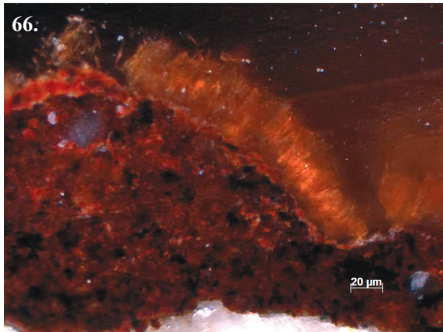
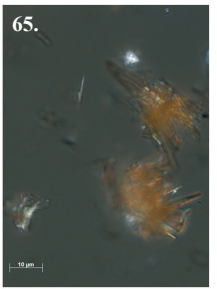
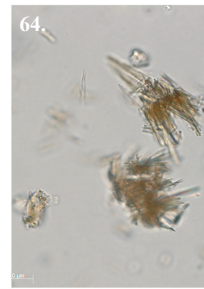
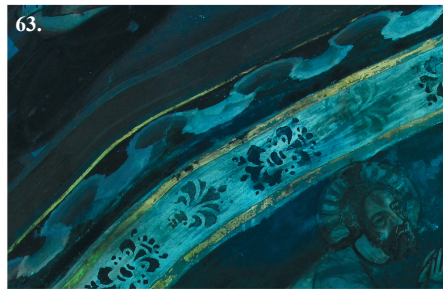
60. kép. A patronfestés fekete részéből vett minta mikroszkópos keresztmetszet-csiszolata: a vörösről lévő sötétbarna réteg tűnik feketének szabad szemmel.

61. kép. A SEM-EDX vizsgálat eredménye: a szabad szemmel sötétben megjelenő felső réteg ólom-, az alsó réteg vastartalmú.

a vizsgált minták teljesen elfeketedett részén nagyrészt ólmot mutatott ki, tehát inkább az ólomtartalmú festék színváltozásáról van szó (56-58. kép).

Nagyon sok, ma fekete, szürke és vöröses-narancsos színű felületről vett mintában mutattunk ki elemanalitikai vizsgálatokkal ólmot. Azt, hogy ezeknek a festékrétegeknek a színe eredetileg vörös, sárga vagy fehér lehetett, nagyon nehéz az eddigi vizsgálatok alapján meghatározni. Mivel leginkább a díszítő motívumokból származó mintákban találtunk ólmot, nem lehet a színre ikonográfia alapján egyértelműen következtetni. Esetleg csak annyit, hogy ha patron minta volt, akkor az alapszínhez képest kontrasztosan kellett megjelennie, azaz nem valószínű, hogy barnás alapon barnás-vörös színt alkalmaztak, hanem inkább világosat vagy nagyon sötétet. A szegélyek valószínűleg miniummal festett vörösek voltak, ez jellemző az egykorú falképekre, például a stílusban is közelálló szászivánfalvi templomban lévőkre. Kérdés, hogy a patronminták eredetileg vajon fehérek, sárgák, narancsos-vörösek, vagy esetleg feketék voltak-e, mivel az ólom-oxidok és -karbonátok eredetileg ilyen színűek lehettek, az átalakulási termékeik azonban szintén hasonlóak. A színátmenetes elváltozás jól látszik a boltzat egyik patronmintáján, ami ma nagyrészt fekete, a boltváll zónájában narancsos színű, de van ahol ugyanez a minta szürkén vagy fehéren jelenik meg (59-61. kép). Ilyen mértékű színváltozások a szakirodalmi adatok alapján leginkább a miniumra jellemzők.⁸ Az elváltozások mértéke és a kialakuló szín összefügghet a nedvesség által az adott helyre eljutó vízdoldható sótartalommal.

⁸ Kotulanová et al. 2009.



62. kép. Normál felvétel: a díszítő szegély halvány narancsos, szürkés-feketés színű.
 63. kép. A díszítoszegély élénk, narancssárgás színben világít a lumineszcens felvételen.
 64. kép. A narancs-színű, 10-20 mikronos tűkristályok csoportja átmenő fényben.
 65. kép. A narancs-színű, 10-20 mikronos tűkristályok csoportja átmenő fényben, kereszttezett polarizátor-analizátor állásnál kettőtörőnek bizonyult.

66. kép. Az alsó barnás, sötét rétegen narancs-színű, tűszerű kristályok láthatók a mikroszkópos keresztmetszet-csiszolatán.
 67. kép. Lumineszcens mikroszkópos felvételen a narancs-színű kristályok enyhén lumineszkálnak.
 68. kép. A tűkristályos réteg szerkezete SEM-EDX felvételen.

