

# HONNAN SZÁRMAZIK A LÁPISZ LAZULI? RONCSOLÁSMENTES EREDETVIZSGÁLAT PROMPT GAMMA AKTIVÁCIÓS ANALÍZIS SEGÍTSÉGÉVEL

ZÖLDFÖLDI JUDIT<sup>1,2</sup>, KASZTOVSZKY ZSOLT<sup>3</sup>, MIHÁLY JUDITH<sup>4</sup>, SOPHIE RICHTER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> State Office of Historical Monuments, Baden-Württemberg,  
Berliner Strasse 12, D-73728 Esslingen a.N., Germany

<sup>2</sup> Department of Geochemistry, Institute of Geoscience, University of Tübingen  
Wilhelmsrt. 56, D-72074 Tübingen, Germany, E-mail: [judit.zoeldfoeldi@uni-tuebingen.de](mailto:judit.zoeldfoeldi@uni-tuebingen.de)

<sup>3</sup> MTA Kémiai Kutatóközpont Izotópkutató Intézete  
1121 Budapest, Konkoly Thege út 29-33., E-mail: [kzsolt@alpha0.iki.kfki.hu](mailto:kzsolt@alpha0.iki.kfki.hu)

<sup>4</sup> MTA Kémiai Kutatóközpont  
1025 Budapest, Pusztaszeri út 59-67., E-mail: [mihaly@alpha0.iki.kfki.hu](mailto:mihaly@alpha0.iki.kfki.hu)

## Abstract

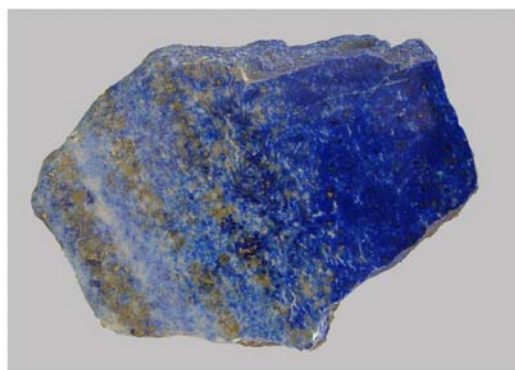
*Lapis lazuli is one of the oldest of all precious stones, with a history going back as far as 7000 years or more in the past. Lapis lazuli has been highly valued for thousands of years. It was often inserted into jewels, carvings, amulets and talismans that were believed to have occult powers. Archaeological objects made of lapis lazuli are widely distributed in the ancient East and some date back as early as the second half of the fourth millennium B.C. in Central Asia.*

*Although considerable attention has been previously paid to the mineralogy of lapis lazuli, the new non-destructive analytical techniques offer wider perspectives to the archaeometry research. Knowledge of the elemental composition, including major and trace elements may provide clues concerning the provenance and raw materials. PGAA is one of the new candidates to answer these questions.*

*In this project we succeeded to collect lapis lazuli samples from the most relevant quarries in the world. Rock samples from Afghanistan, from Lake Baikal, from Chile and from Ural Mountains have been investigated. With PGAA we were able to detect the major components, H, Na, Ca, Al, Si, S, Cl, K, and the accessory elements Mg, Fe, Mn. In addition, the trace elements of B, Sc, Cr, Co, Sm and Gd were identified. According to some characteristic element ratios the samples from Afghanistan and Baikal are more or less overlapping, while the samples from Ural and Chile are definitely different from the others. This paper also attempts to determine the origin of the natural ultramarine, based on provenance analysis on lapis lazuli by PGAA and complementary FTIR Spectroscopy.*

## Bevezetés

A lápisz lazuli az egyik legrégebben ismert, és évezredek óta az egyik legértékesebbnek tartott (fél)drágakő. Története 7000 évnél régebbre nyúlik vissza. Közkeletűségét a feltűnő, erőteljes kék színének köszönheti (1. ábra). Gyakran készítettek belőle ékszereket, amuletteket és talizmánokat, gemmákat és kámeákat, vázákat, melyeknek mágikus erőt tulajdonítottak. Lápisz lazuliból készült régészeti leleteket az ősi Kelet számos pontján találtak, néhány közép-ázsiai darab a Kr. e. IV. évezred második felére datálható. A lápisz lazuli nemcsak mint drágakő, hanem mint festék (pigment) alapanyag is fontos. Az így nyert festékananyagot "természetes ultramarinként" ismerjük, melyet porrá őrölt lápisz lazuliból nyernek.



