

KEMÉNY GYÖRGY POP-ART 'SZEKKÓ' FALFESTMÉNYÉNEK MULTIANALITIKAI VIZSGÁLATA

A MULTI-ANALYTICAL EXAMINATION OF GYÖRGY KEMÉNY'S POP ART MURAL 'SECCO' •

SZABÓ Máté^{1,2*}, BAJNÓCZI Bernadett^{1,2*}, ARADI László Előd³ & BÓNA István⁴

¹HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Földtani és Geokémiai Intézet, 1112 Budapest,
Budaörsi út 45.

²HUN-REN CSFK, MTA Kiváló Kutatóhely, 1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós út 15–17.

³ELTE TTK FFI Litoszféra Fluidum Kutató Laboratórium, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C. Jelenlegi
cím: MNMCK Magyar Nemzeti Múzeum, Nemzeti Régészeti Intézet, Archeometriai Labor,
1113 Budapest, Daróczi út 3.

⁴Magyar Képzőművészeti Egyetem, 1062 Budapest, Andrássy út 69–71.

*levelező szerző, e-mail: szabo.mate@csfk.org, bajnoczi.bernadett@csfk.org

Abstract

Pop art is a 20th century art movement that originated in England. The themes of pop art are drawn from the products of the popular culture, and its techniques are very diverse. Pop art has been present in Hungary since the mid-1960s. Pop art works, even if they are very recent, may require restoration due to the quality of the materials used or the potential damage caused by the environmental conditions. The same happened to György Kemény's pop art masterpiece, the protected mural 'Secco', which is located on the walls of a room in a downtown apartment in Budapest. In the present study, we report the results of the scientific analyses related to the restoration. The analyses were carried out to determine the causes of deterioration and to identify the pigments used in the mural. The mural layers and various colours were analysed for chemical composition using a handheld XRF spectrometer in situ and for mineralogical composition using X-ray diffraction (XRD) analysis on small detached samples. SEM-EDX, micro-XRD and Raman microspectroscopy were used for detailed characterisation of the paint layers and the identification of the inorganic and organic colorants used. This combined analytical approach confirmed the use of chrome yellow (PbCrO₄, in greens), cobalt blue (cobalt spinel/CoAl₂O₄, in blue) inorganic pigments, as well as phthalocyanine (PB16, PG7 and PG36 in green, PB15 in blue and light green), PY3 (in light green), PR3 (in red) and PBk8 (in black) synthetic organic pigments. The deterioration of the mural was most likely caused by the combined effect of moisture and traffic-related vibration, enhanced by the hardening, brittleness and volume change of the paint film layer due to ageing.

Kivonat

A pop-art 20. századi, Angliából induló képzőművészeti irányzat. Témáit a popkultúra termékeiből meríti, technikái igen változatosak. Magyarországon az 1960-as évek közepétől van jelen. Bár a pop-art művek egyáltalán nem régiek, a felhasznált anyagok minősége vagy a műtárgyat károsító környezeti tényezők miatt mégis restaurálásra szorulhatnak. Így történt Kemény György alkotása, a védett 'Szekkó' falfestmény esetén is, amely a budapesti Arany-ház egyik lakásában, a volt cselédszoba falán található. Jelen munkánkban a restauráláshoz kapcsolódó természettudományos vizsgálatok eredményeiről számolunk be. A vizsgálatok célja a károsodás okainak feltárása, valamint a festményhez alkalmazott pigmentek jellemzése volt. A falak egyes rétegeinek és különböző színeinek kémiai összetételét in situ kézi röntgenfluoreszcens spektrométerrel (hXRF), ásványos összetételét leválasztott mintákon röntgen-pordiffrakcióval (XRD) határoztuk meg. A festékrétegek részletes jellemzésére és a színadók szerves és szervetlen pigmentek azonosítására SEM-EDX-t, mikro-XRD-t és Raman mikrospektruskópiát alkalmaztunk. A különféle vizsgálati módszerek kombinálásával igazoltuk krómsárga (PbCrO₄, zöldekben), kobaltkék (kobalt-spinel/CoAl₂O₄, kékben) szervetlen pigmentek, valamint

• How to cite this paper: SZABÓ M., BAJNÓCZI B., ARADI L.E. & BÓNA I., (2025): Kemény György pop-art 'Szekkó' falfestményének multianalitikai vizsgálata / A multi-analytical examination of György Kemény's pop art mural 'Secco' (In Hungarian with English abstract), *Archeometriai Műhely* XXII/4 311–332.
doi: [10.55023/issn.1786-271X.2025-023](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2025-023)

ftalocianin (PB16, PG7 és PG36 zöldben, PB15 halványzöldben és kékben), PY3 (halványzöldben), PR3 (vörösben), és PBk8 (feketében) szintetikus szerves pigmentek jelenlétét. A falfestmény károsodását a nedvesség és a közlekedésből származó rezgések együttesen okozhatták, amit fokozott a festékfilm öregedéssel járó keményedése, ridegsége és térfogatváltozása.

KEYWORDS: POP ART, MURAL, RESTORATION, X-RAY SPECTROMETRY, X-RAY DIFFRACTION

KULCSSZAVAK: POP-ART, FALFESTMÉNY, RESTAURÁLÁS, RÖNTGENSPEKTROMETRIA, RÖNTGENDIFFRAKCIÓ



1. ábra: Kemény György: 'Szekkó'. a) A vörös pontok számmal a mintavételek helyét jelölik, b) a négyjegyű szám a kézi röntgenfluoreszcens spektrométerrel (hXRF) végzett mérések helyét mutatják.

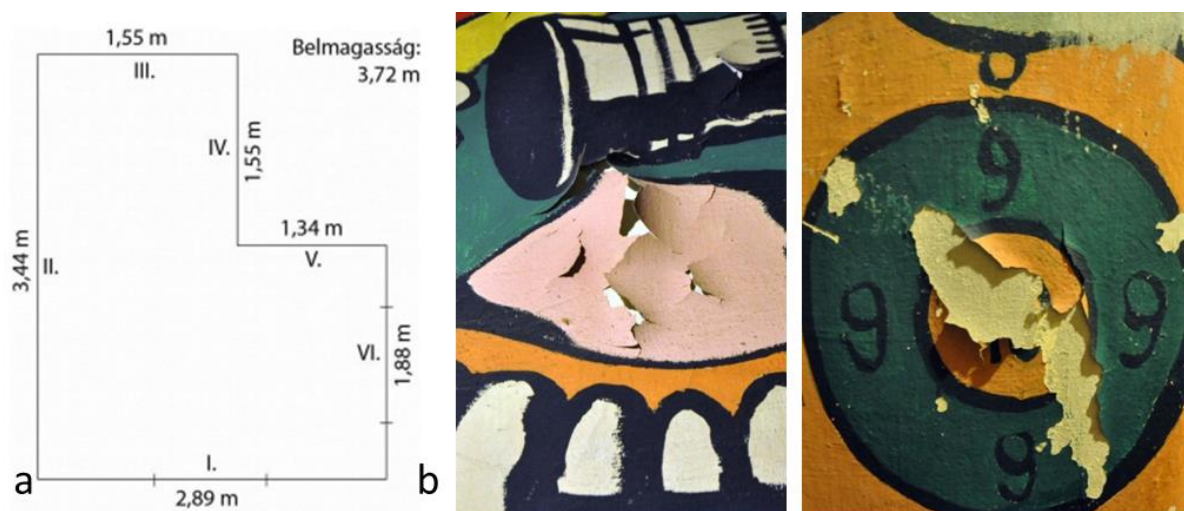
Fig. 1.: György Kemény: 'Secco'. a) red dots with numbers indicate the sampling sites, b) four-digit numbers indicate handheld XRF measurement points

Bevezetés

A pop-art az 1950-es években született Angliában, majd az Amerikai Egyesült Államokban is megjelent (Livingstone 1990). A dadaizmusban és részben a szürrealizmusban gyökerezik, témáit a popkultúra termékeiből, a plakátokból, képregényekből, hirdetésekől meríti. A tárgyakat tiszta színekkel, világos viszonyrendszerben festi. A pop-art nagy alakjai az akrilfestékeket is használták, melynek előnye a gyors száradás, valamint, hogy száradás közben nem változik a megjelenése, azaz az eredmény szinte azonnal látható, továbbá tartós. Jellemző technikái a száraz ecsetes festés, az elmosás, a pöttyözés, a fröcskölés, a ráfolytatás, a szivacsos felvitel, a késes felvitel, valamint a lazúrozás (<http://www.craftsy.com>). A hazai pop-art jellegzetes műalkotásai közé tartozik a *Sülyyedjek felfelé* (Altörjay Sándor, 1966), a *La maison des anges* (Konkoly Gyula, 1966) és az *Asztronauták* (Siskov Ludmill, 1968). Pop-art stílusban készültek falképek is, ilyen például Keith Haring a melbourne-i Collingwoodban (<https://melbourneharingmural.com.au>) található falfestménye, amely 1984-ben készült. A modern falképek jellemzően szekkó technikával készülnek. Szekkó készítése során száraz vakolatra festenek szervetlen vagy szerves kötőanyagba kevert pigmentekkel (Bóna 2006), például akrilfestékekkel.

Munkánk során Magyarország egyik legfontosabb pop-art falfestményét vizsgáltuk, amely tulajdonképpen egy nagyméretű szekkó (1. ábra). A művet 1970–71-ben festette Kemény György grafikusművész (Budapest, 1936–), a magyar pop-art jelentős alakja, aki korábban főleg plakáttervezőként alkotott és vált híressé. Ars poeticájának része az „alkalmazott” és a „magas” művészet közötti határok átlépése, a „hagyományos” és „progresszív” kifejezési formák közötti különbségtétel felszámolása (Fehér 2016).

A 2011-ben védetté nyilvánított 'Szekkó' falfestmény magántulajdonban van, Budapest 5. kerületében, a Ferenciek terén elhelyezkedő Arany-ház egyik lakásának cselédszobájában található. A körülbelül 48,5 m² falfelületű festmény beborítja a falakat, a mennyezetet, a radiátort és a fűtőcsöveket is. Képregényszerű stílusban, „horror vacui” elven tölti ki a felületet. A falakon szertelenül rendeződnek egymás mellé politikai, művészettörténeti és tömegkulturális szereplők, így Lukács György, Lev Trockij, Monica Vitti, Angela Davis és mások. Egyfajta profán kápolnának megfelelően az ábrázolt „ikonok” alá nevek is kerültek. Feltűnik a vörös csillag, a jin-jang, valamint a hidegháborús korszak, az anarchizmus és a *flower power* további szimbólumai (1. ábra). A művész, a két donátor és barátai 1970 késő őszen kezdtek meg a hónapokig tartó festő munkát Kőszeg Ferenc lakásának cselédszobájában (2a ábra).



2. ábra: a) A szoba alaprajza (Farkas et al. 2016–2018a), b) a festékréteg feltáskásodása (II. fal) és leválása (IV. fal) (Mátyás et al. 2018)

Fig. 2.: a) Plan of the room (Farkas et al. 2016–2018a), b) blistering (wall II) and detachment (wall IV) of the paint layer (Mátyás et al. 2018)

A készülő festmény közös alkotás volt, az ikonográfiaját a jelenlévők vitatták meg a marxizmus reneszánszának – mely a privát térben zajlott le –, valamint a szexuális forradalomnak az időszakában.

Kemény megrajzolta a figurákat, kikeverte a színeket, a nagyobb felületekre aztán a házigazdák és a vendégek vitték fel a festéket. 1971 áprilisáig tartottak az utolsó simítások (Mátyás 2016).

A készítés óta eltelt ötven év alatt a festmény állapota romlott, felületén, elsősorban a II. és a III. fal találkozásánál, különféle károsodások jelentek meg (Mátyás 2016, 2018): feltáskásodás, elválás, hámlás (**2b ábra**), repedezés (leginkább a VI. falon), vakolathiány, festékhiányok és kipergések. A falon több javítás és átalakítás nyoma megtalálható: vakolatkiegészítések, valamint az eredeti festésen glettelés, és átfestés is történt a II., III., IV. és V. falon. A II. falon egykor egy mosdókagyló/falikút volt, azonban ezt leszerelték, a helyét kivakolták és fehérre festették. A felületi szennyezés (por, főleg az I. falon) és a sötétedés ellenére a színek még mindig jó állapotban, szinte az eredeti formájukban őrződtek meg.

A festmény állapota miatt szükségessé vált a restaurálás és a konzerválás, amelyet a Magyar Képzőművészeti Egyetem Restaurátor Tanszékének hallgatói (Mátyás Viktória Beatrix, Farkas Bianka, Hallai Laura, Pinteá Aliz Ráhel) végeztek el 2016–2018 során (Farkas et al. 2016–2018b, Mátyás 2018, 2019). A falkép tisztítása mechanikusan, szárazon kezdődött Aka-Pad szivacs, szike és speciális radírok használatával. Ezt követte a nedves tisztítás vízzel – mivel nem oldja a festéket – és speciális szivacsokkal; kísérletek alapján döntött el, hogy melyik szivacs melyik színű festékfelületen optimális. A feltáskásodott és elvált

festékeket három különböző ragasztási mód felváltott alkalmazásával rögzítették vissza. Az elvált vakolatot injektálással rögzítették. A vakolat-hiányokat a korábbihoz hasonló mészhomok vakolattal pótolták. A festékhiányokat matt, akril alapú festékekkel pótolták, az eredeti színhatást megközelítő színezéssel, majd akvarell vonalkás retussal kezelték, a kopásokat pedig akvarell lazúrozással.