Az egyik ólomtartalmú mintán (50-54. kép), ahol még vörösnek látszó minium volt, polarizációs mikroszkóppal és az XRD vizsgálat eredménye alapján is kimutatható volt a minium masszicot és litharge tartalma.⁹ A világos szemcsék (hidrocerrusit, litharge, masszicot) a minium pigment-előállításból maradhettek vissza, a készítéskor alkalmazott nem megfelelő hőntartás miatt alakultak ki. Emellett a szemcsék nagy mérete a kemence típusú előállításra is utal, amire ez a változatos összetétel jellemző. Irodalmi adatok alapján az ilyen alacsony tisztaságú minium hajlamosabb az elváltozásra, ami a jelen példa alapján is valószínűsíthető.¹⁰

A vizsgálatok során a leglátványosabb jelenség a falképről készült lumineszcens felvételeken megjelenő, élénk narancsos színben lumineszkáló csík volt (62-63. kép). Az innen származó mintákban ólom és klór is kimutatható volt. A sötétszínű réteg felszínén egy tús, kristályos jellegű, narancs-színű réteg volt látható a mikroszkópos keresztmetszet-csiszolatokon. Ez nem festett réteg, egyértelműen sókivirágzás jellegét mutatta (73-77. kép). Röntgen-diffrakciós vizsgálattal kimutatható volt, hogy az alsó sötét réteg összetétele: scrutinyit (PbO) 15%, plattnerit (PbO) 60%, kvarc 10%, kalcit 15%; a külső narancsos

réteg: scrutinyit (PbO) 5%, plattnerit (PbO) 25%, laurionit (Pb(OH)Cl) 5%, kvarc, 5%, kalcit 15%, gipsz 5%, whewellit 15%, és weddellit 5%. Azaz a feketedést az ólom-oxidok, plattnerit és a scrutinyit okozták, a narancsos tűkristályok pedig laurionitot, azaz ólom-klorid ásványt tartalmaznak. Ez utóbbi lumineszkál¹¹ UV sugárzásban, ami magyarázatot ad a lumineszcens felvételeken megjelenő, erőteljesen lumineszkáló sávra. A falazatban lévő vízzoldható sók ebben az esetben is közrejátszottak a pigmentek kémiai átalakulásában és a látvány megváltozásában, mivel jelenleg a festékréteg felszínén a narancssárga színű, tús ólom-klorid kristályréteg látható.

A réztartalmú pigmentek elváltozásai

Az elbarnult felületek esetében nehezebb mintavétel nélkül meghatározni az eredeti színt, hiszen nem mindig egyértelmű, hogy például a drapériák vagy az angyalok szárnya hol lehetett eredetileg zölddel vagy más színnel festve. Viszont a fák lombjainál (69. kép), főleg az átmenetesen elváltozott zöld-barna foltok alapján következtethetünk arra, hogy az adott rész egykor zöld volt.

Ezek a területek a festékekben használt, PLM és EDX segítségével kimutatott, eredetileg zöld szferolitos malachit¹² elbarnult, feltehetően szintén a vízzoldható sók

⁹ Az XRD alapján: hidrocerrusit (5%), litharge (6%), masszicot (8%), minium (80%).

¹⁰ Fitzhugh 1986, Eastaugh – Walsh – Chaplin – Siddall 2004, Saunders – Spring – Higgitt 2002.

¹¹ Robbins 1994.

¹² Heydenreich 2003, Galambos – Vihart 2013.



69. kép. Fa felső, elbarnult lombrésze.



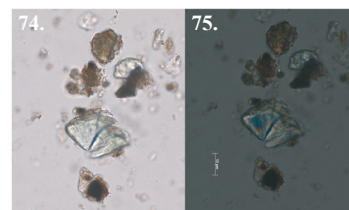
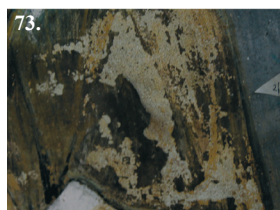
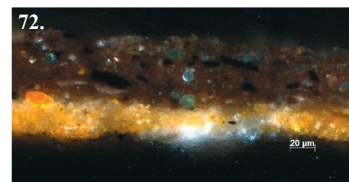
70. kép. Az ablak feletti egykor zöld ornamentika elbarnult felülete.

okozta kémiai reakció hatására (lúgok hatására réz-hidroxidra, majd réz-oxidra változik). A kialakult reakciótermék nagy része a röntgen-diffrakció (XRD) alapján tenorit, azaz réz-oxid, ami barnás feketés megjelenésű.