1. ábra: Lápisz lazuli nyersanyag

## Ásványtani és földtani leírás

A lápisz lazuli opak (fél)drágakő, fő összetevője a kék színű lazurit ásvány, mely lazúrkő néven is ismert. A földpátfélék szodalit-csoportjához tartozó lazurit a haüyn és szodalit ásványok elegykristálya. A haüyn képlete a következőképpen írható le:  $(\text{NaCa})_{4-8}(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})(\text{SO}_4, \text{S})_{1-2}$ , a szodalit pedig:  $\text{Na}_8(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})\text{Cl}_2$ . A lazurit alapvetően  $(\text{NaCa})_4(\text{AlSiO}_4)_3(\text{SO}_4, \text{S}, \text{Cl})$ , de a  $\text{SO}_4$ , S és Cl összetevők mennyisége számottevő változatosságot mutat. A lápisz lazuli ezen kívül kalcitot és piritet tartalmaz, kis mennyiségben piroxének (diopszid, ensztatit, augit), csillám és amfibol is előfordulhat. Az egész egy finomszemcsés, tömött elegyet alkot. A lápisz lazuli könnyen megmunkálható, polírozható, és színét rendkívül jól megőrzi.

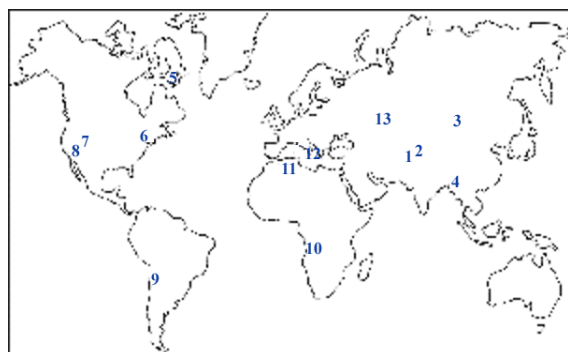
Földtanilag a következő lelőhelytípusok különböztethetők meg:

I. A legfontosabb lelőhelyek mészkövek/dolomitok és szienitek kontakt metamorf zónájában találhatóak (Blaise & Cesbron 1966; Schreyer & Abraham 1976; Grew 1988; Faryad 1999).

II. Yurgenson és Sukharev (1984) magas pirittartalmú márványok Na-metaszomatózisa útján keletkezett lápisz lazuli lelőhelyeket írtak le.

III. Kulke (1976), Hogarth és Griffin (1978) és Schreyer (1977) elmélete szerint evaporitok és agyagkövek metamorfózisa során is keletkezhet lápisz lazuli.

Ezen földtani körülmények ritka bekövetkezése a magyarázata annak, hogy mindössze 13 kisebb-nagyobb lápisz lazuli lelőhelyet ismerünk világszerte (*Lásd a 2. ábrát*).



2. ábra: Az ismert lápisz lazuli előfordulások

1. Badakhshan, Afganisztán (Herrmann 1968; Schreyer & Abraham 1976; Faryad 1999); 2. Pamír hegység (Goldstein 1981; Herrmann 1968; Webster 1975); 3. Bajkál-tó környéke (Korzinskij 1947); 4. Burma (Rosen 1988); 5. Baffin Island, Kanada (Hogarth & Griffin 1978; Kulke 1976); 6. Edwards, N.Y. State, USA (Jensen 1969); 7. Wyoming-CO, USA (Webster 1975; Hogarth &

Griffin 1980); 8. California, USA (Webster 1975); 9. Chile (Webster 1975); 10. Angola (Webster 1975); 11. Atlasz hegység (Kulke 1976); 12. Latium, Olaszország (Rosen 1988); 13. Urál hegység, Oroszország.

## Anyagvizsgálat

Habár már korábban is nagy figyelmet fordítottak a lápisz lazuli ásványtani és kémiai elemzésére, archeometriai vizsgálatokat eredetmeghatározási céllal egyedül Herrmann (1968) végzett. Mivel a lápisz lazuli régészek körében nagy becsben tartott lelet, ezért nagyon ritkán van arra lehetőség, hogy a hagyományos, roncsolásos módszerekkel keressük a választ a „*Honnan ered?*” kérdésre. Az új, roncsolásmentes analitikai módszerek szélesebb lehetőségeket teremtenek az archeometriai vizsgálatokra. Az (elemi) kémiai összetétel – a fő- és nyomelemek – ismerete információt adhat a leletek eredetéről, a nyersanyaglelőhelyekről. A **Prompt Gamma Aktivációs Analízis** (PGAA) egy új nukleáris technika, amely számos, az archeometriában felmerülő igényt – mindenek előtt a roncsolásmentességet – kielégít. A PGAA-módszer az atommagok által, termikus- ill. hidegneutronok befogását követően kibocsátott gamma-sugárzás detektálásán alapul. A kémiai elemeket a karakterisztikus gamma-vonalaik energiái szerint azonosítjuk, a mennyiségi analízis a csúcsterületek pontos meghatározásával történik (Révay et al. 2000).