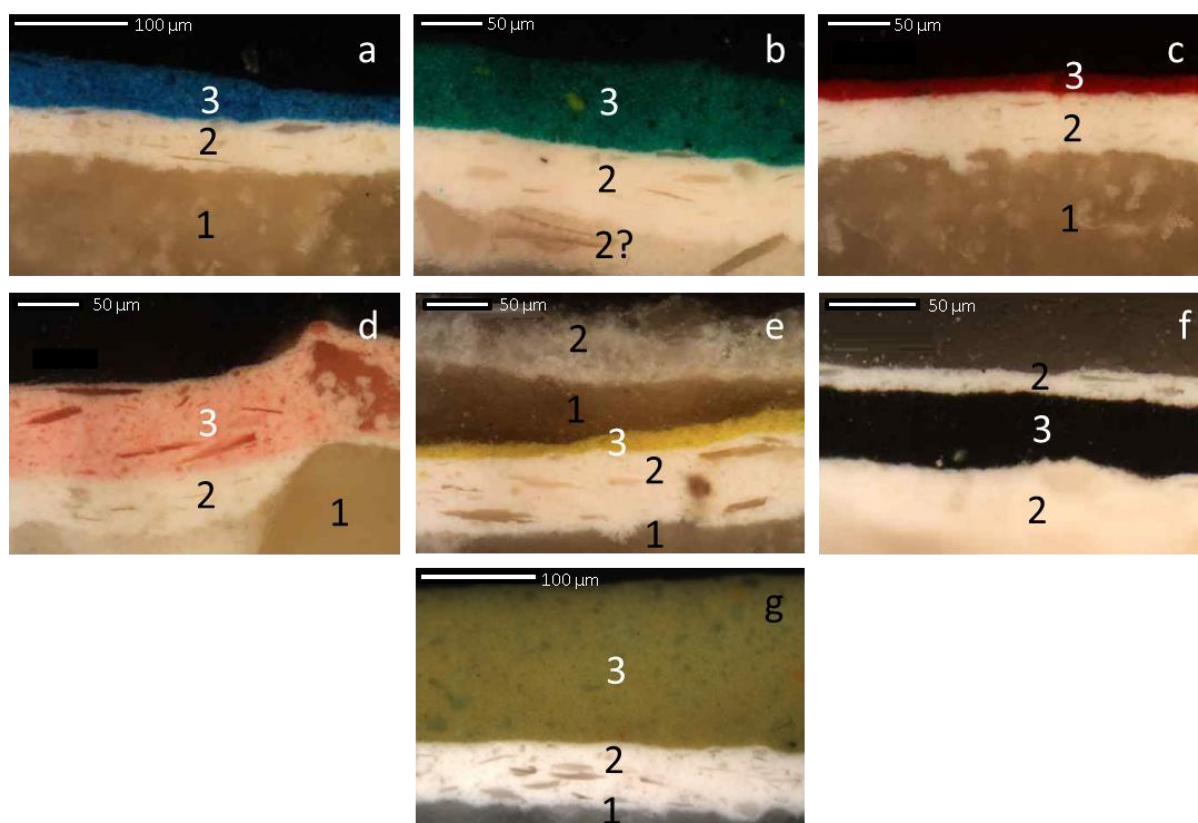
A restaurálás támogatására részletes anyagösszetéti vizsgálatot végeztünk több, egymást kiegészítő vizsgálati módszer alkalmazásával, melyeket modern festmények szeretlen és szerves alkotóinak meghatározására jellemzően alkalmaznak (pl. Magrini et al. 2017, Lizun et al. 2022). Célunk volt a művész által a 'Szekkó'-hoz használt festékanyagok, elsősorban a pigmentek meghatározása, valamint a károsodási jelenségek okainak feltárása.

A festmény rétegfelépítése

A lehullott festménydarabokból és a közvetlenül falból vett festményminták keresztmetszet-csiszolatain végzett polarizációs mikroszkópos vizsgálatok, valamint a mikrokémiai tesztek alapján a festmény rétegfelépítése az alábbi (Mátyás Viktória és társai munkája alapján (Farkas et al. 2016–2018a, Mátyás et al. 2018), **3. ábra**):

A falra mészhomok vakolatot (0,5–1 mm) vittek fel 1948-ban, a szoba kialakítása során. Ugyanabban az időszakban került a vakolatra két, karbonáttartalmú glettréteg (50–300 µm), majd a szobát kifestették fehér festékekkel (30–70 µm).

A művész később ezt a réteget használta alapként a festményhez, a fehér festékre kerültek az általában egy rétegben felhordott színes festékek (10–100 µm).



3. ábra: A festékminták rétegfelépítése: **a)** kék (6. minta), **b)** zöld (2. minta), **c)** vörös (II/1. minta), **d)** rózsaszín (5. minta), **e)** sárga (1. minta), **f)** fekete (3. minta) és **g)** halványzöld (50x obj., POL) (1: glett, 2: fehér festékréteg, 3: színadó festékréteg) (Farkas et al. 2016–2018a, a g-t kivéve)

Fig. 3.: The layer structure of the paint samples: **a)** blue (sample 6), **b)** green (sample 2), **c)** red (sample II/1), **d)** pink (sample 5), **e)** yellow (sample 1), **f)** black (sample 3), **g)** light green (50x, POL) (1: final render, 2: white paint layer, 3: colouring paint layer) (Farkas et al. 2016–2018a, except Fig. g)

A művész csak azokon a helyeken festett a fehér részekbe fehér Wallkyd festékekkel, ahol szükséges volt. A festékrétegek összetétele viszonylag egységes, a pigmentek nagyon apró szemcsések (1–2 µm). Bennük a színadó szemcséken (pigmenteken) kívül töltőanyagok találhatók, amik testet adnak a festéknek és befolyásolják a filmvastagságot, a folyékonyságot (feltehetőleg a viszkozitást), továbbá mattítják a színt. A fehér alapozó festékrétegben megfigyelhetők a töltőanyag jellegzetes hosszúkás szemcséi. A fekete festékréteg feletti fehér festékréteg, továbbá a sárga festékréteg feletti glett- és fehér festékréteg utólagos átfestés (1976) eredménye (**3e–f ábra**).

A festmény Wallkyd ipari falfestékekkel készült (gyártó: Tiszai Vegyi Kombinát), a festék kiválasztásánál két szempont volt: olcsó legyen és könnyen beszerezhető. A Wallkyd kötőanyaga nagy polimerizációs fokú, levegőn száradó alkid műgyanta. Az alkid műgyanták térhálós poliészterek, amiket jellemzően ftálsavanhidritből vagy maleinsavanhidritből, illetve trimetilol-propánból, glicerinnél vagy pentaeritritből állítanak elő (Eastaugh et al. 2008).

Mint kötőanyag, a műgyanta fő feladata a filmképzés, de hatással van a tapadás, fényesség, keménység, rugalmasság és tartósság növelésére is. A fehér színű festék pigmentálása titán-dioxiddal történt, ami adalékként penészgátlót tartalmaz. A fehér színű Wallkydot utólag színező pasztákkal színezték. A gyártó szerint: *“Erősebb színárnyalat esetén a paszták – az előírt hígításban – önmagukban is felhasználhatók. Az okker és szatinóber színezők rendkívül színtartóak és fényállóak, azonban színezésre kevésbé alkalmasak, ezeket önmagukban célszerű használni”* (Farkas et al. 2016–2018a). Emiatt Farkas et al. (2016–2018a) feltételezték, hogy az okker és szatinóber/vörös pasztákon kívül a többi színhez szerves pigmenteket használhattak, amelyek kevésbé fényállóak. Az általuk végzett mikrokémiai tesztek alapján (porosz kék próba) az (okker)sárga pigment vas(II)-oxidnak, a szatinóber/vörös vas(II-III)-oxidnak, a fekete pigment vas(III)-oxidnak bizonyult (Farkas et al. 2016–2018a, Mátyás et al. 2018).

Vizsgálati módszerek

Előzetes *in situ* roncsolásmentes kézi röntgen-fluoreszcens (hXRF) méréseket végeztünk a festmény különböző színű részein, a különböző színű, jó állapotú foltokon és a károsodott részekben. A méréseket Spectro xSORT Combi hordozható (kézi) XRF készülékkel végeztük, 15–50 keV gyorsítófeszültséggel, 30–120 μ A árammal, Rh forrást használva, gyárilag beépített ún. környezeti (Environmental) kalibrációval. Pontonként 60 másodperc mérési időt alkalmaztunk. A spektrumok kiértékelését XLabPro 5.1 szoftverrel végeztük.

A roncsolásmentes XRF mérést követően a festményből további műszeres vizsgálatra célzottan vettünk mintákat: egyrészt a különböző makroszkópos megjelenésű falfelületekről lekapart porokat (**1a ábra**), másrészt kisméretű lehullott festménytöredékeket, amelyekből műgyantába ágyazott, polírozott keresztmetszetek készültek. Hét különböző színű festéket vizsgáltunk lehullott töredékeken (kék, vörös, sárga, rózsaszín, fekete, sötét- és világoszöld), további kettőt (okker, bordó) mintavétel nélkül, csak *in situ* kézi XRF spektrométerrel. A vizsgálatokhoz felhasználtuk a restaurátoroknak a polarizációs mikroszkópos vizsgálatokhoz készített, műgyantába ágyazott keresztmetszet-csiszolatait is, az említett hét színből hat esetben (**3a–f ábra**, Farkas et al. 2016–2018a, Mátyás et al. 2018), a halványzöld minta csiszolata újonnan készült (**3g ábra**). További két vörös festékmintát (4. és II/3. minták, Farkas et al. 2016–2018a) a színező pigment meghatározására kontrollként vizsgáltunk meg.

A vakolatból, a glettből és a fehér festékrétegből vett porminták, valamint egy kék festékminta kristályos fázisainak meghatározására röntgenpordiffrakciós (XRD) méréseket végeztünk Rigaku Miniflex 600 diffraktométerrel (2–70° 2 θ , 35 perc mérési idő, 40 keV, 15 mA, Cu K α sugárzás, grafit monokromátor és szcintillációs detektor). A porokat megőröltük, majd 40 mg-ot 1 ml alkoholban szuszpendálva ülepítettük fémlepra.

A festékminták műgyantába ágyazott, polírozott keresztmetszeteit JEOL Superprobe 733 elektronmikroszondával vizsgáltuk (mérési paraméterek: 20 keV, 6 nA). A kémiai összetételt Oxford Instruments AZtec X-ACT Premium SDD energiadisziperzív (EDX) röntgenspektrométerrel határoztuk meg. A pontméréseket 10–40 másodpercig, a területi elemzést (a minta mérettől függően 1000–10000 μ m²) 100 másodpercig, az elemtérképezést 30 percig végeztük.

A SEM-EDX mérések kiegészítéseként, a festékrétegek kristályos alkotóinak meghatározására, a polírozott keresztmetszeteken és egy nem beágyazott kék festékminta felületén mikro-röntgen-

diffrakciós (mikro-XRD) méréseket végeztünk Rigaku D/MAX Rapid II készülékkel (mérési paraméterek: 50 keV, 0,6 mA, 100 μ m-es kollimátor, 5–5 perces mérési idő). A Debye gyűrűket RIGAKU 2DP-vel konvertáltuk diffraktogrammá. A fázismeghatározást RIGAKU PDXL2 szoftverrel végeztük.

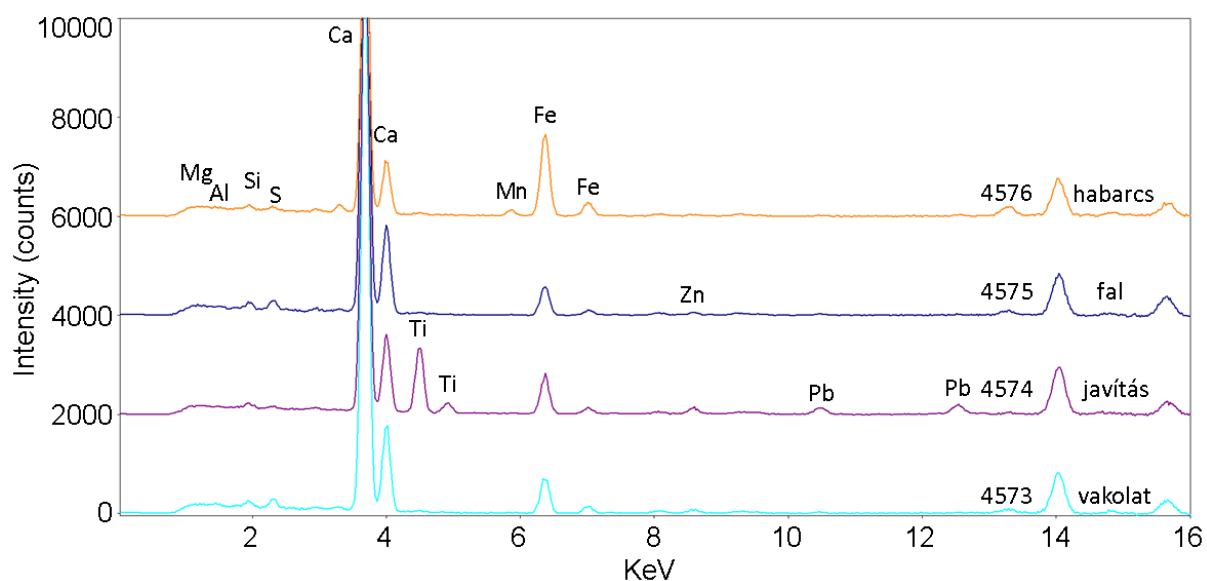
A festékrétegek szerves pigmentjeinek azonosítására Raman mikrospektroszkópos vizsgálatot végeztünk a keresztmetszet-csiszolatokon HORIBA Jobin Yvon LabRAM HR 800 típusú, nagy felbontású konfokális Raman-mikrospektrométerrel. A méréseket Nd:YAG lézerrel ($\lambda = 532$ nm) végeztük, 1800 vonal/mm optikai rács felbontás mellett. A konfokális apertúra 50–200 μ m között, a mérési idő pedig 2–100 sec között változott. A lézernyalábot 100 $\times$ objektívvel fókuszáltuk a minta felszínére, a nyaláb mérete ~ 1 μ m (laterális) és behatolási mélysége ~ 2 μ m volt. A lézer teljesítménye a forrásnál 130 mW, a minta felszínén pedig ~ 25 mW. A spektrális felbontás 0,7 cm⁻¹ volt 1398,5 cm⁻¹ Raman eltolódásnál. Az adatok kiértékelése LabSpec szoftverrel történt. A pigmentek meghatározását a SOPRANO adatbázis alapján végeztük (<https://soprano.kikirpa.be/>) (Fremout & Saverwys 2012).