Az ilyen jellegű elváltozás az ablakok feletti keretelő motívumnál a legszembetűnőbb (70. kép), itt nyomon követhető, ahogyan a zöld szín fokozatosan átmegy barnásba.

Ehhez hasonló barna színű egyes angyalok szárnya és több figura ruhája. Az eredetileg zöld részek közül sok levelesen mállik. A károsodás részben a kötőanyag meggyengülése, részben a beázás és a fizikai károsító hatást kifejtő sók tevékenysége miatt történik. Az egyik, József elbarnult ruhájából vett minta (71-75. kép) festett rétegének összetétele az XRD vizsgálat szerint: malachit (5%), tenorit (10%), gipsz (25%), whewellit (3%) és weddelit (10%), ami alapján a sók (gipsz és oxalátok) jelenléte egyértelmű, és a károsodással is összefüggésbe hozható. A magas oxalát (whewellit, weddelit) tartalom a mikroorganizmusok jelenlétét jelzi. A gipsz okozhat felszíni elválást, úgy is, hogy a felszín alatti mikrorepedésekben kikristályosodva „letolja” a festékréteget, és úgy is, hogy a felszínen kikristályosodott só „letépi” az alatta lévő gyengén kötődő rétegeket. Tehát a zöld pigment kémiai átalakulásán túl a festett réteg fizikai aprózódásában, kipergésében is szerepük van a vízdoldható sóknak.

A függőleges falak alsó és középső zónájában nincsenek olyan elbarnult zöld felületek, mint feljebb. Ez összefügghet az alsó zónák magasabb nitrát tartalmával, a higroszkópos sók jelenlétével, vagy a nedvesedés mértékével. Ezeken a részeken az eredeti zöld színek nem alakultak át fekete, barna réz-oxidra, viszont feltehető, hogy ennek ellenére zajlott – zajlik átalakulás, pl. kloridok hatására réz-kloridra, atacamitára, vagy paratacamitára alakulnak a réztartalmú pigmentek. Ez a folyamat annyiban szerencsésebb, hogy a keletkező réz-sóknak a színe a malachithoz hasonlóan zöld, annál talán kissé világosabb, kékesebb tónusú. Az áttekintő felvételeken (71-75. kép) feltűnik, hogy a falak alsó-középső zónájában milyen sok a zöld felület. Az északi oldal „Ostorozás” jelenetében, egy, a kék azurit háttér előtt álló figura nadrágja is eredetileg zöld lehetett. Az innen vett minta röntgen-diffrakciós vizsgálatok a színréteg összetétele: paratacamit (15%), whewellit (20%), kvarc (20%) és kalcit (40%) volt. Ez alapján feltehető, hogy színben nem történt ugyan nagymértékű változás, de a pigmentek kristályszerkezetében igen. Problémát jelent azonban, hogy a réz-kloridok vízdoldhatók, és ez látszik is azokban a zónákban, ahol a falak intenzívebb nedvesedése miatt a zöld színek lemosódtak. A szakirodalomból¹³ tudjuk, hogy réz-kloridokat használtak zöld festékként, de Almakeréken inkább a pigmentek átalakulása valószínűsíthető, és kevésbé az, hogy a festő kétféle zöldet alkalmazott, mivel a fenti zónákban a szferolitos malachit még jól meghatározható, és néhány letről vett mintában is akadt még épen maradt ilyen szemcsé.



71. kép. József alakjának elbarnult ruhája.

72. kép. A vakolattól elvált festékrétegből vett minta mikroszkópos keresztmetszet-csiszolata: alul az alárajz sárga rétege, felette az elváltozott zöld réteg, amiben még vannak szferolitos zöld malachit szemcsék.

73. kép. Nagy foltokban, levelesen leváló festékréteg, mintavételi hely.

74. kép. Átmenőfényes mikroszkópi kép: szferolitos malachit szemcsé, és mellette az elbarnult szemcsék.

75. kép. Keresztezett polarizátor-analizátorral: szferolitos malachit szemcsé, és mellette az elbarnult szemcsék.

¹³ Švarcová 2009, Naumova – Pisareva – Nechiporenko 1990, Naumova – Pisareva 1994, Heydenreich 2003, Bidaud – Halwax – Pantos – Sipek 2008.



76. kép. Áttekintő kép a mennyezetről: nyíl jelöli az elbarnult zöld részeket.



78. kép. Áttekintő kép, nyilak jelölik az elzöldült azurit felületeket.