## Kísérleti rész

A minták elemzését az MTA Kémiai Kutatóközpont Izotópkutató Intézetében végeztük.

Prompt Gamma Aktivációs Analízissel mintegy 50 mintát vizsgáltunk (*Lásd a Táblázatot*). 37, a világ fő lelőhelyeiről (Afganisztán, Bajkál, Chile, Urál) származó lápisz lazuli nyersanyagot mértünk kőzet-ill. por formában. Továbbá 9 mesterséges ill. természetes eredetű pigmentet, és két régészeti objektumot is elemeztünk.

A mintákat előkészítés nélkül helyeztük az  $5 \times 10^7 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  fluxusú vízszintes nyaládba, majd egy  $2 \times 2 \text{ cm}^2$ -es felületen besugaraztuk. Mivel a neutronok áthatolnak a minta anyagán, a kapott eredmények a minta átlagos teljes (bulk) összetételére jellemzőek.

A besugárzási időt 1000 és 50000 s között változtattuk, annak érdekében, hogy a detektált jelek statisztikailag elfogadhatók legyenek. A spektrumok kiértékelésére a 'Hypermet PC' programot használtuk. Néhány pigment azonosítására Fourier-transzformációs Infravörös Spektroszkópiát (FTIR) alkalmaztunk.

	Mintakód	H	B	Na	Mg	Al	Si	P
<b>URÁL</b>	UR1	0,05	0,0044	5,70	12,3	8,22	37,5	0,00
	UR2	0,10	0,0064	7,38	12,9	10,78	38,7	0,00
	UR3	0,12	0,0130	6,56	12,9	8,75	39,3	0,00
	UP	0,15	0,0050	9,08	12,0	11,29	38,0	0,00
<b>AFGANISZTÁN</b>	AF1	0,11	0,0072	10,73	11,5	11,95	38,7	0,00
	AF2	0,42	0,0007	5,16	13,5	8,95	42,2	0,00
	AFGH6	0,30	0,0076	11,96	11,2	13,88	29,4	2,51
	AP	0,54	0,0010	5,61	14,2	9,61	40,7	0,00
	FEYZ1	0,12	0,0097	10,27	9,6	12,89	40,3	0,00
	FEYZ2	0,05	0,0087	6,50	11,3	8,02	39,8	0,00
	KG1A1	0,24	0,0084	12,43	9,6	14,99	33,3	0,00
	KG1A2	0,25	0,0081	11,92	11,6	15,04	34,0	0,00
	PEL1	0,27	0,0082	4,79	9,0	6,46	34,7	0,00
	PEL2A	0,18	0,0292	8,26	22,8	12,92	30,0	0,00
	ILLAF	0,42	0,0100	4,72	14,5	7,23	34,9	0,00
	2LLAF	0,18	0,0255	4,10	26,9	6,35	24,2	0,00
	3LLAF	0,25	0,0079	11,08	12,9	13,64	32,5	0,00
	4514B1	0,30	0,0010	11,90	10,2	13,85	36,0	1,00
	4514B2	0,18	0,0009	9,10	10,1	10,81	30,4	3,93
	MANO1	0,13	0,0086	4,81	11,3	6,86	28,5	0,00
	MANO2	0,13	0,0091	2,51	13,3	4,17	28,7	0,00
	L1	0,12	0,0083	11,76	10,8	13,02	38,7	0,00
	L2	0,26	0,0110	8,45	13,8	9,93	38,5	0,00
L3	0,13	0,0105	5,44	14,9	6,34	41,3	0,00	
<b>BAJKÁL-TÓ</b>	BA1	0,12	0,0026	7,94	13,2	9,51	38,2	0,00
	BA2	0,13	0,0082	4,41	16,2	7,11	43,4	0,00
	BA3	0,12	0,0091	5,95	14,0	9,45	41,9	0,00
	B1P	0,12	0,0024	8,96	12,2	9,69	37,6	0,00
	B2P	0,16	0,0081	5,98	14,6	8,30	41,7	0,00
	B3P	0,17	0,0096	8,21	11,6	12,27	39,9	0,00
	4846D	0,44	0,0008	8,01	12,0	14,08	30,6	0,00
	4846E	0,26	0,0008	6,45	10,8	8,59	30,2	1,27
	4846F	0,26	0,0007	5,29	12,7	6,87	33,1	1,42
<b>CHILE</b>	CH1	0,25	0,0085	7,58	10,8	9,94	37,6	0,00
	CH2	0,17	0,0088	7,97	10,9	10,14	38,9	0,00
	CH3	0,23	0,0078	7,11	11,1	8,59	35,9	0,00
	CHP	0,22	0,0092	7,63	12,8	9,20	38,0	0,00
	ZJ23	0,76	0,0263	22,75	0,0	21,27	31,7	0,00
<b>PIGMENTEK</b>	ZJ14	0,63	0,0184	20,21	0,0	16,02	37,1	0,00
	ZJ19	0,78	0,0031	24,73	0,0	20,69	31,5	0,00
	ZJ26	0,64	0,0063	14,29	0,0	29,69	40,0	0,00
	ZJ28	0,64	0,0064	13,88	0,0	30,60	40,6	0,00
	UMZO	2,14	0,0204	5,13	18,2	1,83	41,5	0,00
	ZJ10	1,12	0,0001	0,00	0,0	1,52	10,9	0,00
	ZJ09	1,13	0,0018	0,00	0,0	0,00	4,5	0,00
	ULTRA	1,10	0,0007	0,00	0,0	0,00	4,4	0,00
<b>RÉGÉSZETI MINTÁK</b>	UULL	0,23	0,0109	3,50	18,4	6,81	31,4	0,00
	A830	1,14	0,0045	0,65	0,0		1,9	0,00

