

Sivatagi rózsák ásványtani vizsgálata

TDK dolgozat

Készítette: Papp Richárd Zoltán

Környezettan BSc

Témavezetők:

dr. Tóth Erzsébet

dr. Weiszbürg Tamás



ELTE TTK Ásványtani Tanszék

2013 Budapest

1. Bevezetés.....	4
2. Irodalmi háttér.....	6
2.1. Sivatagi rózsák	6
2.2. Gipsz	6
2.2.1. Kristálytani ismeretek a gipszről	6
2.2.2. Fizikai tulajdonságok	7
2.2.3. Genetika.....	7
2.2.4. Gipsz – bassanit – anhidrit	7
2.3. A sivatagi homok	7
3. Alkalmazott műszeres vizsgálati módszerek.....	8
3.1. XPD	8
3.2. SEM+EDX.....	8
4. Saját vizsgálatok	9
4.1. Vizsgált minták	9
4.3. Sztereómikroszkópos vizsgálatok.....	12
4.4. Röntgen pordiffrakciós vizsgálatok	13
4.5. Analitikai pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok	13
4.5.1. Minta előkészítés, vizsgált objektumok	13
4.5.2. Felszíni, morfológiai megfigyelések	13
4.5.3. A homokszemcsék anyaga.....	14
4.5.4. A homokszemcsék alakja	14
4.5.5. A kristályegyedek zónássága, hasadása	15
5. Eredmények	16
5.1. A gipszrózsák csoportosítása	16
5.1.1. Csoportosítás alaki kritériumok alapján.....	17
5.1.1.1. I. csoport: Központi lappal rendelkező rózsák	17
5.1.1.2. II. csoport: Véletlenszerűen összekapcsolódó lapokból álló rózsák.....	17

5.1.1.3. III. csoport: Gömbszerű aggregátumokba rendeződő rózsák.....	18
5.1.1.4. IV. csoport: Közel párhuzamos lapokban növv rózsák	18
5.1.2. Csoportosítás homoktartalom alapján	19
5.1.2.1. Homokgazdag rózsák	19
5.1.2.1.1. A hasadás minősége	19
5.1.2.1.2. Befoglalt szemcsék	19
5.1.2.2. Homokszegény rózsák	20
5.1.2.2.1. A hasadás minősége	20
5.1.2.2.2. Befoglalt szemcsék	20
5.1.2.3. Köztes homoktartalmú rózsák	21
5.1.2.3.1. A hasadás minősége	21
5.1.2.3.2. A befoglalt szemcsék.....	21
5.2. A gipszrózsák kristályegyedeinek orientációja	22
Összefoglalás	25
Irodalomjegyzék	26
Köszönetnyilvánítás.....	27

1. Bevezetés

Az elmúlt években az ásványbörzéket járva sokszor megakadt a szemem a sivatagi rózsákon. Az árusok nem tudtak kielégítő válaszokat adni a kérdéseimre (hogyan, milyen oldatokból keletkezik, honnan származik az oldatok szulfáttartalma stb.), többségük nem maga gyűjtötte az árult példányokat, és azok a gyűjtők, akik saját tapasztalattal is rendelkeztek ezen a téren, sokszor egymásnak ellentmondó információval szolgáltak.

A nemzetközi irodalomban böngészve sem találtam sok információt ezekről az ásványokról, ezért saját vizsgálatokba kezdtem, hogy jobban megismerhessem a gipsz ezen egzotikus megjelenési formáját. Ennek első lépéseként az ELTE TTK Természettudományi Múzeumának Ásvány- és Kőzettárából összegyűjtöttem az afrikai területekről származó gipszrózsákat, és ezeket, valamint a saját magam által vásárolt példányokat kezdtem tanulmányozni. Elsőre a rózsák különálló rozettáinak összekapcsolódásában semmi szabályosságot nem fedeztem fel, de az internetet böngészve és a börzéket járva lassan kialakult egy elképzelésem, amely a különbözően összekapcsolódó lapokból álló gipszrózsák csoportosításán alapult. Ez alapján 4, különböző morfológiai típust különítettem el. Ezt figyelembe véve elkezdtem a rózsáimat célzottan vásárolni és a csoportokra osztott, már meglévő példányokat tüzetesebben, műszeres módszerrel is vizsgálni.

A következő megfigyelések alapját a gyűjtés és szállítás során bekövetkező sérülések adták (a legtöbb esetben egy sík lap mentén történő hasadás), amik feltárták előttem a gipszrózsák belsejét. Az így megfigyelt különböző tulajdonságok, a befoglalt homokszemcsék mennyisége és elrendeződése egy újabb csoportosítás alapjául szolgált, úgyhogy elkezdtem a példányaimat szisztematikusan felhasogatni, hogy a különböző – általam kreált – morfológiai csoportokba osztott rózsákat elhelyezhessem az új, homoktartalom szerinti csoportosításban is.