77. kép. Áttekintő kép az oldalfalakról: nyíl jelöli az elbarnult zöld felületeket, amik a felső zónára jellemzők. Megfigyelhető még a középzónában a feltűnően sok, élénkzöld szín jelenléte, viszont a falkép alsó regiszterében (2 m alatt) már alig van zöld szín.



79. kép. Áttekintő kép, nyilak jelölik az elzöldült azurit felületeket.



Összefoglalva: a ma látható zöld felületek egy része eredetileg is zöld volt, más részük azonban azurittal festett kék színű. Ez egyértelmű az égbolt kék színénél, de más helyeken, pl. az alsó-közép zónában ábrázolt alakok drapériáinál nem mindig tudjuk, hogy milyenek lehettek. A kék azurit, ami bázisos réz-karbonát, a malachit-hoz hasonlóan átalakul a vízzeloldható sókkal szennyezett zónában zöld színű réz-kloriddá. A festő színhasználatának megállapítása tehát, az ólomtartalmú festékekhez hasonlóan, a réztartalmú pigmentek esetében is nehéz, mivel az eredetileg kék és zöld festékeknek ugyanolyan színű az átalakulási terméke.

A kloridtartalom az összes zónából származó sóvíz-gálati mintában kimutatható volt, tehát a kloridok az építőanyagként átmosás nélkül felhasznált iszapos folyami homokkal juthattak a falba. Ahol nagyobb vízesedés történt, (lábazati felázás, tetőbeázás, falrepedés) és kioldódott a só, ott az azurit elzöldült (80-84. kép). Ez a leg hangsúlyosabban a mennyezet négyzeti szakaszán, az északi oldalon jelenik meg, ahol az elzöldült felület egy teljesen kipergett, a vakolatig kimosódott részt ölel körül (80. kép). A nedvesség a boltszakasz két boltindításába is leszivároghatott, ezért ennek környezetében, és a szen-



80. kép. Az eredetileg kék háttérszín zölddé változott a nagy kimosódott folt mentén.

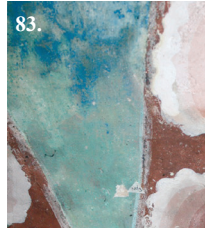


81. kép. A nagy repedések mentén beszivárgó nedvességgel oldatba kerülő sók hatására elzöldült az azurit.

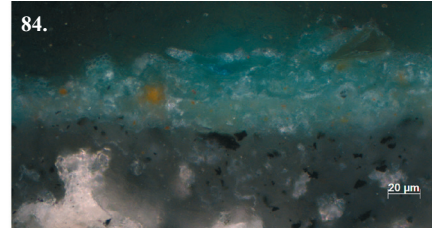


82. kép. A kék háttér elzöldült, Mária kék ruhája pedig kissé besötétedett a sók hatására.

tély nyugati boltcikkének alján is hasonló foltok vannak. A záróköveken szintén van elzöldült kék rész. Az északi falon a közép regiszterben jelenik meg hasonló elzöldült felület, ami pont a sekrestye tetejének beázási zónája felett húzódik. A szentély déli ablaka melletti boltindításnál is van elváltozott színfelület, a déli oldalfalon pedig az alsó-középső zóna alján, a fal alja felől történő felázási zóna szélén. Az elváltozott azurit felületek színes



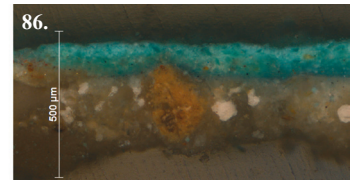
83. kép. A mennyezeten teljesen átalakult az azurit.



84. kép. A mikroszkópos keresztmetszet-csiszolatban jól látható, hogy az eredetileg kék színű rétegben a zöldülés a hordozó, illetve a fekete aláfestés felől indul, a réteg teteje még tartalmaz eredeti kék azurit szemcséket.



85. kép. Mintavételi hely az észak-keleti falon a boltozat indításánál. Zöld minta a kőről.



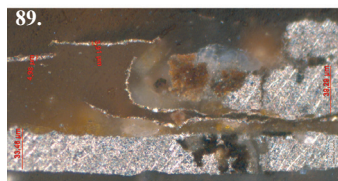
86. kép. A mikroszkópos keresztmetszet-csiszolatban a kékebb színű szemcsék között vannak, amelyek ólom-réz kloridokká (cumengeit) alakultak.