1. táblázat: A vizsgált minták összetétele PGAA-mérések alapján, w% egységekben

	Mintakód	S	Cl	K	Ca	Fe	Mn	Cu	Zn	Sm	Gd
<b>URÁL</b>	UR1	2,43	1,70	0,33	31,0	0,77	0,021	0,0	0,00	0,00005	0,00005
	UR2	2,13	0,80	0,39	26,6	0,14	0,023	0,0	0,00	0,00002	0,00005
	UR3	1,71	1,01	1,06	28,2	0,29	0,035	0,0	0,00	0,00022	0,00040
	UP	3,22	0,87	0,32	24,9	0,16	0,021	0,0	0,00	0,00007	0,00005
	AF1	4,82	0,44	2,07	17,4	2,12	0,029	0,0	0,00	0,00020	0,00026
<b>AFGANISZTÁN</b>	AF2	2,42	0,06	2,55	23,4	1,21	0,033	0,0	0,00	0,00006	0,00008
	AFGH6	10,37	0,35	5,89	11,1	2,72	0,000	0,0	0,00	0,00029	0,00036
	AP	2,18	0,07	3,75	22,2	1,15	0,069	0,0	0,00	0,00007	0,00007
	FEYZ1	4,45	0,29	4,31	16,6	0,50	0,032	0,0	0,00	0,00034	0,00044
	FEYZ2	7,23	0,40	21,38	0,3	4,99	0,037	0,0	0,00	0,00008	0,00015
	KG1A1	7,34	0,63	4,35	13,3	3,47	0,000	0,0	0,00	0,00014	0,00021
	KG1A2	6,34	0,65	4,00	13,2	2,52	0,056	0,0	0,00	0,00015	0,00022
	PEL1	12,90	0,15	0,89	21,2	9,54	0,000	0,0	0,00	0,00029	0,00039
	PEL2A	8,89	0,32	5,81	3,5	6,65	0,034	0,0	0,00	0,00004	0,00008
	ILLAF	9,88	0,20	2,00	19,4	6,63	0,017	0,0	0,00	0,00035	0,00043
	2LLAF	9,43	0,18	3,67	17,0	7,34	0,037	0,0	0,00	0,00022	0,00034
	3LLAF	4,92	0,58	3,84	18,3	1,57	0,020	0,0	0,00	0,00026	0,00034
	4514B1	4,48	0,83	0,87	19,7	0,89	0,024	0,0	0,00	0,00008	0,00012
	4514B2	4,34	1,81	1,73	26,0	1,63	0,000	0,0	0,00	0,00025	0,00032
	MANO1	14,32	0,55	1,33	20,1	11,65	0,056	0,0	0,00	0,00018	0,00022
	MANO2	17,36	0,28	1,13	17,2	15,00	0,034	0,0	0,00	0,00009	0,00013
	L1	5,08	0,26	1,14	18,0	1,07	0,024	0,0	0,00	0,00035	0,00037
	L2	4,34	0,43	2,06	20,1	2,11	0,031	0,0	0,00	0,00030	0,00037
	L3	4,92	0,69	0,81	22,7	2,65	0,056	0,0	0,00	0,00010	0,00013
	<b>BAJKÁL-TÓ</b>	BA1	3,23	0,18	0,46	26,5	0,67	0,028	0,0	0,00	0,00004
BA2		1,10	0,22	1,55	25,6	0,28	0,032	0,0	0,00	0,00002	0,00004
BA3		1,96	0,30	3,39	22,6	0,24	0,029	0,0	0,00	0,00002	0,00005
B1P		4,47	0,18	0,34	25,3	1,14	0,024	0,0	0,00	0,00008	0,00006