Eredmények

Kézi XRF elemzés

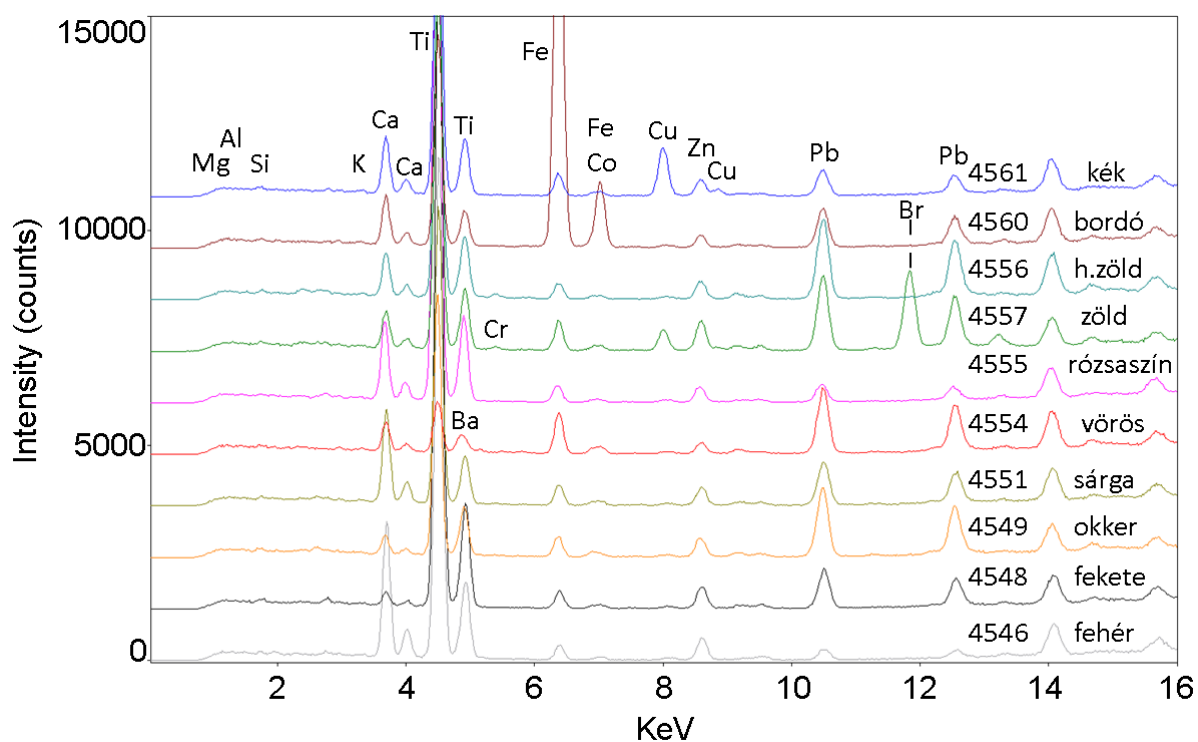
A habarcs jellemző elemei a Ca és a S mellett a Si és a Fe. A fal, a javítás és a vakolat XRF spektrumában ezeken túl Mg, Al, és Zn is megjelenik kissé eltérő arányban (**4. ábra, 1. táblázat**). A Mg tartalom 1 tömeg% alatti, ingadozó és a habarcsban a legnagyobb. Al koncentrációja a javításban a legnagyobb, a többi elemhez képest tízszeres, százaléknyi mennyiségű (1,36 tömeg%). A Zn mennyisége is a javításban a legnagyobb, a többi réteg háromszorosa, ezres nagyságrendű beütésszámmal (3720, a kimutatási határ tízszerese). A Ti csak a javításban mutatható ki (2,54 tömeg%). A Fe is megjelenik a javításban, koncentrációja 0,2–0,3 tömeg%. A S tartalom 4–4,5 tömeg% a vakolatban és falban, 1–2 tömeg% a habarcsban és a javításnál.

A színek XRF spektrumainak fő alkotói a Si és a Ti, kisebb mennyiségben megjelenik a Ca, S, Mg és Al (**5. ábra, 1. táblázat**). Ti legnagyobb mennyiségben a fehér színben jelenik meg. A S tartalom széles tartományban szór, legkisebb mennyiségben a bordóban (0,3 tömeg%), legnagyobb mennyiségben a vörösben (1,16 tömeg%) mértük. A színképzésben résztvevő elemek meghatározásához a spektrumokban megjelenő további csúcsokat és ezek relatív beütésszámaikat vizsgáltuk meg (**5. ábra, 1. táblázat**). A sárga és az okker színekben nem mutattuk ki olyan elem relatív dúsulását, ami a színt meghatározhatja.



4. ábra: A vakolat, javítás, fal és habarcs XRF spektruma

Fig. 4.: XRF spectra of the plaster, repair, wall and mortar



5. ábra: A jellegzetes színek XRF spektrumai

Fig. 5.: XRF spectra of the colours

1. táblázat: A falrétegek és a színek kézi XRF spektrométerrel mért kémiai összetétele (tömegszázalékban, ill. beütésszámban)

Table 1.: Chemical compositions of the wall layers and colours measured by handheld XRF (weight% and counts, respectively)

	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Cu	Pb	P	Cr	Mn	Zn	Br	Ba
	tömeg%/weight%									beütésszám/counts							
4573 vakolat	0,60	0,04	0,04	4,10	0,16	0,02	22,38	0,05	0,28	432	279	1944	117	610	432	-	1381
4574 javítás	0,72	1,36	3,44	1,27	0,22	-	24,19	2,54	0,33	646	6667	4283	305	446	3720	384	4058
4575 fal	0,60	0,04	-	4,54	0,10	0,01	22,74	0,07	0,23	333	256	3080	190	457	1487	-	2294
4576 habarcs	0,66	0,04	4,63	1,99	0,08	0,35	18,65	0,08	0,59	258	134	291	251	3387	960	-	2768
4546 fehér	2,54	1,11	13,02	1,00	-	0,12	3,73	15,57	0,10	1579	5649	4983	329	528	15513	-	3689
4549 okker	0,90	0,83	25,96	0,97	4,34	0,35	0,74	9,87	0,19	579	39722	743	139	405	13572	-	2622
4551 sárga	0,80	1,48	23,45	0,82	3,58	0,28	3,78	10,04	0,19	836	25423	728	347	398	12762	-	2096
4554 vörös	0,60	4,02	41,62	1,16	0,01	0,52	2,06	2,90	0,36	692	38383	1353	-	1138	7709	-	7531
4557 zöld	0,80	1,99	23,86	0,83	3,03	0,32	1,33	11,47	0,27	15198	42437	322	1376	414	20635	62470	2882
4556 h.zöld	0,90	1,31	22,97	1,43	3,49	0,37	1,40	12,38	0,16	1038	47191	1238	2226	701	12646	-	3205
4560 bordó	0,70	2,66	21,84	0,30	0,36	0,39	1,34	6,64	3,59	819	23194	228	236	598	8560	-	2128
4561 kék	0,75	2,43	28,67	0,99	0,06	0,40	2,07	11,47	0,20	36833	14515	3555	-	308	11094	-	3041

A bordó színben mértük a legnagyobb, a többi színhez képest egy nagyságrenddel nagyobb Fe koncentrációt (3,59 tömeg%). A vörösben (a bordót kivéve a többi színhez képest) a Fe dúsul kismértékben, a Ba – figyelembe véve a Ti-nal való átfedést – a többi színben mért beütésszám két-háromszorosát éri el. A zöldekben a Cu relatív dúsulását, valamint a Cr és az Pb legnagyobb koncentrációját mértük. Az árnyalat sötétedése a Cu koncentrációjának növekedésével együtt jár. Továbbá a sötétebb zöld szín spektrumában megjelenik a Br is (**5. ábra**). A kékben mértük a Cu legnagyobb mennyiségét, Cr-t viszont nem mutatunk ki. A sötétebb árnyalat ebben az esetben is több rezet tartalmaz. A fekete színnél és a rózsaszínnél a műszer mennyiségi koncentrációadatokat nem számolt, a spektrumok (**5. ábra**) alapján a színekhez tartozó elem(ek) egyértelműen nem határozható(k) meg.

Röntgen-pordiffrakció (XRD) elemzés

A röntgen-pordiffrakciós vizsgálat elsődleges célja a sérült falfelületek anyagának vizsgálata volt. A vakolatban kloritot, 10Å-ös rétegszilikátot, gipszet, kvarcot, plagioklaszt, kálföldpátot, dolomitot és kalcitot azonosítottunk (**6. ábra**). A glettben kimutattunk kalcitot, gipszet, kvarcot, kloritot, valamint rutilt. A fehér festékréteg összetevői a kalcit, dolomit, klorit, rutil és talk (**6. ábra**).

A gipsz és kalcit aránya 1:10 a II., III. és IV. fal vakolataiban (glettben), még a levált festékréteg alatt is. A falikútnál a gipsz:kalcit arány 1:2-re változik, míg a V. és VI. fal vakolatánál az arány megfordul a gipsz javára és 4:1 lesz.

Elektron-mikroszkóp (SEM-EDX) elemzés

A színes festékréteget tartalmazó, polírozott keresztmetszet-csiszolatokat abból a célból vizsgáltuk, hogy az XRF spektrométer által kimutatott elemeket melyik rétegekhez, illetve milyen szemcsékhez tudjuk rendelni.

A kék, zöld és vörös színek glettrétegében (**7., 8., 9. és 10. ábra**) területi SEM-EDX elemzés alapján a Ca és a S dominál, egy százalék felett mennyiségben mutatható ki még a Si és a Mg (**2. táblázat**). A glettrétegben 10–100 µm-es kalcit és kálföldpát szemcséket azonosítottunk. A kántartalom általában 0,8–1,2 tömeg%-nyi, a vörös festés glettrétegének egyes pontjaiban eléri a 3,2 tömeg%-ot. A kántartalom láthatóan csökken a glettrétegtől a fehér festékréteg felé (**10c ábra**). A kén aprókristályos kalcium-szulfát szemcsék formájában van jelen, esetenként néhány 10 µm-nyi méretben. A glett feletti fehér festékréteg változó vastagságú (30–80 µm), jellemző eleme a Ti, és lemezes megjelenésű, hosszúka formájú magnézium-szilikát (talk), valamint gipszszemcséket tartalmaz (**7a-b és 8. ábra, 2. táblázat**).

A kék festékréteg területi EDX elemzés alapján 0,9 tömeg% kobaltot, 0,7 tömeg% krómot és 0,3 tömeg% rezet tartalmaz (**7. ábra, 2. táblázat**). A kobaltdúsulás apró (1–3 µm-es) Co-Cr(-Cu)-tartalmú szemcsékhez kötődik (**11. ábra**). A pigment-szemcsékben a Co és a Cr koncentrációja tízszeres, míg a Cu koncentrációja kétszeres a festékréteg területi elemzéssel mért összetételéhez képest. Az Al és a Si aránya szintén megváltozik: a területi mérésben 1:6, míg a szemcsékben 3:4, ami alumínát anyagú pigmentre utal. A pigment-szemcsék mellett titán-oxidot, bárium-szulfátot és kloritot azonosítottunk.

A zöld festékrétegben az Al koncentrációja megnő, a Ti koncentrációja viszont lecsökken az alatta lévő fehér festékréteghez képest. Cr-Pb és Pb-S szemcséket azonosítottunk (**8c-d., 9. és 11. ábra**), amelyek finom eloszlásban jelennek meg, méretük néhány µm-nyi. A pigment-szemcsék mellett titán-oxid és bárium-szulfát is megjelenik, valamint 3,5 tömeg% klórt, 1 tömeg% brómot és 0,5 tömeg% rezet mértünk (**8e. és 9. ábra, 2. táblázat**). A halványzöld festékrétegben – amelyről korábban polarizációs mikroszkópos vizsgálat nem készült –

a zöldhöz hasonlóan Cr-Pb és Pb-S szemcséket találtunk. A zöldhöz képest kevesebb rézet tartalmaz (0,1 tömeg% Cu), viszont klórt és brómot nem mutattunk ki (**2. táblázat**).

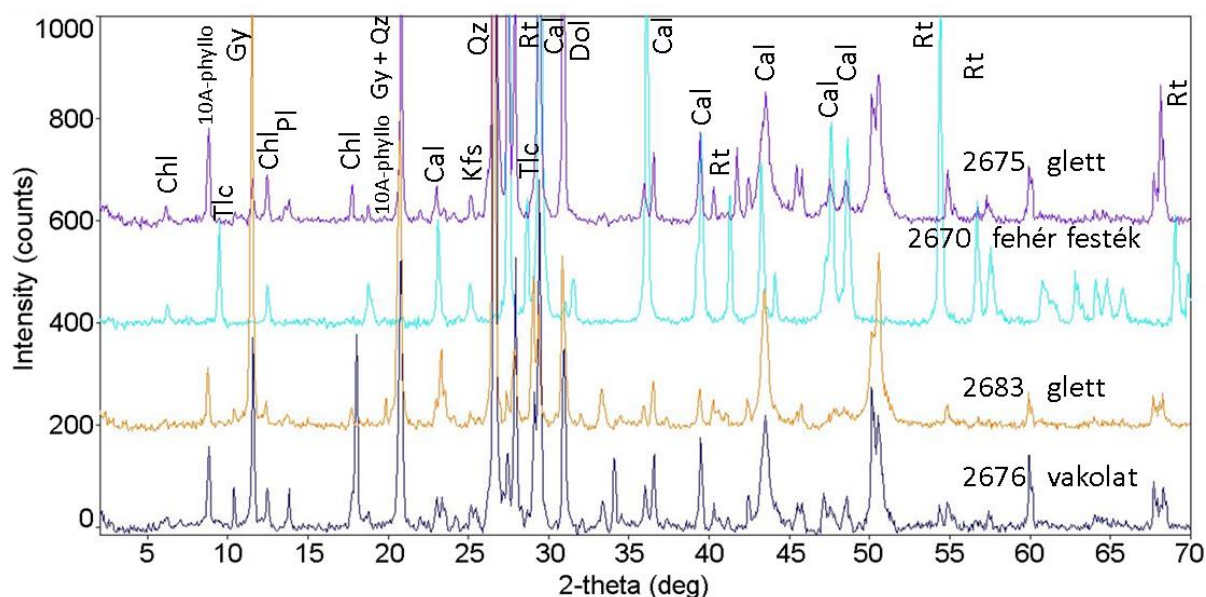
A vörös minta rétegeiben a vas szemcsés formában jelenik meg, azonban a szemcsék nagy része nem a

színadó festékrétegben, hanem a glettben található (**10b ábra**). A vörös festékréteg 0,5 tömeg% titánt és 1 tömeg% báriumot tartalmaz (**2. táblázat**), az utóbbi bárium-szulfát szemcsékhez köthető. A kontrollként vizsgált, további két vörös festékminta (4. és II/3. minták) egyikében sem adódott olyan elem dúszulás, ami a színt magyarázta volna.