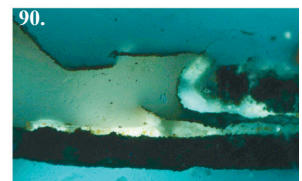
87. kép. Eredetileg arany színű glória, amiről levelesen válik le a fémfólia díszítés.



88. kép. Sztereo-mikroszkópos felvétel: az ón alsó része ezüstösen csillog.



89. kép. Egy felpöndörödött fólia mikroszkópos keresztmetszet-csiszolata. Az alsó vastag ónrétegben barnás foltok vannak.



90. kép. Lumineszcens mikroszkópos felvétel: alul a vastag, sötét színű ónfólia, rajta erősen lumineszkáló ragasztóréteg, felül pedig a vékony arany-ezüst fólia.

indikátorként, jól jelzik, hogy a nedvesség melyik zónáig tudta oldatba vinni a falazatban jelenlévő kloridokat, illetve a sóoldat meddig tudott eljutni a nedvesedés kiindulópontjához képest (78-79. kép). A röntgen-diffrakciós vizsgálatokkal a réz-klorid (főleg paratakamit) tartalom egyértelműen meghatározható volt. Emellett egészen magas oxalát (whewellit, weddelit) tartalmat mutattunk ki, ami itt is utal az oxálsavat termelő biológiai károsítók

A MINTÁKBAN ELŐFORDULÓ SÓK TÁBLÁZATOS ÖSSZEGRÉSE							
Minta	1.1.	1.2.	1.3.	1.A.	2.	2.A.	2.B.
Sók	NaCO ₃ Na ₂ CO ₃ ·H ₂ O Na ₃ H(CO ₃) ₂ ·2H ₂ O Na ₄ (SO ₄)(CO ₃ ,SO ₄) Ca(CO ₃)	NaCl Ca(CO ₃) Na ₂ SO ₄	MgCO ₃ MgCO ₃ ·3H ₂ O Ca(CO ₃)	Ca ₂ SO ₄ ·2H ₂ O NaNO ₃	NaNO ₃ NaCl	Ca ₂ SO ₄ ·2H ₂ O NaNO ₃ NaCl KCl	Ca ₂ SO ₄ ·2H ₂ O NaNO ₃ NaCl KNO ₃ KCl
Higroszkóposság	nem	nem	nem	enyhén	?	enyhén	nem
Minta	3.	4.	5.	5.B.	6.	7.	8.
Sók	Ca ₂ SO ₄ ·2H ₂ O NaNO ₃ NaCl CaCl	Ca ₂ SO ₄ ·2H ₂ O Ca ₂ SO ₄ ·1/2H ₂ O Mg ₂ SO ₄ ·H ₂ O NaNO ₃ CaCl	Ca ₂ SO ₄ ·2H ₂ O NaNO ₃ NaCl CaCl	Ca ₂ SO ₄ ·2H ₂ O NaNO ₃ NaCl CaCl	Ca ₂ SO ₄ ·2H ₂ O NaNO ₃ CaCl	Ca ₂ SO ₄ ·2H ₂ O NaNO ₃ CaCl	Ca ₂ SO ₄ ·2H ₂ O NaNO ₃ NaCl KCl
Higroszkóposság	igen	enyhén	erősen	erősen	erősen	erősen	enyhén
Minta	9.	10.	11.	12.	13.		
Sók	Ca ₂ SO ₄ ·2H ₂ O NaNO ₃ NaCl CaCl	Ca ₂ SO ₄ ·2H ₂ O NaNO ₃ NaCl CaCl	Ca ₂ SO ₄ ·2H ₂ O NaNO ₃ NaCl	Ca ₂ SO ₄ ·2H ₂ O NaNO ₃	Ca ₂ SO ₄ ·2H ₂ O Ca ₂ SO ₄ ·1/2H ₂ O NaNO ₃		
Higroszkóposság	erősen	igen	enyhén	enyhén	nem		

jelenlétére, amelyek számára a higroszkópos kloridok kedvező nedves környezetet biztosítottak. Az oxalátok megjelenésével, valamint a higroszkópos sók okozta folyamatos nedvesedéssel is összefüggésbe hozható az a jelenség, ami bizonyos felületeken „nedves foltként” ható elsötétedésként észlelhető (82. kép).

Ritka ásványos anyagot mutattunk ki az egyik oszlop fő elzöldült felületéből vett mintából (96-97. kép).