B2P		1,85	0,50	1,56	25,0	0,31	0,030	0,0	0,00	0,00003	0,00002
B3P		3,16	0,77	4,82	18,9	0,15	0,023	0,0	0,00	0,00006	0,00034
4846D		4,62	0,03	3,18	25,7	1,04	0,017	0,0	0,00	0,00011	0,00013
4846E		3,38	0,03	0,61	37,3	0,98	0,039	0,0	0,00	0,00021	0,00028
4846F		2,63	0,03	0,49	36,5	0,69	0,040	0,0	0,00	0,00019	0,00024
<b>CHILE</b>	CH1	7,48	2,41	0,65	18,0	5,21	0,058	0,0	0,00	0,00010	0,00013
	CH2	6,91	1,82	0,77	18,1	4,17	0,069	0,0	0,00	0,00011	0,00014
	CH3	8,96	1,94	0,61	19,2	6,23	0,054	0,0	0,00	0,00011	0,00016
	CHP	6,90	1,77	0,69	17,5	5,22	0,065	0,0	0,00	0,00010	0,00014
<b>PIGMENTEK</b>	ZJ23	19,79	0,28	1,85	1,1	0,39	0,000	0,0	0,00	0,00063	0,00080
	ZJ14	17,30	0,10	1,24	0,0	0,16	0,000	0,0	7,13	0,00050	0,00063
	ZJ19	20,56	0,33	0,69	0,0	0,41	0,000	0,0	0,00	0,00079	0,00070
	ZJ26	12,12	0,24	1,43	0,3	0,59	0,000	0,0	0,00	0,00088	0,00085
	ZJ28	11,93	0,28	1,08	0,0	0,47	0,000	0,0	0,00	0,00087	0,00085
	UMZO	4,95	0,17	3,62	19,5	2,42	0,073	0,0	0,00	0,00027	0,00040
	ZJ10	0,00	0,00	0,00	0,0	0,66	0,155	85,6	0,00	0,00027	0,00057
	ZJ09	0,00	0,01	0,00	0,0	0,00	0,000	94,3	0,00	0,00021	0,00034
	ULTRA	0,00	0,00	0,47	0,0	0,00	0,000	94,0	0,00	0,00022	0,00032
<b>RÉGÉSZETI MINTÁK</b>	UULL	7,20	0,23	3,45	22,6	5,69	0,023	0,0	0,00	0,00017	0,00000
	A830	0,31	0,03	1,25	0,6	0,62	0,109	0,0	0,00	0,00000	0,00000

1. táblázat: A vizsgált minták összetétele PGAA-mérések alapján, w% egységekben, folyt.

**Eredmények és értékelés**

A fenti mérési körülmények között a PGAA módszerrel meg tudtuk határozni a minták fő összetevőit (H, Na, Al, Si, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn), valamint néhány kísérő- és nyomelemet (B, S, Cl, Sm, Gd).

A nyersanyagforrások elkülönítése céljából az összetevőkből származtatott kétváltozós grafikonokat készítettünk, ill. főkomponens analízist (PCA) végeztünk. Célunk ebben a fázisban a különböző lelőhelyekről származó lăpissz lazulik egymástól történő biztos elkülönítése volt.