2. táblázat. Az egyes festékrétegek, a kék festékréteg alatti fehér festékréteg, valamint a vörös festékréteg alatti glett kémiai összetétele SEM-EDX elemzés alapján (tömeg%, rétegenként egy-egy területi mérés, <kh kimutatási határ alatt)

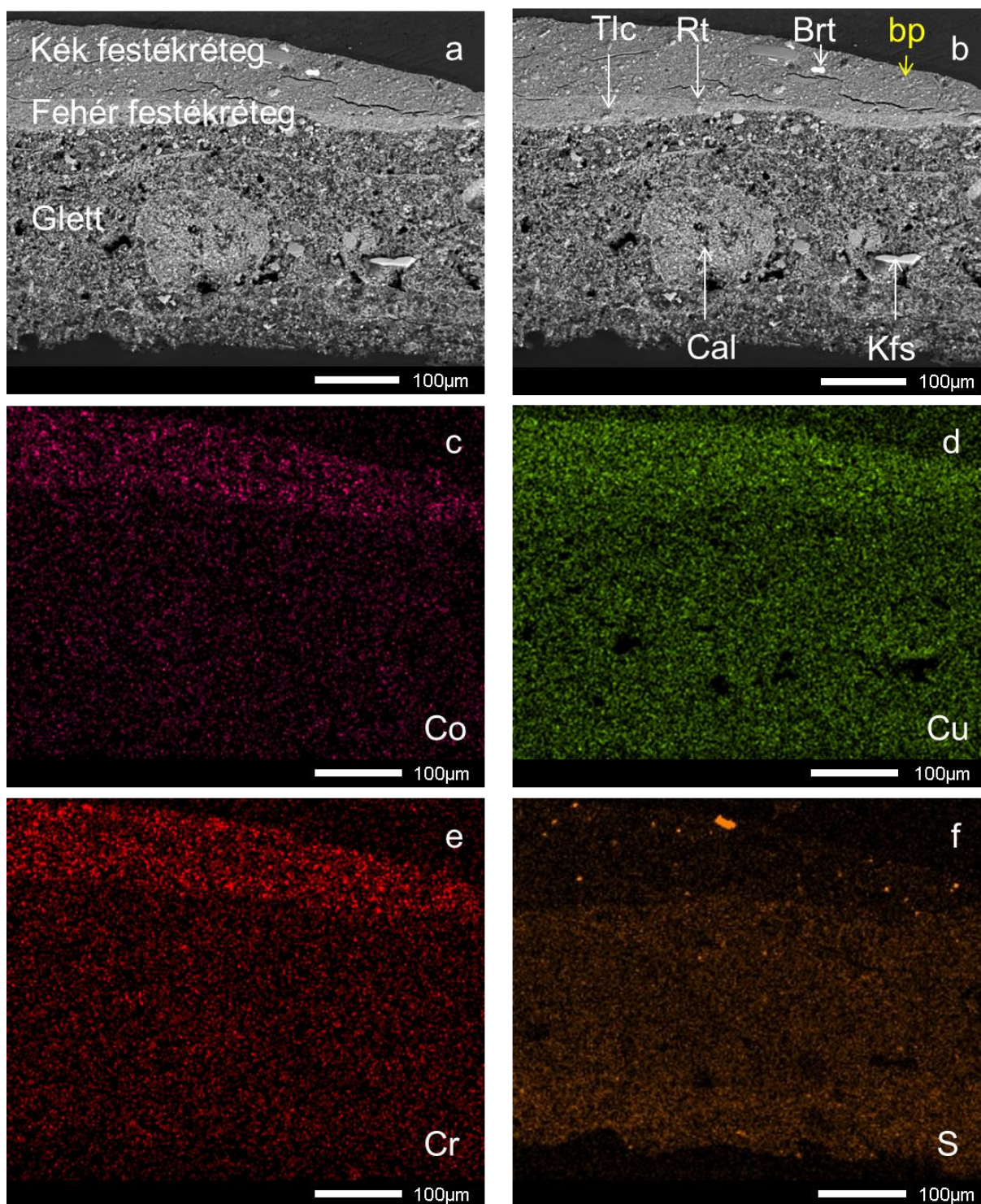
Table 2. Chemical composition of the paint layers, the white paint layer beneath the blue paint layer, and the final render beneath the red paint layer measured by SEM-EDX (weight%, one area measurement per layer, <kh under detection limit)

	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Fe	Co	Cu	Br	Ba	Pb
glett	32,25	-	1,95	0,51	3,26	1,85	0,18	-	59,74	-	-	0,27	-	-	-	-	-
fehér	44,78	0,39	3,09	3,27	16,85	0,90	0,97	0,29	2,29	27,19	-	-	-	-	-	-	-
kék	47,86	-	1,41	5,06	28,73	0,66	0,29	0,48	1,27	10,61	0,67	0,29	0,90	0,30	-	1,50	-
zöld	46,49	-	-	4,66	33,06	0,99	3,54	0,77	0,30	2,75	0,18	0,63	-	0,46	1,07	2,96	1,97
h.zöld	45,75	-	-	4,77	32,98	0,56	-	0,33	-	3,04	0,36	0,26	-	0,14	-	2,39	4,28
vörös	50,15	0,45	0,43	6,08	36,54	0,58	0,76	1,04	2,09	0,50	-	0,39	-	-	-	0,98	-
rózsaszín	45,22	<kh	4,39	2,86	17,50	0,39	-	0,22	0,30	28,36	-	0,20	-	-	-	0,41	-
sárga	48,96	-	-	4,59	34,85	0,86	4,11	0,52	1,34	4,51	-	0,27	-	-	-	<kh	-
fekete	51,74	-	0,42	5,01	39,82	0,18	-	0,61	0,47	1,06	-	0,43	-	-	-	0,26	-



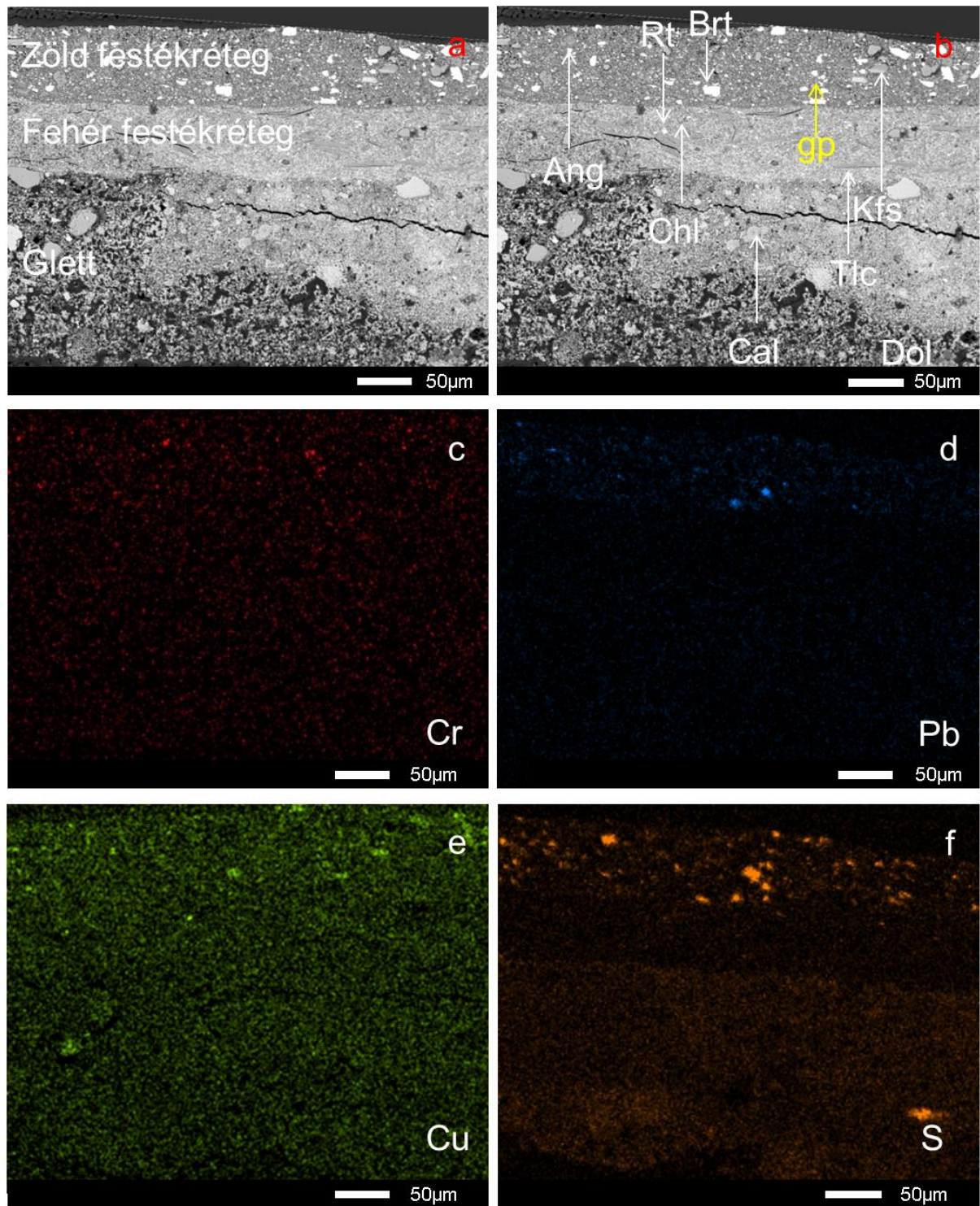
6. ábra: A vakolat, a glettek (2675 a II. falról és 2683 a VI. falról) és a fehér festékréteg röntgendiffraktogramjai (Chl – klorit, 10A-phylo – 10Å-ös rétegszilikát, Tlc – talk, Pl – plagioklász, Gy – gipsz, Cal – kalcit, Dol – dolomit, Qz – kvarc, Kfs – káliföldpát, Rt – rutil)

Fig. 6.: The X-ray diffraction patterns of the plaster, the final render (2675 from wall II and 2683 from wall VI) and the white paint layer (Chl – chlorite, 10A-phylo – 10Å phyllosilicate, Tlc – talc, Pl – plagioclase, Gy – gypsum, Cal – calcite, Dol – dolomite, Q – quartz, Kfs – K-feldspar, Rt – rutile)



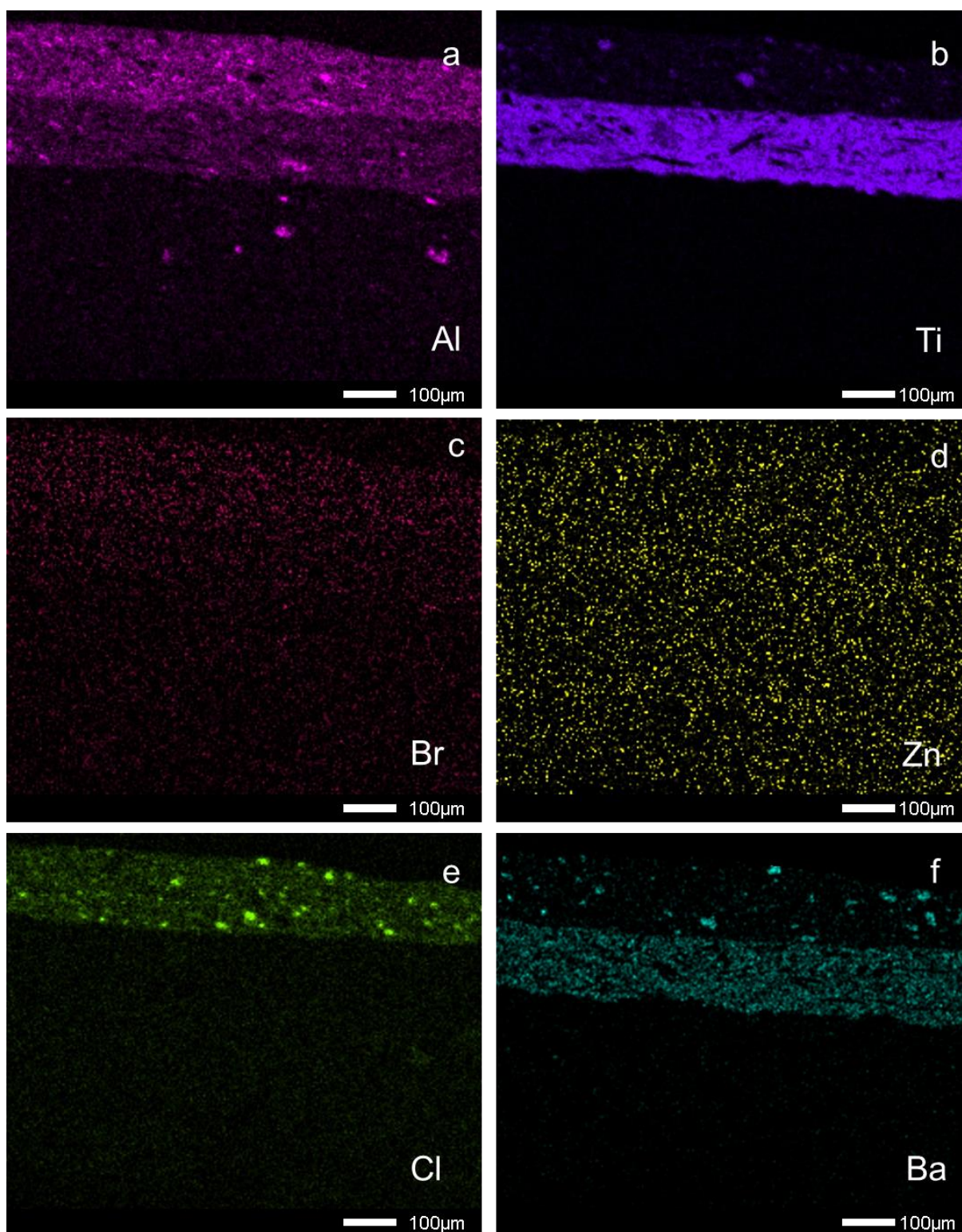
7. ábra: A kék festés **a–b)** visszaszórtelektron-képe, Co-tartalmú szemcse (bp – kék pigment) és a további fázisok (Brt – barit, Tlc –talk, Rt – rutil, Cal – kalcit, Kfs – káliföldpát), **c)** Co eloszlási térképe, **d)** Cu eloszlási térképe, **e)** Cr eloszlási térképe és **f)** S eloszlási térképe

Fig. 7.: Blue painting: **a–b)** BSE images, Co-bearing particle (bp – blue pigment) and other phases (Brt – barite, Tlc –talc, Rt – rutile, Cal – calcite, Kfs – K-feldspar), **c)** Co distribution map, **d)** Cu distribution map, **e)** Cr distribution map and **f)** S distribution map