A lehasogatott lapokat aztán pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatoknak alávetve sokkal részletesebben is megfigyelhettem, így sikerült a különálló homokszemcsék anyagát, alakját, valamint a homokszemcsék és az azokat befoglaló gipsz (vagy barit) viszonyát meghatároznom.

Reméltem, hogy megfigyeléseim és vizsgálataim eredményeként jobban megismerhetem a sivatagi rózsák keletkezési körülményeit, akkor is, ha személyesen nincs sok esélyem arra, hogy a közeljövőben testközelből vizsgálhassam a képződési környezetüket.

2. Irodalmi háttér

2.1. Sivatagi rózsák

Ismerünk gipsz és barit anyagú sivatagi rózsákat, utóbbiról egyelőre nem találtam szakirodalmat.

Sivatagos területeteken a gipsz több módon is kristályosodhat (Watson, 1985, áttekintő összefoglalás). A szerző három alapvető típust különít el: 1. rétegzett gipsz kérgék (időszakos tavak és lagúnák peremén); 2. felszín alatti kérgék, ide tartoznak a gipsz rózsák (2a.) és a mezokristályos gipszkéreg (2b.); 3. felszínen keletkező gipszkérgék (oszlopos, földes és kavics altípusokkal).

A sivatagi rózsákat (2a.) Watson (1985) hidromorf akkrécióknak tekinti, amelyek a befoglaló üledékben a felszínhez közeli talajvízszintnél keletkeznek a talajvíz párolgása révén.

Finomszemcsés homokban a talajnedvesség / talajvíz párolgásából adódó gipsz-keletkezési mélység maximum 1 m-rel lehet a felszín alatt. Ebben az esetben a párolgás mértékétől függően a talaj nedvességtartalmának szintje fluktuál, emiatt tapasztalhatunk egyes példányok esetében zónásságot. Tiszta vízben 40°C-on a gipsz oldhatósága 2 g CaSO_4 /liter, viszont, ha a víz 200 g/l oldott NaCl-t tartalmaz az oldhatóság megnégyszereződik (8 g CaSO_4 /liter). Ha az oldott NaCl nélküli csapadékvíz átmosódik a homokrétegen, lokálisan lecsökkenti a talajvíz NaCl/ CaSO_4 arányát, így, ha a gipsz oldhatósága kellően lecsökken megindulhat a kristályosodás. Ugyanez a reakció megy végbe, ha a víz oldott CaCO_3 -ot és CaSO_4 -et tartalmaz, a közös ionreakció miatt (Watson, 1985).

2.2. Gipsz

2.2.1. Kristálytani ismeretek a gipszről

A gipsz monoklin prizmás rendszerben kristályosodik - térsoportja: $C2/c$ – az elemi cella hossza $a_0=5,678 \text{ \AA}$; $b_0=15,20 \text{ \AA}$; $c_0=6,52 \text{ \AA}$; valamint az a és c tengely által bezárt szög: $\beta=118,43^\circ$ (Gaines *et al.*, 1997). A gipsz kristályai $\{010\}$ szerint táblásak, $[001]$ szerint zömök vagy nyúlt prizmásak (Szakáll, 2005). A sivatagi rózsák keletkezésekor a kristályok

lencse alakban növekednek, kristályformájuk nehezen vagy egyáltalán nem felismerhető, egyes esetekben előfordulhat, hogy az $\{-111\}$ és/vagy az $\{-103\}$ lapok görbülten fejlődnek ki (Gaines *et al.*, 1997). Jellegzetesek az $\{100\}$ szerinti penetrációs ikrek, azaz a „fecskefark alakú ikrek”, valamint a $\{-101\}$ szerinti szív vagy lepke alakú ikrek, azaz a „Montmartre ikrek”.

2.2.2. Fizikai tulajdonságok

A gipsz legtöbbször színtelen vagy fehér, áttetsző vagy átlátszó ásvány. Sivatagi környezetben a magába foglalt homok színétől függően változik a kristály színe is. Hasadása $\{010\}$ szerint kitűnő, $\{100\}$ szerint jó, $\{011\}$ szerint kevésbé jó. A gipsz a Mohs-féle keménységi skála második tagja, körömmel karcolható, puha ásvány.

2.2.3. Genetika

A gipsz az egyik legközönségesebb szulfátásvány. Leggyakoribb előfordulása a tengeri evaporitokhoz kapcsolható, ahol az anhidrittel (CaSO_4) együtt a legkorábbi kiválási termékek közé tartozik. Kristályosodása 58°C -alatt történik, ennél magasabb hőmérséklet esetén anhidrit válik ki (Van Driessche *et al.*, 2011). Másodlagosan Ca jelenlétében szulfidásványok oxidációjával keletkezik.