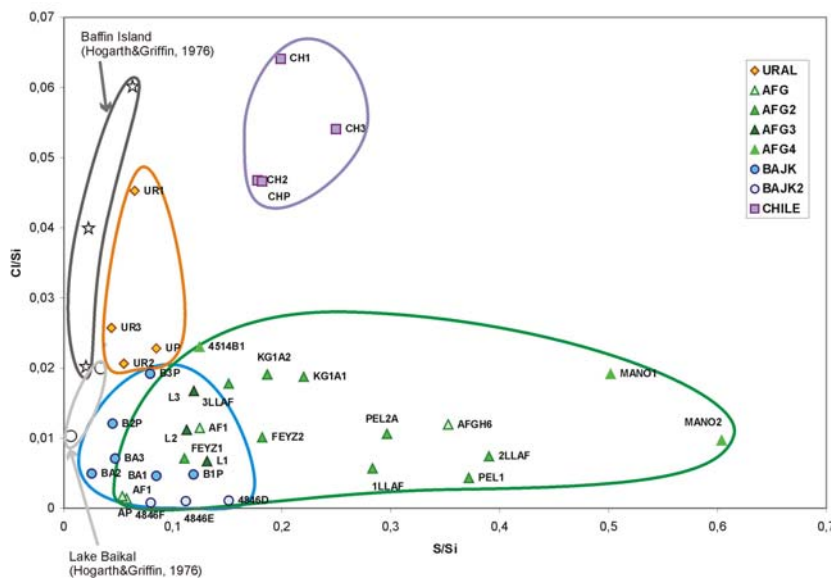
A korábban említett ásványtani és földtani leírás arra utal, hogy a képződés során nagy mennyiségű

fluid fázis, CO<sub>2</sub>, halogének és kén volt jelen. Erre alapozva választottuk ki a klórt és ként, melyek változó mennyiségben a lăpissz lazuli állandó alkotói, és feltételezhetően alkalmasak a különböző lelőhelyről származó minták elkülönítésére.

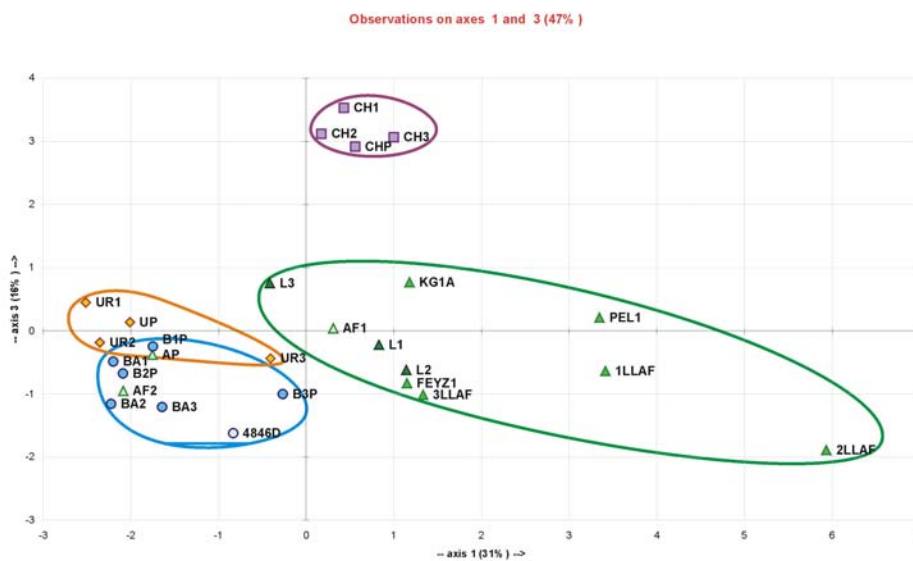
Az eredmények összehasonlíthatósága érdekében az elem-koncentrációkat Si-mal normáltuk.

Az egyik legjellemzőbb diszkriminációs diagram a Cl/Si és S/Si arányát mutatja be (3. ábra).

Az általunk mért értékeket kiegészítettük néhány irodalmi adattal (Hogarth & Griffin 1976), melyek lăpissz lazuliból készített vékonycsiszolatok elektronmikroszondás vizsgálataiból származnak.



3. ábra:  
Cl/Si és S/Si arány  
a lăpissz lazulikban.