A minta színe eredetileg kék vagy zöld lehetett (azurit, vagy esetleg malachit zöld). Elemanalitikai (EDX) mérésekkel a réztartalom egyértelműen kimutatható volt, emellett magas klór-, és ólomtartalom is. A röntgen-difrakciós vizsgálat eredménye: wedellit (15%), wewellit

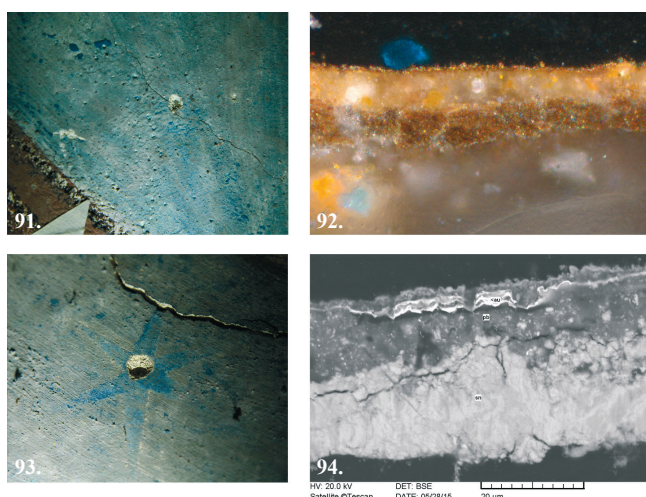
(12%), atakamit (8%), paratakamit (5%) és cumengeit (Pb₂₁Cu₂₀Cl₄₂(OH)₄₀) (15%). A cumengeit egy ritka, a természetben is előforduló ólom-réz-klorid ásvány. Almakéren valószínűleg azért alakulhatott ki, mert a réztartalmú festékek mellett ólomtartalmú festék is jelen volt. A „nedves” megjelenésű foltosodás itt is az oxalátoknak, vagy a higroszkópos sóknak köszönhető.¹⁴

A fémfóliák károsodásai

Az eddigiekben leírt, a középkorra jellemző élénk színezés mellett a falképet fémfóliával is gazdagon díszítették. A glóriák, az égbolton már csak nyomokban fellelhető csillagok (87., 90-91. kép), valamint a ruhák díszei kis, kivágott fémfóliákkal voltak aprólékosan kialakítva. Ezek a fóliák mára szintén nagyrészt leperegtek, vagy elváltoztak – elbarnultak, elfeketedtek.

A fóliák leválásának több oka lehet. Egyrészt a használt ragasztóanyag idővel meggyengülhetett, zsugorodhatott, másrészt a fólia alatt kikristályosodó sók lelekkették a réteget.

A fóliák nagy része több anyagból készült: ónfóliára valamilyen szerves, ólomszikkatívvá kezelt kötőanyaggal (94. kép) felragasztott arany és ezüst összetételű vékonyabb lemezt ragasztottak (lehetőséges, hogy zwischgold-ot használtak). A 30-40 mm vastag ónfóliák sokszor elbarnultak, ebben más okok mellett, az alacsony hőmérséklet is közrejátszhatott, ami elősegíti az ón kristályszerkezeti átalakulását (ónpestis), de a jelenlévő sók miatt más vegyületek is kialakulhattak.¹⁵ A vékony (2-4 mm) arany-ezüst réteg pedig a magas ezüsttartalom miatt feketedett el, ezüst-szulfid alakult ki.



91. kép. Egy kipergett csillagdíz barnás széle.

92. kép. A fólia alsó, óntartalmú része ezen a mintán már teljesen elbarnult. Felette az ólomtartalmú ragasztóanyag és felül a vékony aranyfólia foglal helyet. Mikroszkópos keresztmetszet-csiszolat.

93. kép. Kipergett csillag helye a mennyezeten.

94. kép. SEM-EDX vizsgálat: a keresztmetszet csiszolaton barnának látszó alsó rész óntartalmú, a ragasztóanyag ólomtartalmú, a felső vékony fólia pedig ezüstöt és aranyat tartalmaz.

¹⁴ Švarcová 2009. A cumengeit előfordulhatna kísérőásványként is, de akkor több azurit vagy malachit mintában is kimutatható lenne. Inkább feltehető hogy átalakulási terméként jelenik meg.

¹⁵ Cardell 2012, MacLeod, I. 2005.



95. kép. Az almakeréki falképek állapota 2015 áprilisában.



96. kép. Digitálisan színrekonstrukció, részlet.

Összefoglalás

A pigmentvizsgálatok alapján egyértelművé vált, hogy az almakeréki szentély falképeinek színe jelentős mértékben elváltozott, és a látszat ellenére a középkori falképegyüttes megjelenése nagyon eltér az eredeti pompájától. Egyrészt mert a vízdoldható sók kémiai hatására főként az ólom és réztartalmú pigmentek átalakultak, másrészt a meggyengült vakolat és festett rétegek sok helyen perregnek, rossz megtartásúak, amit szintén a nedvesedés és a vízdoldható sótartalom okoz.