2.2.4. Gipsz – bassanit – anhidrit

A gipsz ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) hevítés hatására $95\text{-}170^\circ\text{C}$ -között fokozatosan leadja a szerkezetében megkötött vizet, így először bassanit ($\text{CaSO}_4 \times 0,5 \text{H}_2\text{O}$), majd anhidrit (CaSO_4) jön létre (Strydom *et al.*, 1995). Az első ásvány víz hozzáadásával képes újra $2 \text{H}_2\text{O}$ -s formába alakulni, míg az anhidrit erre már nem képes.

A természetben a három ásvány közül a bassanit fordul elő a legritkábban, a sivatagi rózsákat alkotó ásványok között pedig a nemzetközi irodalomban egyáltalán nem ismert.

2.3. A sivatagi homok

A sivatagi dűnék jól osztályozott homokja $0,15\text{-}0,35 \text{ mm}$ mérettartományba esik (Balogh *et al.*, 1991). Összetétele jellemzően kvarc (több, mint 90%-ban), a többi elegyrész a környezet geológiájától függően változhat.

A homokszemcsék közepesen koptatottak, jellemzőek a sarkos formák. Sajátalakú vagy félig sajátalakú szemcsék csak elvétve fordulhatnak elő.

3. Alkalmazott műszeres vizsgálati módszerek

Az általam vizsgált összes mintán makroszkópos és sztereómikroszkópos vizsgálatokat végeztem, majd az így elkülönített 4 morfológiai csoport (5.1.1.-es alfejezet) előre kiválasztott példányait röntgen pordiffrakciós és analitikai pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatoknak vettem alá, részben a rozetták morfológiájának pontosabb megfigyelésére, részben pedig a nem kvarc anyagú homokszemcsék azonosítására (kémiai összetétel +/- alak alapján).

3.1. XPD

A röntgen pordiffrakciós mérések Siemens D5000-es diffraktométerrel készültek az ELTE TTK Ásványtani Tanszékén, a következő mérési paraméterekkel: 20 kV gyorsítófeszültség, 5 mA csőáram, $2-65^\circ$ 2θ szögtartomány, $0,05^\circ$ lépésköz, 2 s detektálási idő lépésközönként.

3.2. SEM+EDX

A vizsgált minták hasítási felületek voltak, melyeket a jobb vezetőképesség érdekében szánnal gözöltük.

A mintákat Amray-1830i pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltuk az ELTE TTK FFI Mikroszkonda Laboratóriumában, Bendő Zsolt közreműködésével. 20 kV gyorsítófeszültség és 1 nA-es mintaáram mellett készítettük a felvételeket. A morfológiai sajátosságokat megmutató szekunder elektronképek (SE), valamint az átlagos kémiai összetételről informáló visszaszórt elektronképek (BE) egyaránt készültek. Ezen kívül bizonyos esetekben a két képalkotási módot vegyítő felvételeket is csináltunk (BE-SE).

A mikroszkópon található energiadiszperzív röntgendetektornak (INCA-EDX detektor) köszönhetően lokális kémiai összetételt is vizsgálhattunk, ami segítségével a homokszemcsék összetétele is meghatározhatóvá vált. 0,5-10 keV volt a karakterisztikus röntgensugárzás detektált energiatartománya. A sztenderdmentes méréseknél a detektálási idő 100 másodperc volt.

A vastartalmat az egyes ásványoknál a domináns oxidációs állapot szerint vettük figyelembe, a képletszámításnál az oxigén anionváza normáltam.

4. Saját vizsgálatok

Munkám során minden esetben a külső, szemmel jól látható morfológiai bélyegektől, az egyre nagyobb felbontású, kisebb részleteket is megmutató, műszeres vizsgálatok felé haladtam.

Az előző fejezetben taglalt műszeres módszereken kívül az egyes kristályegyedeken hasítási vizsgálatokat is végeztem, ezek segítségével betekintést nyertem a rózsák belsejébe, ahol megfigyeltem a gipszbe ágyazott homokszemcsék sajátos elrendeződését (ez a módszer egy újabb csoportosítást tett lehetővé, amit az 5.1.2.-es alfejezetben ismertetek), valamint az így létrejövő hasadási lap segítségével meghatározhattam a kristályegyedek orientációját is.

4.1. Vizsgált minták

Az általam vizsgált 35 db mintából 32 db gipsz rózsza volt, ezeket különböző anyagvizsgálati módszereknek vettem alá, ezek összefoglalását az **1. táblázat** tartalmazza. A minták nagy részét magam szereztem be, néhány az ELTE TTK Természettudományi Múzeumának Ásvány- és Kőzettárából származik (ALG-1; ISM-1; ISM-2; ISM-3; MAR-3; TUN-3; TUN-4; TUN-6 minták), illetve F. Nagyné Gulyás Klára (ELTE TTK FFI, Általános és Alkalmazott és Földtani Tanszék) szíveségéből került hozzám vizsgálatra (TUN-2).