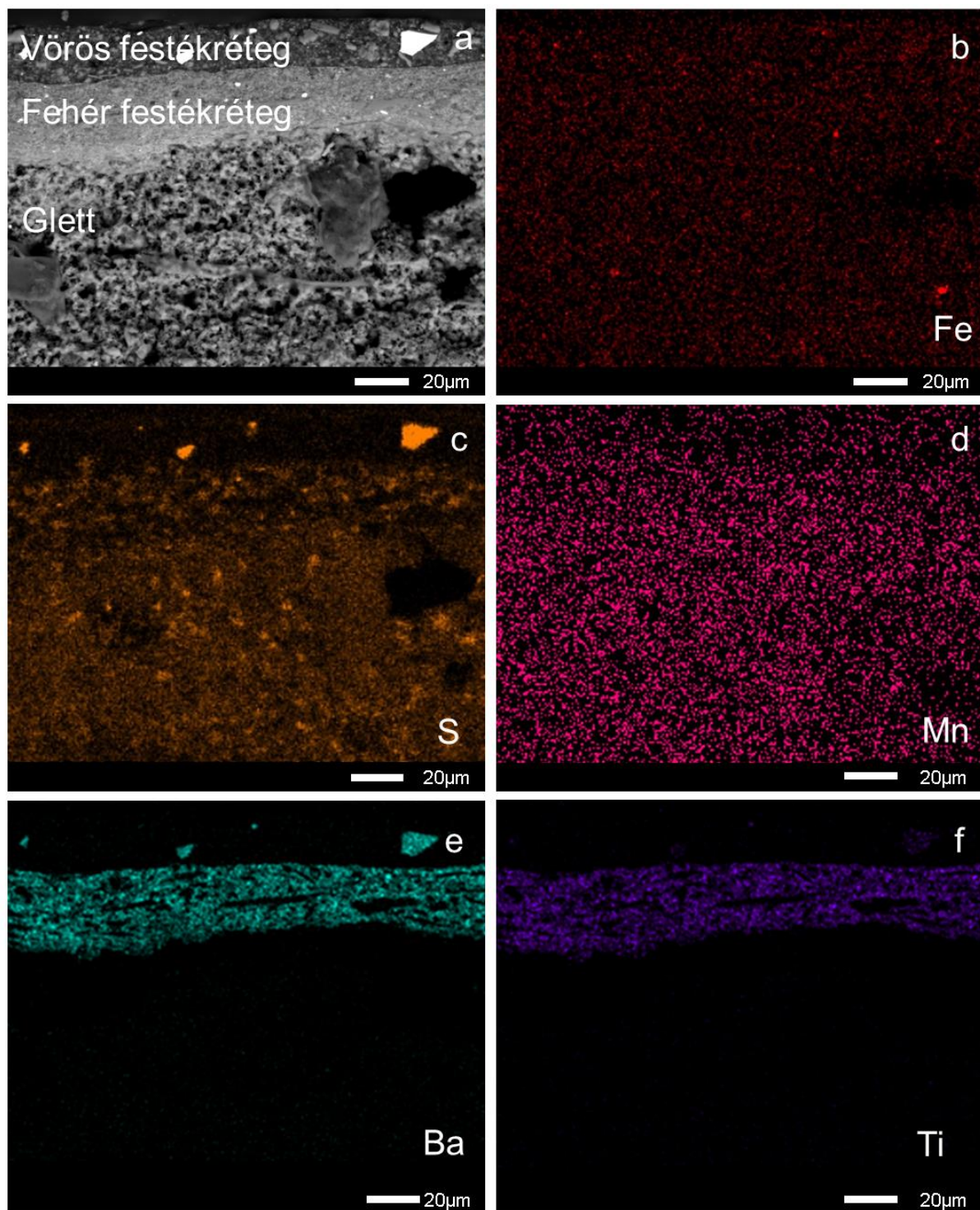
8. ábra: A zöld festés **a–b)** visszaszórtelektron-képe, Pb-Cr-tartalmú szemcse (gp – zöld pigment) és további fázisok (Ang – anglesit, Brt – barit, Chl – klorit, Dol – dolomit, Tlc –talk, Rt – rutil, Cal – kalcit, Kfs – káliföldpát, Qz – kvarc), **c)** Cr eloszlási térképe, **d)** Pb eloszlási térképe, **e)** Cu eloszlási térképe és **f)** S eloszlási térképe

Fig. 8.: Green painting: **a–b)** BSE images, Pb-Cr bearing particle (gp – green pigment) and other phases (Ang – anglesite, Brt – barite, Chl – chlorite, Dol – dolomite, Tlc –talc, Rt – rutile, Cal – calcite, Kfs – K-feldspar, Qz – quartz), **c)** Cr distribution map of the, **d)** Pb distribution map, **e)** Cu distribution map and **f)** S distribution map



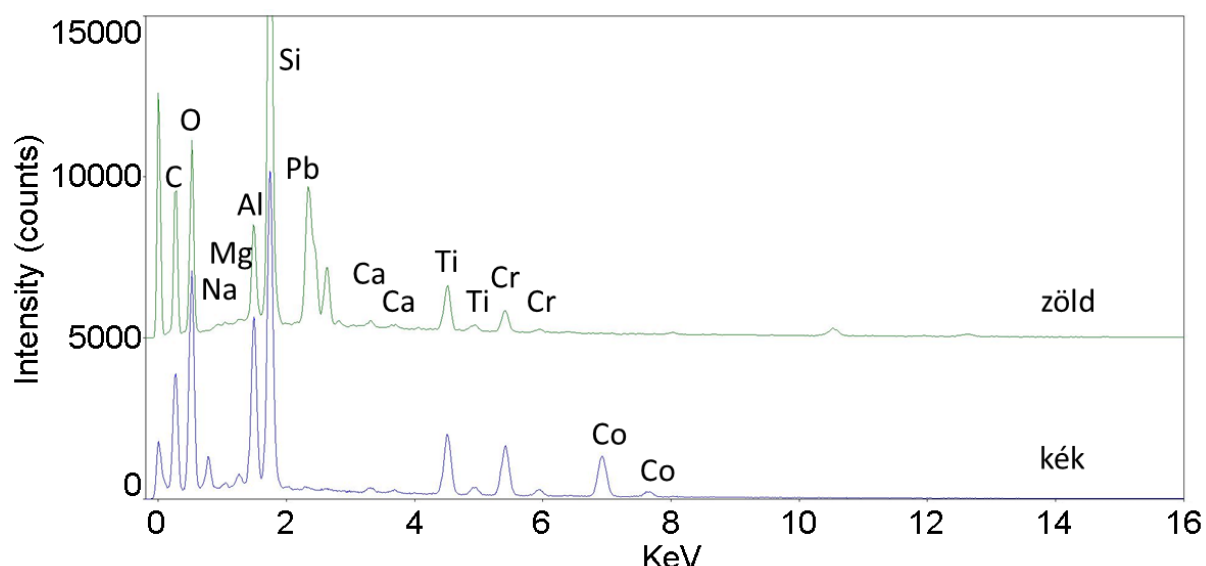
9. ábra: A zöld festés **a)** Al eloszlási térképe, **b)** Ti eloszlási térképe, **c)** Br eloszlási térképe, **d)** Zn eloszlási térképe, **e)** Cl eloszlási térképe és **f)** Ba eloszlási térképe. A Ba és a Ti vonalainak átfedése miatt a rutiltartalmú fehér festékrétegben megjelenik a bárium.

Fig. 9.: Green painting: **a)** Al distribution map, **b)** Ti distribution map, **c)** Br distribution map, **d)** Zn distribution map, **e)** Cl distribution map, and **f)** Ba distribution map. Due to the overlapping of Ba and Ti lines, barium appears in the white paint layer, which contains high amount of rutile.



10. ábra: A vörös festés **a)** visszaszórtelektron-képe, **b)** Fe eloszlási térképe, **c)** S eloszlási térképe, **d)** Mn eloszlási térképe, **e)** Ba eloszlási térképe és **f)** Ti eloszlási térképe. A Ba és a Ti vonalainak átfedése miatt a rutiltartalmú fehér festékrétegben megjelenik a bárium.

Fig. 10.: Red painting: **a)** BSE image, **b)** Fe distribution map, **c)** S distribution map, **d)** Mn distribution map, **e)** Ba distribution map and **f)** Ti distribution map. Due to the overlapping of Ba and Ti lines, barium appears in the white paint layer, which contains high amount of rutile.



11. ábra: A kék festékréteg Co-Cr-tartalmú és a zöld festékréteg Cr-Pb-tartalmú pigmentszemcséinek EDX spektruma

Fig. 11.: EDX spectra of Co-Cr-bearing pigment particles in the blue and Cr-Pb-bearing pigment particles in the green paint layers

A további három szín (rózsaszín, fekete, sárga) mintáiban a festékréteg színezője (pigmentje) kérdéses. A Mn koncentrációja kimutatási határ (~0,2 tömeg%) alatti. A Fe mennyisége a feketében hasonló, a másik kettőben pedig kevesebb, mint a vörös festékrétegben (<0,4 tömeg%). Így a szint más, valószínűleg szerves eredetű színező okozhatja. Emellett az összes szín közül a sárga festékréteg tartalmazza a legtöbb klórt (4,1 tömeg% Cl), míg a rózsaszín festékréteg a legtöbb titánt (**2. táblázat**).

A sárga festékréteg alatti és feletti fehér festék- és glettrétegek megjelenése kissé eltér (**3e ábra**), a felsőkben nagyobb a szemcseméret (10–20 µm), mint az alsóban (2–5 µm). Az elemösszetételt tekintve az alsó fehér festékréteg kevesebb S-t tartalmaz (0,8 tömeg%), mint a felső (5,6 tömeg%), az utóbbi feltehetően nagyobb mennyiségben tartalmaz gipszet.

Emellett mindkét esetben a glettrétegtől a fehér festékréteg felé S koncentrációjának csökkenését tapasztaljuk. A fekete festékréteg alatt és felett elhelyezkedő két fehér festékréteg (**3f ábra**) megjelenése és összetétele hasonló, azonban a S mennyisége nagyobb a felsőben (2,2 tömeg% alul, 6,1 tömeg% felül) valószínűleg szintén a nagyobb gipsztartalom miatt.

Mikro-röntgendiffrakciós (mikro-XRD) elemzés

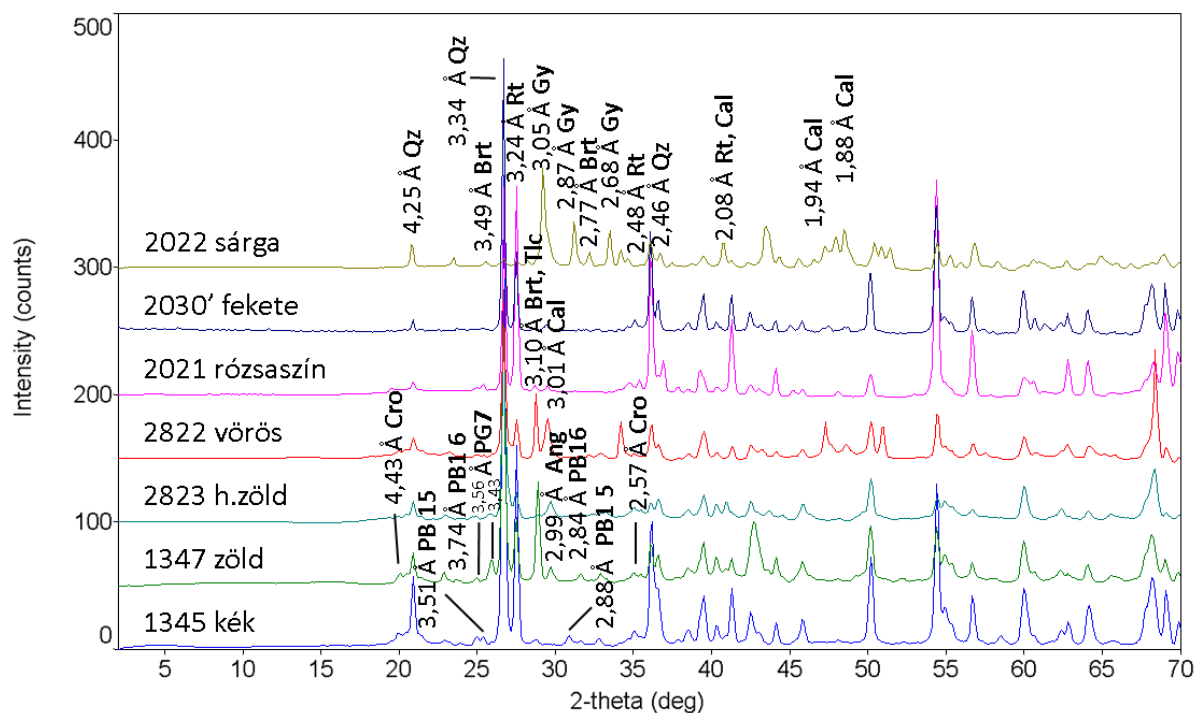
A keresztmetszet-csiszolatok legfelső, színadó festékrétegét mikro-XRD vizsgálattal elemeztük, a kvarc és a rutil mellett a zöldekben ólom-szulfátot (anglesit, PbSO_4) és ólom-kromátot (krokoit,

PbCrO_4) azonosítottunk (**12. ábra**). A kékben és zöldekben alárendelt fázisként barit is megjelenik. A Raman mikrospektroszkópiai vizsgálat (ld. később) alapján kimutatott szintetikus szerves pigmentek jelenlétére utaló reflexiók feltételezhetők a kékben (szintetikus szerves kék pigment, PB15), valamint a zöldekben (szintetikus szerves zöld és kék pigmentek, PB16 és PG7).

A vörös festékréteg diffraktogramjában a kvarcon, bariton, rutilon, kalciton és talkon kívül más fázis nem azonosítható (utóbbi kettő az alatta lévő fehér festékrétegből származó jel lehet). A kontrollként vizsgált további két vörös festékminta szintén nem mutatott szervesen vörös színezőre utaló reflexiókat, valószínűleg szerves eredetű pigmentet alkalmaztak.