Az eredetileg kék azurit felületek elzöldültek, réz-kloriddá alakultak, ahol a beázás nagyobb mértéket öltött ott az aláfestésig, vagy a vakolatig kimosódtak. Hasonlóan réz-kloriddá alakult át egyes részeken az eredetileg szferolitós malachit, de ez színben nem okozott jelentős változást.

Bizonyos helyeken, ahol egyértelműen kék felület volt, mint a boltozat zónájában a csillagos ég, vagy Mária köpenyén, ott könnyű következtetni az eredeti színre, de a függőleges falszakaszok közép-alsó zónájában már nehezebben állapítható meg, hogy a szentek alakjainak eredetileg zöld vagy kék ruhája volt-e.

Hasonló problémát jelent a boltozaton a reneteg barnás, szürkés szín korábbi megjelenését meghatározni vizsgálatok nélkül. A falképek felső zónáiban jellemző barnás-feketés, réz-oxid tartalmú, elváltozott réteg eredetileg zöld malachit volt. Más részük viszont ólomtartalmú pigment is lehetett, ami feketés, szürkés, barnás, de olykor fehér színűvé alakult át.

Az ólomtartalmú vörös, a minium, ami például a képeretelő szegélyek eredeti színe volt, ma színátmenetesen, fekete-szürke-fehér-narancs színben jelenik meg, ezeken a helyeken jól megfigyelhető hogyan változott át a pigment. A patronmintákon is sok ilyen átmenetes színváltozás van. Az ólomtartalmú festékek esetén az a kérdés, hogy vajon mindegyik vörös minium volt-e, vagy esetleg ólomsárga, ólomfehér is előfordult, hiszen átalakulási termékeik, az ólom-oxid, vagy ólom-klorid

ugyanaz. Az elváltozások nagyrészt a falakból kioldódott sók kémiai hatására történtek, a folyamatokat ma már visszafordítani nem lehet, csupán megállításukra, lassításukra törekedhetünk. A nedvesség utánpótlás mérséklése fontos cél, de bizonyos pigmentek esetén – pl. az ólom-pigmenteknél –, ez az elváltozás lúgos közegben idővel szinte mindig bekövetkezik.

Az anyagvizsgálatok, az építőanyag és a nedvességi zónák meghatározása mellett kártérkép is készült¹⁶, ami szintén segítheti az esetleges restaurátori beavatkozások megtervezését. A nagyobb sókoncentráció, valamint a higroszkópos sók jelenléte azokban az esetekben, ahol a falképet konzerválni kell, akadályozhatja a munkafolyamatokat, a kezelőszerek bejuttatását, ezért a sók kivonása ezeken a területeken, lokálisan indokolt lehet. A falak teljes sótalanítása nem kivitelezhető, főként amennyiben a sók egy része az építőanyaggal került a falazatba. A restaurátori beavatkozás célja a meglévő állapot stabilizálása, a festék pergésének megakadályozása, a nedvességutánpótlás kiküszöbölése és a sókár mérséklése. Az anyagvizsgálati eredmények alapján egy digitális színrekonstrukció (95-96. kép) is kivitelezhető, ami az anyaghasználat és festéstechnika összehasonlíthatósága mellett segítheti a művészettörténeti kutatást, a mesterek vagy festőiskolák meghatározását.

A felvételeket készítette: Gayerhoffer Kovács Gábor, Galambos Éva, Török Ákos, Nemes Erika, Váli Zsuzsanna.