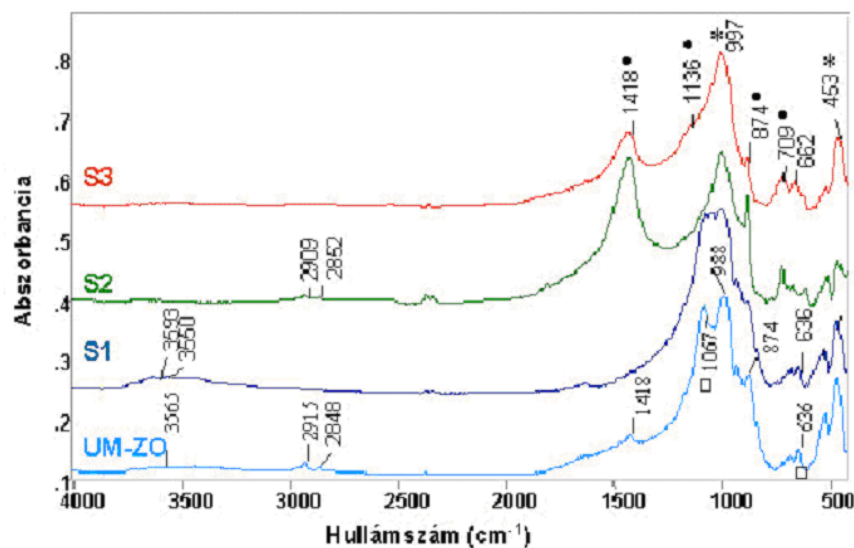


4. ábra:  
Főkomponens  
analízis  
eredmények lăpissz  
lazuli mintákon

A diagram bemutatja, hogy az Afganisztánból és a Bajkál-tó környékéről származó mintákat alacsony Cl/Si arány (0,001 – 0,02) jellemzi, míg a Chiléből, Urál hegységből és a Baffin Islandról származó minták Cl/Si aránya nagyobb, mint 0,02. Az afgán lápisz lazuli minták S/Si aránya 0,05 és 0,4 között változik, ezzel szemben a Bajkál-tó környékéről származó minták S/Si aránya jóval alacsonyabb (0,02 – 0,12).

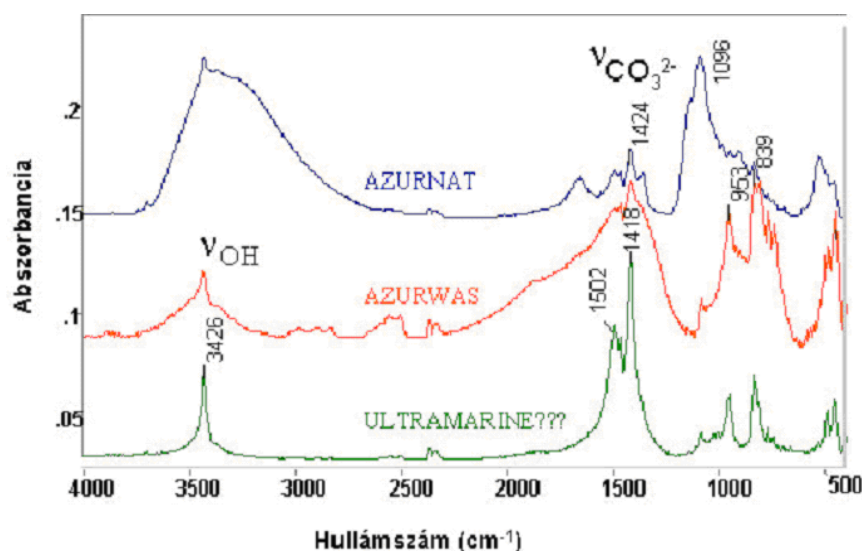
Az uráli, kanadai és a chilei minták szignifikánsan különböznek a némileg egymással átfedő afganisztáni és Bajkál-tó környékéről származó mintáktól. A fenti eredményeket megerősítik a főkomponens analízis (PCA) eredményei (4. ábra).

Ennek alapján az afgán lápisz lazulik jól elkülöníthetők az uráli, chilei és a Bajkál-tó környékéről származó mintáktól.



5. ábra:

Lápisz lazuli és természetes ultramarin FTIR- spektruma



6. ábra:

További kék pigmentek FTIR-spektruma

Kiegészítő Infravörös Spektroszkópiai vizsgálatok alapján már a vizsgálatok korai szakaszában biztos eredményt kapunk arról, hogy a vizsgált kék pigment valóban természetes ultramarin-e, azaz valóban lápisz lazuliból készült-e.

Az 5. ábrán néhány kiválasztott FTIR-spektrumot mutatunk be, mely a lápisz lazulira (és egyúttal a „természetes ultramarin”-ra) jellemző csúcsokat tartalmazza.

A 6. ábrán más kék pigmentek, mint például azurit jellemző FTIR-spektrumát láthatjuk. Ezen vizsgálatok alapján egy kereskedelmi forgalomban lévő, ultramarinként feltüntetett pigmentről egyértelműen bebizonyosodott, hogy valójában azurit.