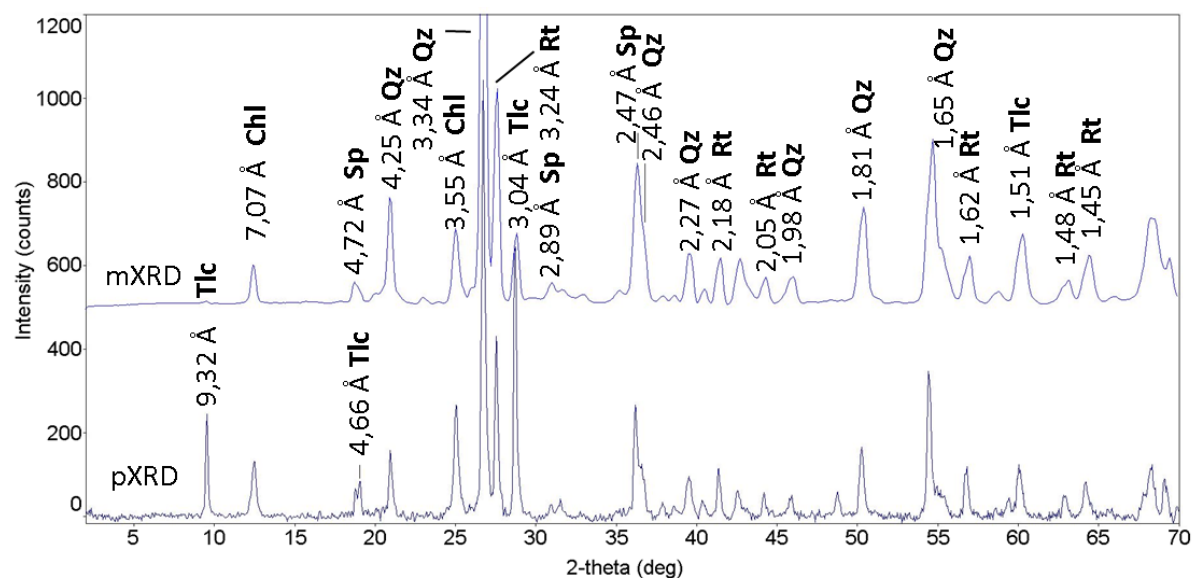
A rózsaszín, fekete és sárga festékrétegek diffraktogramjában kvarc, kalcit, és rutil, a rózsaszínben és sárgában barit, valamint a sárgában megjelenő gipsz ásványokon kívül más fázis nem azonosítható (**12. ábra**), ami felveti – a SEM-EDX eredményeknél már említett – szerves színezők jelenlétét. A rózsaszínnél kimutatott rutil nemcsak az alsóbb rétegből származik, mennyisége alapján a színadó festékréteg része is.

Emellett mikro-XRD módszerrel a kék festékréteg egy nem beágyazott mintájának felületét is megmértük, valamint megfelelő mennyiségű mintával rendelkezünk hagyományos röntgen-pordiffrakciós vizsgálat elvégzéséhez is. Mindkét módszerrel spinellszerkezetű alumínátot (CoAl_2O_4 , kobaltkék) mutattunk ki kvarc, rutil, talk és klorit mellett (**13. ábra**).



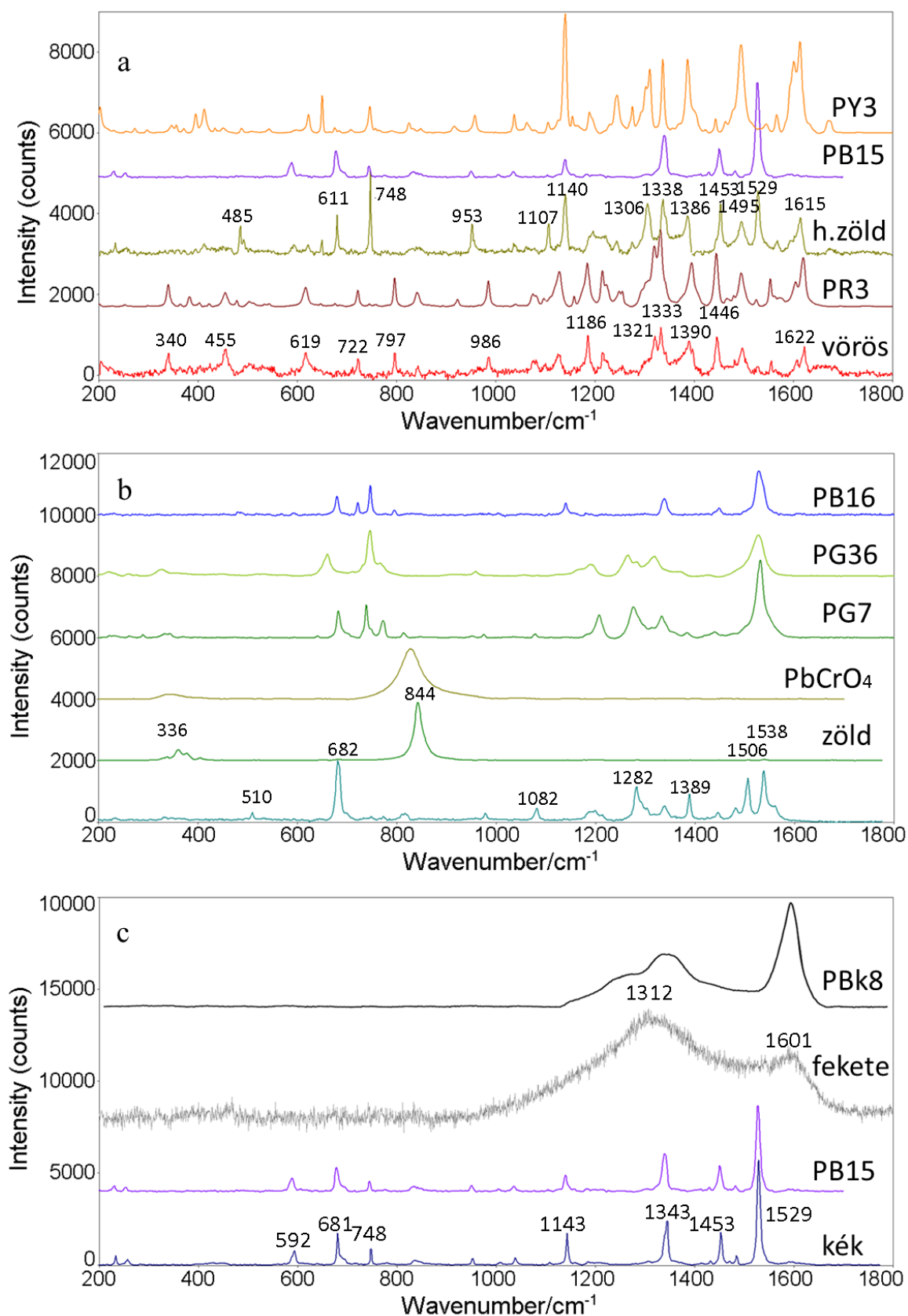
12. ábra: A színadó festékrétegek keresztmetszet-csiszolatairól készült mikro-röntgendiffraktogramok (Ang – anglesit, Brt – barit, Qz – kvarc, Rt – rutil, Gy – gipsz, Cro – krokit, Cal – kalcit, Tlc - talk, PB15 (JCPDS 00-002-0312), PB16 (JCPDS 00-036-1883), PG7 (JCPDS 00-022-1684))

Fig. 12.: Micro-X-ray diffraction patterns of the paint layers (Ang – anglesit, Brt – barite, Qz – quartz, Rt – rutile, Gy – gypsum, Cro – crocoite, Cal – calcite, Tlc – talc, PB15 (JCPDS 00-002-0312), PB16 (JCPDS 00-036-1883), PG7 (JCPDS 00-022-1684))



13. ábra: A kék festékréteg pormintájának röntgen-diffraktogramja (pXRD) és egy nem beágyazott mintájának felületéről készült mikro-röntgendiffraktogram (mXRD) (Qz – kvarc, Chl – klorit, Rt – rutil, Sp – spinell (CoAl₂O₄, JCPDS 01-082-2252), Tlc – talk)

Fig. 13.: X-ray diffraction profiles of the blue paint layer performed on a powdered sample (pXRD) and on the surface of an intact (not embedded) sample (mXRD) (Qz – quartz, Chl – chlorite, Rt – rutile, Sp – spinel (CoAl₂O₄, JCPDS 01-082-2252), Tlc – talc)



14. ábra: A festékrétegek és a PY3, PR3, PB15, PB16, PG7, PG36, Pbk8 és PbCrO₄ pigmentek referencia Raman spektruma a SOPRANO adatbázisból, **a)** halványzöld és vörös, **b)** zöld, **c)** fekete és kék festékréteg

Fig. 14: Raman spectra of the paint layers and reference PY3, PR3, PB15, PB16, PG7, PG36 and PbCrO₄ pigments from the SOPRANO database, **a)** light green and red, **b)** green, **c)** back and blue paint layers

3. táblázat. A vizsgálatok eredményeinek összesítése**Table 3.** Summary of the analytical results

	glett	fehér festékréteg	kék festékréteg	zöld festékréteg	halványzöld festékréteg	vörös festékréteg
hXRF	Ca- és S-dúsulás	Ti-dúsulás	Cu-dúsulás	Cr-, Cu-, Pb-dúsulás, Br dúsulás (a zöldben)		Fe-, Ba-dúsulás
XRD	kalcit, gipsz, kvarc, klorit, rutil	kalcit, dolomit, klorit, rutil, talk	spinell (CoAl ₂ O ₄)	-		-
mikro-XRD	-	-	spinell (CoAl ₂ O ₄), PB15 (?), barit	krokoit (PbCrO ₄), anglesit (PbSO ₄), PB16 (?), PG7(?), barit	krokoit (PbCrO ₄), anglesit (PbSO ₄), barit	kvarc, rutil, barit, kalcit, talk
SEM-EDX	Ca-szulfát, kalcit és kálföldpát szemcsék	Ti-dúsulás, Mg-szilikát szemcsék és gipsz	Co-Cr(-Cu) pigmentszemcsék, Co, Cr, Cu dúsulás, Ti-dioxid szemcsék, barit, klorit	Cr-Pb és Pb-S szemcsék, Cu-dúsulás, barit, Ti-dioxid szemcsék, Cl- és Br-dúsulás (a zöldben)		barit, Ti-dúsulás
Raman mikro-spektroszkópia	-	-	ftalocianin-kék (PB15)	PbCrO ₄ , ftalocianin-zöld (PG7, PG36), ftalocianin-kék (PB16)	PY3, ftalocianin-kék (PB15)	PR3

Raman mikrospektroszkópia

Raman mikrospektroszkópiai vizsgálatok alapján **(14. ábra)** – a SOPRANO adatbázissal összevetve – a halványzöld festékrétegben szintetikus szerves sárga és kék pigment, PY3 (pigment yellow 3) és Cu-ftalocianin, PB15 (pigment blue 15), míg a vörösbén szintetikus szerves vörös pigment, PR3 (pigment red 3) pigment található. A sötétzöld festékrétegben az ólom-kromát (PbCrO₄) mellett szintetikus szerves kék, PB16 (pigment blue 16, ftalocianin) és zöld pigmentek, PG7 (pigment green 7, ftalocianin) és PG36 (pigment green 36, ftalocianin), míg a kék rétegben szintén Cu-ftalocianin, PB15 (pigment blue 15) van jelen.

A rózsaszín festékrétegben rutilt azonosítottunk. A fekete színben PbK8 (pigment black 8, amorf szén) fekete pigmentet detektáltunk **(14. ábra)**. A sárga festékrétegről viszont a Raman mikrospektroszkópia nem adott értékelhető spektrumot, így továbbra sem egyértelmű a színező típusa.

Diszkusszió**A festékrétegek és pigmentek**

A különböző vizsgálati módszerek eredményeit a **3. táblázat** összesíti.

A fehér festékréteg XRF vizsgálattal kimutatott Ti tartalma rutilhoz (titán-dioxid, titánfehér) köthető, ami megegyezik a gyártó által megadott összetétellel. Emellett a fehér és színes festékrétegekben kimutattunk talk, kalcit, dolomit, klorit, kvarc és barit ásványokat töltőanyagként.

A kék színnél az előzetes XRF mérés alapján feltételezett rézdúsulást az elektron-mikroszkópia (SEM-EDX) mérés megerősítette. Raman mikrospektroszkópiával porfiringyűrűs szintetikus szerves, réztartalmú ftalocianin pigmentet, PB15-öt (ftalocianin-kék) azonosítottunk. A kobalt mennyisége – a SEM-EDX elemzés alapján úgy a festékréteg átlagos összetételében, mint a pigment-szemcsék összetételében – a réznél nagyobb. A kobalt spinell-szerkezetű kobalt-aluminát pigmentként van jelen (CoAl₂O₄, kobaltkék), amit röntgen-diffrakcióval sikerült kimutatni. A kézi XRF készülék krómot nem mutatott ki kimutatási határ feletti mennyiségben, viszont a SEM-EDX elemzés igazolta a jelenlétét a festékrétegben. Az SEM-EDX pont-mérések alapján a pigment kobalt mellett krómot is tartalmaz (Co(Al,Cr)₂O₄). A spinellek ipari előállítása a 19. század elején kezdődött. 1960-ban állították elő először a kobalt-aluminátot. Az idők során kereskedelmi összetételük változott minőségi, gazdaságossági és toxicitási szempontok miatt, viszont máig kaphatók kiváló optikai adottságaik és jó fizikai-kémiai ellenálló képességük miatt. Hőmérséklettűrőjük kiváló, akril és alkid kötőanyagokkal szemben ellenállóak (Angelin et al. 2017).

A zöld színeknél az XRF vizsgálat kimutatta a krómot, melyek az XRD vizsgálat alapján ólom-kromát (PbCrO₄, krokoit, krómsárga) pigmentként van jelen **(3. táblázat)**. A krómsárga jellemzően tartalmaz az ólom-szulfátot is (PbSO₄) (Kühn & Curran 1986), amit szintén kimutattunk. Raman mikrospektroszkópiai vizsgálat alapján a sötétebb

zöld szín szintetikus szerves kék pigmentet, PB16-ot^{II} és zöld pigmenteket, PG7-et^{III} és annak brómozott származékát, PG36-ot^{IV} tartalmaz, azaz a sötétzöld festék szervesen sárga (krómsárga), szerves kék és zöld színek keverékéből készült. Az alumíniumkoncentráció megnő a színes festékretegben – legnagyobb mértékben a vörösben, de a fehérhez képest a kékben, zöldben is –, ami alapján feltételezhető, hogy alumínium-hidroxidra csapták le a pigmenteket. A ftalocianin pigmenteket – PB15, PB16, PG7 és PG36 – 1935 körül kezdték gyártani (Russel 2010). Tartós, rendkívül erős színezők jó fényállósággal. Ellenállnak savaknak, alkáliáknak, hőnek, olajnak, oldószereknek, szappanoknak (<https://seoblogarticles.in/history-of-phthalocyanine-blue-pigments/>). A ftalocianin pigmentek színe függ a komplexált kationtól, illetve az aromás gyűrűk helyettesítő csoportjaitól (Thomas 1990; Eastaugh et al. 2008).