¹⁶ Kiss Lóránd és munkatársai

IRODALOM

- AZE, S. – VALLETT, J.M. – POMEY, M. – BARONNET, A. – GRAUBY, O.: Red lead darkening in wall paintings: natural ageing of experimental wall paintings versus artificial ageing tests. In: Eur. J. Mineral. Fast Track Article, Fast Track DOI: 10.1127/0935-1221/2007/0019-1771
- BAUER J. – NOVÁK A.: Artificial copper pigments in wall paintings. In: *Technologia Artis* 3. 1993, pp.153–158.
- BIDAUD, E. – HALWAX, E. – PANTOS, E. – SIPEK, B. (2008): Analyses of a Green Copper Pigment Used in a Thirteenth-Century Wall Painting. In: *Studies in Conservation* 53. pp. 81–92.
- CARDELL, C. – GUERRA, I. - YEBRA-RODRIGUEZ, A. (2005): Tin Deterioration on Polychrome Stone Sculptures of the San Jerónimo Church (Granada, Spain) Jun 2012 http://www.ehu.es/sem/macla_pdf/macla16/Macla16_054.pdf
- EASTAUGH, N. – WALSH, V. – CHAPLIN, T. – SIDDALL, R. (2004): *The Pigment Compendium*. CD-ROM, Elsevier.
- FITZHUGH, E.W. (1986): *Red Lead and Minium*. Artists' Pigments vol. 1. Cambridge, pp. 109-140.
- GALAMBOS Éva – VIHART Anna (2013): *Pigmentum, az első magyar nyelvű internetes pigment adatbázis* (www.pigmentum.hu)
- HEYDENREICH, G. (2003): „A note on Schifergrün”. In: *Studies in Conservation*, 48 (4). pp. 227–36.
- KEUNE, K. – BOON, J. J.: Analytical Imaging Studies Clarifying the Process of the Darkening of Vermilion. In: *Paintings Anal. Chem.* 2005. 77. pp. 4742-4750.
- KOTULANOVÁ, E. – BEZDIČKA, P. – HRADIL, D. –, HRADILOVÁ, J. – ŠVARCOVÁ, S. – GRYGARA, T. (2009): Degradation of lead-based pigments by salt solutions. In: *Journal of Cultural Heritage* 10, pp. 367–378.
- KOTULANOVÁ, E. – SCHWEIGSTILLOVÁ, J. (2009): Wall painting Damage by Salts: Causes and mechanisms. *Acta Research Reports*, No. 18. pp. 27–31.
- MACLEOD, I. (2005): The decay and conservation of museum objects of tin. In: *Studies in Conservation*, Vol. 50. pp. 151-152.
- NAUMOVA, M. M. – PISAREVA, S. A. – NECHIPORENKO, G. O. (1990): Green Copper Pigments of Old Russian Frescoes. In: *Studies in Conservation*, Vol. 35. No. 2. pp. 81-88.
- NAUMOVA, M. M. – PISAREVA, S. A. (1994): A Note on the Use of Blue and Green Copper Compounds in Paintings. In: *Studies in Conservation*, Vol. 39. No. 4. pp. 277-283.
- ROBBINS M. (1994): *Gems and Minerals Under Ultraviolet Light*. Geoscience Press.
- SAUNDERS, D. – SPRING, M. – HIGGITT, C. (2002): Colour change in red lead-containing paint films. In: ICOM Committee for Conservation preprints. 13th Triennial Meeting, Rio de Janeiro. London: ICOM.. pp. 455-463.
- SCOTT, D. A.: *Copper and bronze in art: Corrosion, colorants, conservation*. Los Angeles: Getty Conservation Institute. 2002. vol. 23. 50-61. <http://www.nationalgallery.org.uk/the-blackening-of-vermilion-analytical-study-of-the-process-in-paintings>.
- ŠVARCOVÁ, S. – HRADIL, D. – HRADILOVÁ, J. – KOČÍ, E. – BEZDIČKA, P. (2009): Micro-analytical evidence of origin and degradation of copper pigments found in Bohemian Gothic murals. In: *Anal Bioanal Chem* 395. pp. 2037–2050.

Galambos Éva DLA

Okl. Faszobor restaurátorművész

Egyetemi adjunktus

Magyar Képzőművészeti Egyetem

1062 Budapest Andrásy út 69-71.

Tel.: +36-1-3421-738

E-mail: galambos2@gmail.com

Váli Zsuzsánna

Okl. Festőrestaurátor művész

Doktorandusz

Magyar Képzőművészeti Egyetem

1062 Budapest Andrásy út 69-71.

Tel.: +36-1-3421-738

E-mail: zsuzsavali@gmail.com

Dr. Török Ákos

Tanszékvezető, egyetemi tanár

Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

H-1111 Budapest Műegyetem rkp. 3. K. épület

Fax: +36-1-463-2017

E-mail: torokakos@mail.bme.hu

Tel: +36-1-4632414

Nemes Erika

Okl. Festőrestaurátor művész

Doktorandusz Babeş-Bolyai Tudományegyetem

(Universitatea Babeş-Bolyai)

Történelem és Filozófia Kar, Magyar Filozófiai Intézet

400084 Kolozsvár, Stradă Mihail Kogălniceanu 1

Románia

Tel.: +40-723- 007-106

E-mail: erikafeketics@yahoo.com