### Következtetések

Összefoglalva a következő megállapításokat tettük: a számunkra rendelkezésre álló minták vizsgálati alapján az uráli és chilei lápisz lazuli teljes

biztonsággal elkülöníthető a Bajkál-tó környékéről és az Afganisztánból származó mintáktól. A Bajkál-tó környéki és az afgán minták a különböző diszkriminációs diagramok és a főkomponens analízis segítségével nagy biztonsággal elkülöníthetők egymástól.

Mivel a lápisz lazuliból készített régészeti leleteken roncsolásos módszerekkel végrehajtott eredetvizsgálat nem, vagy csak nagyon ritkán hajtható végre, eredményeinkkel hasznos

információt szolgáltatathatunk a lápisz lazuli régészeti leletek eredetére vonatkozóan.

### **Köszönetnyilvánítás**

A Prompt Gamma Aktivációs Analitikai méréseket az EU 5. Keretprogram támogatásával, a HPRI-1999-CT-00099 sz. szerződés keretében végeztük a Budapesti Neutronközpontban (BNC).

### **Irodalom**

BLAISE, J. & CESBRON, F. 1966: Données minéraliques et pétrographiques sur le gisement de lapis-lazuli de Sar-e-Sang, Hindou-Kouch, Afghanistan. *Bulletin de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie* **89**:333-343.

FARYAD, S.W. 1999: Metamorphic evolution of the Precambrian South Badakhshan block, based on mineral reactions in metapelites and metabasites with whiteschists from Sare Sang (Western Hindu Kush, Afghanistan). *Precambrian Research* **98**: 223-241.

GOLDSTEIN, A.D. 1981: The Gemstones of Russia, Pamir and Baikal. *Jewellery Making Gems and Minerals* **528**:50-51.

GREW, E.S. 1988: Kornerupine at the Sare Sang, Afghanistan, whiteschist locality: implications for tourmaline-kornerupine distribution in metamorphic rocks. *American Mineralogist* **73**:345-357.

HERRMANN, G., 1968, Lapis lazuli: The early Phases of its trade. *Iraq* **30**:22-54.

HOGARTH, D. D. & GRIFFIN, W. L., 1976, New data on lazurite. *Lithos* **9**:35-54.

HOGARTH, D. D. & GRIFFIN, W. L., 1978, Lapis Lazuli from Baffin Island. A Pre-Cambrian Meta-Evaporite, *Lithos* **11**:39-54.

HOGARTH, D. D. & GRIFFIN, W. L., 1980, Contact-Metamorphic Lapis Lazuli: the Italian Mountain deposit, Colorado. *Canadian Mineralogist* **18**:59-70.

JENSEN, D.E. 1976: Lapis lazuli from Edwards, New York, *Rocks and Minerals* **51**: p. 155

KORZINSKIJ, D.S. 1947: Bimetasomaticeskije flogopitovye i lazuritovye mestorozhdenije archeja pribajkálja. *Akademija Nauk. SSSR. Trudy Instituta Geologiceskich Nauk, 29, Petrograficeskaja Serija* **10**, Moskva.

KULKE, H.G. 1976: Metamorphism of evaporate carbonate rocks (NW Africa and Afghanistan) and the formation of lapis lazuli. *International Geological Congress, Sydney, Section 3B, Abstract* p. 25.

RÉVAY, ZS., BELGYA, T., KASZTOVSZKY, ZS., WEIL, J.L. & MOLNÁR, G.L. 2004: Cold neutron PGAA facility at Budapest. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B - Beam Interactions with Materials and Atoms*, **213**:385-388.

ROSEN, L. von, 1988: *Lapis lazuli in geological and in ancient written sources*. Paul Astroms Forlag, Sweden.

SCHREYER, W. 1977: Whiteschists: their compositions and pressure-temperature regimes based on experimental, fluid, and petrographic evidence. *Tectonophysics* **43**:127-144.

SCHREYER, W. & ABRAHAM, K. 1976: Three stage metamorphic history of whiteschist from Sare Sang, Afghanistan, as part of a former evaporate deposit. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **59**: 111-130.

WEBSTER, R. 1975: *Gems, their Sources, Description and Identification*. London. pp. 219-221.

YURGENSON, G. A. & SUKHAREV, B. P. 1984: Localization of lapis lazuli bodies and their mineral zonation in Badakhshan. *Zapiski Vsesoyuznogo Mineralogicheskogo Obshchestva* **113**:498-505.