A szintetikus ólom-kromát pigmentet (krómsárgát) az 1800-as évek elejétől gyártják (Kühn & Curran 1986) és széles körben használták többek között fal- és olajfestményekhez is (Gliozzo & Ionescu 2022). Az 1920-as évektől az alkidfestékek jellemző alkotója, egészségügyi kockázata miatt azonban falfestékben való használatát az 1950-es évektől betiltották (Hansen et al. 2018). Krómsárgát szintetikus szerves pigmentekkel keverve használtak zöld szín kialakítására más modern műalkotásoknál is, pl. PB15 pigmenttel keverve a dániai Herlev Hospital ajtóinál (Hansen et al. 2018). Más esetben az ólom-kromátot a sárga különféle árnyalatainak előállítására használták, pl. Pinot Gallizio *La Caverna dell'Antimateria* (1958–1959) c. festményénél a krómsárgát litopon fehérrel (BaSO₄ és ZnS keveréke) és szintetikus szerves sárgával (PY3^V) keverték a sötétsárga árnyalat előállítására (a zöldet szintén kék és sárga keverékéből, azonban szintetikus szerves pigmentekkel (PB15 és PY3) állították elő) (Bartolozzi et al. 2014). Az ólom-kromátot kimutattak továbbá orosz avantgárd képek sárga színű festékretegeiben, amikben a zöld csíkokat ftalocianin-kék hozzákeverése eredményezte (Artesani et al. 2019).

A halványzöld festékreteg a sötétebb zöldhöz hasonlóan ólom-kromátot tartalmaz. Mivel a Raman mikrospektroszkópia szintetikus szerves PY3 sárga és PB15 kék pigmentet mutatott ki, ez a szín szervesen sárga pigment mellett szerves sárgával és szerves kékkel készült. A szerves sárga pigment, a PY3 (pigment yellow 3) az arilid (Hansa) sárgák csoportjába tartozik, 1910 óta gyártják (Russel 2010). Jó fényállósággal rendelkezik, ellenáll víznek, olajnak, savaknak és bázisoknak és csak 150°C-ig hőálló. Szerves oldószerekben jól oldódik, ami átkristályosodás általi színváltozást okozhat (Berrie & Lomax 1997). Alumínium hordozóra készített pop-art festményeken PY3-at PG7-tel keverve, valamint PG36-ot használtak a

zöld árnyalatok beállítására (Longoni et al. 2022). Egy argentin épület, a Gallerias Pacifico falfestményein szintén alkalmazták a PY3-at PY74 pigmenttel^{VI} együtt (Moretti et al. 2013).

A mikrokémiai tesztek vas-oxid pigment jelenlétét mutatták a vörös, a sárga és a fekete színekben (Farkas et al. 2016–2018a, Mátyás et al. 2018). Vas-oxid pigment jelenlétét azonban e színek egyikében sem tudtuk egyértelműen igazolni. Egyedül a bordó szín XRF spektrumában jelenik meg kiugró vastartalom. A vörös színben az XRF spektrum a többi színhez képest (a bordót kivéve) kissé nagyobb vastartalmat mutatott, viszont a SEM-EDX vizsgálat nem erősítette meg a vastartalmú szerves pigment jelenlétét. Így felvetődik a szerves pigment használata.

A Raman mikrospektroszkópiai vizsgálat PR3 (pigment red 3^{VII}) jelenlétét igazolta a vörös színben. A PR3 a PY3-hoz hasonlóan aromás diazo szerkezetű (toluidin-vörös), az 1905-as évek óta használják (Hansen et al. 2018; Russel 2010). Szerves oldószerekre (észter, keton) érzékeny; alkáliáknak, szappanoknak és savaknak is ellenáll. Kis fényállósága miatt az 1970-es évek óta feleakkora volumenben gyártják (Berrie & Lomax 1997). A PR3-at alkalmazták cinóber imitálásra PR51^{VIII} lakkpigmenttel és PR63-mal^{IX} keverve (Pause et al. 2019). A dániai Herlev Hospital ajtóinál az ólom-kromátot PR3 pigmenttel keverték, ezáltal rózsaszín árnyalathoz jutva (Hansen et al. 2018). A PR3 Francis Bacon (1909–1992) festő palettájának is gyakran használt eleme volt (Russel 2010).

A sárga, rózsaszín és fekete színek kapcsán az XRF, az XRD és a SEM-EDX módszerekkel sem tudtuk meghatározni a színezőt. Előbbi kettőnél a Raman mikrospektroszkópia sem volt informatív (kivéve a rózsaszínben kimutatott rutilt, ami az árnyalat miatt hozzákevert fehér festék lehet), míg a feketénél PBk8-at (pigment black 8), azaz széntartalmú pigmentet azonosítottunk.

Megjegyzendő, hogy Zn megjelenik a színek XRF spektrumában, de SEM-EDX alapján dúsulást nem mutat egyik rétegben sem (**9d ábra**). Oxidációs jellemzői miatt hajlamosabb az átalakulásra, mint a többi jelenlévő kation, közben a színét nem változtatja meg, tehát a keletkező sók (klorid, szulfát, stb.) is fehérek maradnak (Kühn 1986).

A károsodások

A károsodás folyamatát – a festékreteg feltáskásodását, majd leválását – több tényező befolyásolta különböző mértékben. A sóképződés az egyik, melynek során jelentős szerep jut a különböző szulfátoknak (Arnold & Zehnder 1991).

A felszínről a rétegek belseje felé növekvő kéntartalmat mutattunk ki SEM-EDX elemzéssel. A vakolatban és főként a glettrétegben röntgen-pordiffrak-

cióval pedig gipsz ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) jelen-létét azonosítottuk kalcit, kvarc, klorit és rutil ásványok mellett. A nedvesség és a levegő kén-dioxid tartalmának hatására a vakolatban és a glettben lévő kalcium-karbonát foltokban gipsszé alakult, ami térfogatnövekedéssel járt, így a felület fokozatosan felpúposodott (Bläuer Böhm et al. 2001; Zehnder & Schoch 2008).

A restaurátorok a szobában több alkalommal végeztek falnedvességmérést, az összes fal száraznak bizonyult (Farkas et al. 2016–2018a; Mátyás 2018). A levegő páratartalmát is figyelemmel kísérték: a levegő száraz, 30% körüli a relatív páratartalom a helyiségben a téli időszakban, míg nyáron 40–45%. A hőmérséklet a központi fűtésnek és a szoba elhelyezkedésének köszönhetően télen, a fűtési szezonban állandóan 20–23 °C között van (a szobát minden oldalról fűtött helyiségek veszik körül). A nyári, melegebb időszakban a szoba rossz szellőzése miatt viszonylag meleg, 23–26 °C között van (Farkas et al. 2016–2018a).

Röntgen-pordiffrakciós vizsgálattal különbséget tudtunk kimutatni a falak vakolatának (glettjének) ásványos összetételében, pontosabban a kalcit és a gipsz arányában. A gipsz azon a falon (V. és VI. fal) van jelen a legnagyobb mennyiségben, ahol a károsodás nem volt annyira erőteljes. Ily módon a károsodást feltehetően, a közlekedésből származó rezgések és a nyarak párás melege együttesen okozza helyenként eltérő mértékben, de egymás hatását felerősítve. A közlekedésen kívül a helyiség (IV. és V. fal) melletti lift által előidézett rezgések, valamint a III. falnál a lakás 1976-ban végzett nagyobb átalakításával járó mechanikai hatások (Farkas et al. 2016–2018a) szintén gyorsíthatták a festékrétegek leválását.

Az 1960-as évek óta terjedtek el a műgyanta alapú falfestékek és velük egy időben az ezeknél használatos műgyanta oldatok és diszperziók használata a falfestmény restaurálásában. Pár évtizedig úgy tűnt, hogy ezek az anyagok nagyon tartósak, a kilencvenes évek körül kezdtek gyűlni a kedvezőtlen tapasztalatok. Eleinte a szakemberek úgy próbálták kiválasztani a legjobb anyagokat a vakolat és festék szilárdításához, illetve a festékek kötőanyagához, hogy a műanyagok öregedési tulajdonságait vizsgálták. Hamar kiderült, hogy nem az anyagok öregedése, hanem a műgyanta filmeknek a vakolatokkal és hagyományos festékekkel való fizikai összeférhetetlensége az egyik legfontosabb oka a romlásnak. A restaurálásban régóta köztudott, hogy a festék-fixálás esetén kerülni kell a felületi filmképződést, mivel az a festékréteg lehámlásához vezethet (Mora et al. 1977). Mora alapművében már említi a vakolat és a bevonat eltérő dilatációját, mint a fixálások károsodásának egyik jellemző okát (Mora et al. 1977). A műgyanta alapú festékek ugyan többségükben nem alkotnak teljesen záró filmet a fal felületén, de az alkidgyanta alapú

festékek biztosan szilárd összefüggő filmet alkotnak. A műgyanta filmek évtizedes tapasztalatok szerint nem bizonyultak kompatibilisnek a történeti építőanyagokkal.

A műgyanták negatív hatásaira mára több szakcikk is felhívta a figyelmet (Alvarez 1987; Danzl & Leitner 2005). Komoly vizsgálatok indultak a vakolatok felületére felhordott műgyanta filmek hosszútávú viselkedésének megismerésére (Lehmann 2004). Kiderült, hogy a tömegesen megfigyelhető károsodások egyik korábban nem kellően értékelt oka a műgyanta réteg dilatációja (hő- vagy páradilatáció). Ezért ma a restaurálások egyik fő célja a műgyanta alapú fixatívok eltávolítása a falfestményekből (Maetzke 2001; Matteini et al. 2001; Wierdl 2002; Danzl & Leitner 2005; Brazil 2014; Lee et al. 2018). Természetesen ez nem jöhet szóba akkor, amikor a műgyanta alapú felületi film maga a műalkotás.

Az alkidfesték hosszasan polimerizálódik, azaz egyre ridegebbé, keményebbé válik. Ez az öregedési folyamat térfogatváltozáshoz is vezethet. Ha a festékréteg a dilatáció miatt hosszabb ideig váltokozva zsugorodik és duzzad, letépheti magát a felületről. A kutatások szerint a műgyanták hődilatációja mintegy tízszerese a vakolatokénak (Wendler et al. 1998; Heritage 2000; Lehmann 2013). Ehhez járulhat hozzá a falak különböző, sokszor foltos hőterhelése (pl. napsugárzás, radiátor). Számos példa bizonyítja, hogy a műgyanta alapú festékek alatt idővel elporlik a vakolat és a festék hámlani kezd, felpöndörödik. Hasonló hatása lehet a külső lágyítószerek lassú elpárolgásának is. Ez esetünkben inkább az alsó diszperziós rétegnél képzelhető el. A festék ekkor is ridegebbé válik és zsugorodik (Pescoller 1996). Ha a festék és az alatta lévő vakolat közötti tapadás gyenge, a hámlás viszonylag hamar megkezdődhet még akkor is, ha nincsenek beázások.

Összefoglalás

Kemény György pop-art 'Szekkó' falfestményét vizsgáltuk több analitikai módszer (hXRF, XRD, mikro-XRD, SEM-EDX, Raman mikrospektroszkópia) együttes alkalmazásával a falfestmény restaurálásához kapcsolódva. A multianalitikai megközelítés lehetővé tette a festékrétegek többségénél a szintetikus szerves és/vagy szerves pigment kimutatását, valamint a károsodás okainak feltárását.

A kék festékrétegben szerves kobaltkék (kobalt-spinell, CoAl_2O_4) és szerves ftalocianin-kék (PB15) pigmentet is kimutattunk. A zöld festékrétegekben a színt a krómsárga (PbCrO_4), valamint a szerves ftalocianin-kék (PB16) és ftalocianin-zöld (PG7, PG36) pigmentek együttesen adják. A halványzöldben emellett szintetikus sárga PY3 pigment található krómsárga és ftalocianin-kék mellett, tehát kétféle kevert zöld festéket használtak. A vörös

festékben szintetikus PR3 pigmentet, míg a feketében széntartalmú PBk8 pigmentet azonosítottunk.

A falfestmény károsodását (feltáskásodás, leválás) feltehetően a közlekedés és egyéb okok által gerjesztett rezgés, valamint a vakolatban a sóképződés (gipszesedés) okozta térfogatnövekedés éveken át tartó hatása együttesen váltotta ki. Ezt a hatást fokozta a festékfilmnek az öregedéséből származó keményedése, ridegsége és térfogatváltozása. A festéknek a vakolatétől eltérő dilatációjából eredő váltakozó feszültségek is hozzájárultak a festék-réteg hámlásához, pusztulásához.

A szerzők tudományos közreműködése

Szabó Máté Kísérletvezetés, adatkezelés, eredeti kézirat, javított kézirat, vizualizáció. **Bajnóczi Bernadett** Módszertan, validálás, ellenőrzés, eredeti kézirat, javított kézirat. **Aradi László Előd** Kísérletvezetés, eredeti kézirat, vizualizáció. **Bóna István** Kutatásvezetés, eredeti kézirat.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk Tóth Máriának, aki által a téma közelébe kerülhattünk. Köszönjük Müller Alexandrának a preparátumok elkészítésében nyújtott segítségét. Köszönjük továbbá Mátyás Viktóriának, Farkas Biankának, Hallai Laurának és Pintea Alíz Ráhelnek, hogy rendelkezésünkre bocsátották a természettudományos és a restaurálási dokumentációt, valamint a beágyazott festék-mintákat. Galambos Évának és Madár Máriának köszönjük a kézirat gondos lektorálását és hasznos szakmai tanácsait.

Irodalomjegyzék

ALVAREZ, L.C. (1987): Stucco: a report on the methodology developed in Mexico. In: HODGES, W. M. (ed.): *In situ archaeological conservation. Proceedings of meetings April 6-13, 1986, Mexico*. Instituto Nacional de Antropología e Historia de Mexico and The Getty Conservation Institute, 90–97.

ANGELIN, E.M., BACCI, M., BARTOLAZZI, G., CANTISANI, E. & PICOLLO, M. (2017): Contemporary artists' spinel pigments: non-invasive characterization by means of electronic spectroscopy. *Spectrochimica Acta A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* **173** 510–515. <https://doi.org/2010.1016/j.saa.2016.10.002>

ARTESANI, A., GHIRARDELLO, M., MOSCA, S., NEVIN, A., VALENTINI, G. & COMELL, D. (2019): Combined photoluminescence and Raman microscopy for the identification of modern pigments: explanatory examples on cross-sections from Russian avant-garde paintings. *Heritage Science* **7** 17. <https://doi.org/2010.1186/s40494-019-0258-x>

ARNOLD, A. & ZEHNDER, K. (1991): Monitoring wall paintings affected by soluble salts. In: CATHER, S. (ed.): *The Conservation of Wall Paintings. Proceedings of a symposium organized by the Courtauld Institute of Art and the Getty Conservation Institute, London, July 13-16, 1987*. The Getty Conservation Institute, 103–135.

BARTOLOZZI, G., CUCCI, C., MARCHIAFAVA, V., MASI, S., PICOLLO, M., GRIFONI, E., LEGNAIOLI, S., LORENZETTI, G., PAGNOTTA, S., PALLESCHI, V., DI GIROLAMO, F., LA NASA, J., MODUGNO, F. & COLOMBINI, M.P. (2014): A multidisciplinary approach to the investigation of "La Caverna dell'Antimateria" (1958-1959) by Pinot Gallizio. *Heritage Science* **2** 29. <https://doi.org/10.1186/s40494-014-0029-7>

BERRIE, B.H. & LOMAX, S.Q. (1997): *Azo Pigments: Their History, Synthesis, Properties, and Use in Artists' Materials*. Studies in the History of Art 57, Monograph Series II: Conservation Research 1996/1997, National Gallery of Art, Washington, 8–33.

BLÄUER BÖHM, C., KÜNG, A. & ZEHNDER, K. (2001): Salt Crystal Intergrowth in Efflorescence on Historic Buildings. *CHIMIA* **55/11** 996–1001. <https://doi.org/2010.2533/chimia.2001.996>

BÓNA, I. (2006): Falkép-technikák. *Isis – Erdélyi Magyar Restaurátor Füzetek* **5** 6–40. https://www.epa.hu/00400/00402/00005/pdf/ISIS_2_006_000-040.pdf

BRAZIL, R. (2014): Modern Chemistry Techniques Save Ancient Art. Nanoparticles, laser cleaning, and glue-eating bacteria restore valuable frescoes and paintings. <https://www.scientificamerican.com/article/modern-chemistry-techniques-save-ancient-art/> <https://www.chemistryworld.com/features/conservative-innovations/7466.article> (utolsó hozzáférés: 2025. 03. 02.)

DANZL, T. & LEITNER, H. (2005): Einhausung und Klimaregulierung als Mittel preventiver Konservierung von Kunststoffbelasteter Wandmalerei. In: EXNER, M. & JAKOBS, D. (Hrsg.): *Klimastabilisierung und Bauphysikalische Konzepte*. ICOMOS Hefte des Deutschen Nationalkomitees XLII, München, Berlin, 139–152.

EASTAUGH, N., WALSH, V., CHAPLIN, T. & SIDDALL, R. (2008): *Pigment Compendium, A Dictionary and Optical Microscopy of Historical Pigments*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 958 p.

FARKAS, B., HALLAI, L.J., MÁTYÁS, V.B. & PINTEA, A.R. (2016–2018a): Kemény György: Secco. Természettudományos dokumentáció. *Közöletlen kézirat*, MKE, Restaurátor Tanszék, 22 p.

- FARKAS, B., HALLAI, L.J., MÁTYÁS, V.B. & PINTEA, A.R. (2016–2018b): Kemény György: Secco. Restaurálási dokumentáció. Közöletlen kézirat, MKE, Restaurátor Tanszék, 11 p.
- FEHÉR, D. (2016): KEMÉNY / POP – Kemény György és a pop-art. *Artmagazin* **14/6 (90)** 32–41. http://epa.oszk.hu/02900/02996/00006/pdf/EPA02996_artm_2016_6_032-041.pdf
- FREMOUT, W. & SAVERWYNS, S. (2012): Identification of synthetic organic pigments: the role of a comprehensive digital Raman spectral library. *Journal of Raman Spectroscopy* **43** 1536–1544. <https://doi.org/2010.1002/jrs.4054>
- GLIOZZO, E. & IONESCU, C. (2022): Pigments – Lead-based whites, reds, yellows and oranges and their alteration phases. *Archaeological and Anthropological Sciences* **14** 17. <https://doi.org/2010.1007/s12520-021-01407-z>
- HANSEN, A. K., CHRISTIANSEN, M.B., SANYOVA, J. & PILKJÆR SIMONSEN, K. (2018): Analysis of Poul Gernes' painted folding doors at Herlev Hospital. *Heritage Science* **6** 29. <https://doi.org/2010.1186/s40494-018-0196-z>
- HERITAGE, A. (2000): Documentation in the Fourth Dimension. In: SCHMID, W. (ed.): *GraDoc: Graphic Documentation Systems in Mural Painting Conservation*. ICCROM, Rome, 75–81.
- KÜHN, H. (1986): Zinc white. In: FELLER, R.L. (ed.): *Artists' pigments. A handbook of their history and characteristics*. vol 1. National Gallery of Art, Washington, Archetype Publications, London, 187–200.
- KÜHN, H. & CURRAN, M. (1986): Chrome yellow and other chromate pigments. In: FELLER, R. L. (ed.): *Artists' pigments. A handbook of their history and characteristics*. vol 1. National Gallery of Art, Washington, Archetype Publications, London, 187–200.
- LEE, K.M., MOON, H.Y., YU, Y.G. & KIM, S.K. (2018): Experimental Study on Poultices Applying to Remove Fixative (Paraloid B72) on Earthen Mural Painting, *Journal of Conservation Science*, **34/6** 569–580. <https://doi.org/2010.12654/JCS.2018.34.6.12>
- LEHMANN, M. (2004): Langfristige Schädigung von Wandmalerei durch die Wirkung eingebrachter Kunststoffe am Beispiel der Gewölbmalereien in der Krypta der Quedlinburger Stiftskirche St. Servatius. *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung* **18/1** 95–116.
- LEHMANN, M. (2013): Die konservierung der Gewölbmalereien in der Krypta der Stiftskirche St. Servatius in Quedlinburg im Rahmen eines Forschungsprojektes der HFBK Dresden 2001–2006. In: DANZL, T., EXNER, M. & RÜBER-SCHÜTTE, E. (Hrsg.): *Wandmalereien in Krypten, Grotten, Katakomben. Zur Konservierung gefasster Oberflächen in umweltgeschädigten Räumen*. ICOMOS Hefte des Deutschen Nationalkomitees, LVI, Petersberg, 95–108.
- LIVINGSTONE, M. (1990): *Pop Art: A Continuing History*. Harry N. Abrams, Inc., New York, 271 p.
- LIZUN, D., KURKIEWICZ, T., MADRY, M. & SZCUPAK, B. (2022): The emergence of Liu Kang's new painting style (1950–1958): a multi-analytical approach for the study of the artist's painting materials and technique. *Heritage Science* **10** 16. <https://doi.org/2010.1186/s40494-021-00641-x>
- LONGONI, M., CICALA, N., GUGLIELMI, V., POLDI, G. & BRUNI, S. (2022): The art of everyday objects: A non-invasive in situ investigation of materials and techniques of Italian pop art paintings on aluminium. *Heritage* **5** 42–60. <https://doi.org/2010.3390/heritage5010003>
- MAETZKE, A.M. (2001): Un capolavoro salvato e recuperato nei suoi fondamentali valori di luce e colore. *Kermes, La rivista del restauro* **41/Gennaio-Marzo** 25–32.
- MAGRINI, D., BRACCI, S., CANTISANI, E., CONTI, C., RAVA, A., SANSONETTI, A., SHANK, W. & COLOMBINI, M. (2017): A multi-analytical approach for the characterization of wall painting materials on contemporary buildings. *Spectrochimica Acta* **A173** 39–45. <https://doi.org/2010.1016/j.saa.2016.08.017>
- MATTEINI, M., GIOVANNONI, S. & LAZZERI, S. (2001): Aspetti scientifici tecnici e metodologici del restauro. *Kermes, La rivista del restauro* **41/Gennaio-Marzo** 33–42.
- MÁTYÁS, V.B. (2016): Egy kortárs falkép restaurálásának lehetőségei. Kemény György falképe. *Közöletlen kézirat*, Magyar Képzőművészeti Egyetem, Restaurátor Tanszék, 18 p.
- MÁTYÁS, V.B. (2018): Kortárs falképek retusálása. Kemény György falképének esztétikai kiegészítési lehetőségei. *Közöletlen szakdolgozat*, Magyar Képzőművészeti Egyetem, Restaurátor Tanszék, 79 p.
- MÁTYÁS, V.B. (2019): Kortárs festmények esztétikai kiegészítése – elméleti és gyakorlati problémák. *ISIS – Erdélyi Magyar Restaurátor Füzetek* **19** 107–118. https://www.epa.hu/00400/00402/00018/pdf/EPA00402_ISIS_2019_107-118.pdf
- MÁTYÁS, V.B., FARKAS, B., HALLAI, L.J. & PINTEA, A.R. (2018): Conservation of György Kemény's Secco (1971). Poster presented at the „The Impact of Conservation-Restoration

Education on the Development of the Profession” ENCoRE Conference, 23 May 2018, Torino, Italy.

MORA, P., MORA, L. & PHILIPPOT, P. (1977): *La conservation des peintures murales*. Editrice Compositori, Bologna, 539 p.

MORETTI, P., GALLEGOS, D., MARTE, F., BRUNETTI, B., SGAMELLOTTI, A. & MILIANI, C. (2013): Materials and techniques of twentieth century Argentinean murals. *Procedia Chemistry* **8** 221–230.

<https://doi.org/2010.1016/j.proche.2013.03.028>

PAUSE, R., NEEVEL, J.G. & VAN DER BERG, K.J. (2019): Synthetic Organic Pigments in Talens Oil Paint 1920–1950 – The case of vermilion imitation. In: VAN DEN BERG, K.J., BONADUCE, I., BURNSTOCK, A., ORSMSBY, B., SCHARFF, M., CARLYLE, L., HEYDENREICH, G. & KEUNE, K. (eds.): *Conservation of Modern Oil Paintings*. Springer Nature Switzerland AG, 109–118.

https://doi.org/2010.1007/978-3-030-19254-9_8

PESCOLLER, M. (1996): Anstrichsysteme und ihre Ideologie. In: KOLLER, M. (ed.): *Fassadenmalerei – Painted Facades. Forschungsprojekt EURO CARE 492 Muralpaint*. Restauratorenblätter 16, Österreichische Sektion des IIC, Mayer & Comp, Wien, 57–66.

RUSSEL, E. J. (2010): A Study of Materials and Techniques of Francis Bacon (1909–1992). PhD Thesis, University of Northumbria, Newcastle.

<https://core.ac.uk/download/pdf/4148915.pdf>

THOMAS, A.L. (1990): *Phthalocyanine research and application*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 304 p.

WIERDL, Zs. (2002): Az esztergomi magyar királyi kápolna és palota freskóinak restaurálása. *Műemlékvédelem* **XLVI**/4 209–216.

WENDLER, E., LOTZMANN, S. & SCHWAMBORN, B. (1998): Quell- und Schwindverhalten als Wirksamkeitskriterium zur Beurteilung von Steinschutzstoffen. In: SNETHLAGE, R. (Hrsg.): *Jahresberichte aus dem Forschungsprogramm Steinzerfall – Steinkonservierung 1994–1996*, Band 6. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

ZEHNDER, K. & SCHOCH, O. (2008): Efflorescence of mirabilite, epsomite and gypsum traced by automated monitoring on-site. *Journal of Cultural Heritage* **10**/3 319–330.

<https://doi.org/2010.1016/j.culher.2008.10.009>

^I PB15 (pigment blue 15): réz-(1Z,10Z,19Z,29Z)-
(2,11,20,37,38,39,40)heptaazanonaciklo[28.6.1.13,1

0.
112,19.121,28.04,9.013,18.022,27.031,36]tetrakonta
1,3(40),4,6,8,10,12(39),13,15,17,19,21,23,25,27,2

9,31,33,35-nonadecén
^{II} PB16 (pigment blue 16): (2,11,20,37,38,39,40
heptaazanonaciklo[28.6.1.13,10.112,19.121,28.04,9
.013,18.022,27.031,36] tetrakonta-1,3(40),4,6,8,
10,12(39),13,15,17,19,21,23,25,27,29,31,33,35-
nonadecén

^{III} PG7 (pigment green 7): réz-
5,6,7,8,15,16,17,23,24,25,26,32,33,34,35-
pentadekakloro-2,11,20,29,37,38-hexaza-39,40-
diazanidanonaciklo[28.6.1.13,10.112,19.121,28.04,
9.013,18.022,27.031,36]
tetrakonta1,3,5,7,9,11,13,15,17,19,21(38),22(27),23
,25,28,30(37),31(36),32,34-nonadecén

^{IV} PG36 (pigment green 36): réz-
5,7,15,17,23,25,32,34-oktabromo-
6,8,16,24,26,33,35-heptakloro-2,11,20,29,37,38-
hexaza-39,40-
diazanidanonaciklo[28.6.1.13,10.112,19.121,28.04,
9.013,18.022,27.031,36]
tetrakonta1,3,5,7,9,11,13,15,17,19,21(38),22(27),23
,25,28,30(37),31(36),32,34-nonadecén

^V PY3 (pigment yellow 3): (2-[(4-kloro-2-
nitrofenil)diazenil]-N-(2-klorofenil)-3-
oxobutánamid)

^{VI} PY74 (pigment yellow 74): (2-((2-metoxi-4-
nitrofenil)azo)-N-(2-metoxifenil)-3-oxo-butanamid)

^{VII} PR3 (pigment red 3): 1-[(4-metil-2-nitrofenil)
diazenil]naftalén-2-ol

^{VIII} PR51 (pigment red 51): 4-[(2-hidroxinaftalén-1-
il)diazenil]-2-metilbenzénszulfonsav

^{IX} PR63 (pigment red 63): 3-hidroxi-4-((1-szulfo-2-
naftalenil)azo)-2-naftalénkarbonav