1. táblázat: A vizsgált minták és a rajtuk elvégzett anyagvizsgálatok. A mintajelzés az eredetre utal.
Jelölések: ALG – Algéria; ISM – Ismeretlen; LBY – Líbia; MAR – Marokkó; MEX – Mexikó TUN – Tunézia; RSA – Dél-Afrikai Köztársaság

Mintanév / Tulajdonság	ANYAG			ROZETTA HASÍTHATÓSÁGA		ANYAGVIZSGÁLAT	
	Gipsz	Barit	Anhidrit perem	(010) szerint kitűnő hasadás	(010) szerint jó hasadás	SEM + EDX	XPD
ALG-1	X			X			
ALG-2	X		X	X			
ISM-1	X				X		
LBY-1	X				X		X
MAR-1	X			X			
MAR-2	X			X		X	
MAR-3	X			X			
MAR-4	X			X			X
MAR-5	X		X	X			
MEX-1	X		X	X			
MEX-2	X		X	X			X
MEX-3	X		X	X			X
MEX-4	X		X	X			
RSA-1	X			X			
RSA-1	X			X			
TUN-1	X				X	X	X
TUN-3	X			X			
TUN-4	X			X			
TUN-6	X			X			
TUN-7	X			X			
TUN-8	X			X		X	X
TUN-9	X			X		X	
TUN-10	X			X			
TUN-11	X			X			X
TUN-12	X			X			
TUN-13	X			X			
TUN-14	X			X			
TUN-15	X			X			
TUN-16	X			X			
TUN-17	X			X			
TUN-18	X			X		X	X
TUN-19	X			X			
ISM-2		X				X	X
ISM-3		X					
TUN-2		X					X

4.2. Makroszkópos megfigyelések



1. ábra - 2-3 mm széles kristályegyedekkel rendelkező sivatagi rózsák. A lépték mm-es osztásokat jelez (TUN-11-es minta)



3. ábra - Egymáson átnövő kristályegyedekkel rendelkező sivatagi rózsák



2. ábra - Tipikus, egymást keresztező lapokkal rendelkező sivatagi rózsák

A sivatagi rózsáknak igen változatos a megjelenésük. Színük a befoglalt homok mennyiségétől és színétől függ; a sárgától a zöldön keresztül egészen a vörösig bármilyen lehet (az afrikai gipszrózsákra jellemző a sárgás-barnás szín).

Méretüknek csak elvi határa van, az általam vizsgált

rózsákon olykor mindössze 2-3 mm-es kristályegyedeket is megfigyeltem (1. ábra), viszont a gyűjtők elmondása és Watson (1985) szerint a rozetták átmérője lehet akár 50 cm-es is, a kristálycsoportok együttes mérete a több métert is elérheti.

A szabad szemmel még jól elkülöníthető rozettákkal rendelkező rózsák kristályegyedei első ránézésre teljesen véletlenszerűen csatlakoznak egymáshoz. A példányokra jellemző, hogy az egymást keresztező kristályoknak a találkozási pontnál vége van (2. ábra), viszont majdnem minden rózsán megfigyelhetünk olyan kristályokat, amik a találkozás után a másik oldalon ugyanazzal az orientációval folytatódnak (3. ábra).

A minták tüzetesebb vizsgálata során az egymáshoz kapcsolódó rozetták mérete és az összekapcsolódás térbeli módjának hasonlósága alapján különböző csoportokat alakítottam (5.1.1-es alfejezet).

A rózsák puha anyagának (2-es Mohs-keménység) köszönhetően a kristályegyedek sok esetben sérültek. Legtöbb esetben elhasadt, sík lapban végződő kristályegyedeket láthatunk, de vannak egyenetlen szélű, törött rozetták is.

A rózsák által befoglalt homokszemcsék anyagi minősége, koptatottsága, az igen kis mérettartomány miatt (<mm) szabad szemmel nem figyelhető meg, viszont az elhelyezkedésük a sérült kristályegyedek belsejében jól vizsgálható. A minták többségénél a homokszemcsék sávokba rendeződnek, ezek vastagsága változó, de irányuk többnyire követi a kristályegyed szélének vonalát.

4.3. Sztereómikroszkópos vizsgálatok

A sztereómikroszkópos vizsgálatok során kristályegyedek ép és sérült felszínéről, valamint a homokszemcsék méretéről és alakjáról egyaránt új információkat nyertem.

Általában a lapok felszínét teljes mértékben beborítják a homokszemcsék (4. ábra), de egyes esetekben előfordul, hogy a rozetta felszíne teljesen sima, a szemcsék már kiperegtek, vagy nem is voltak megkötve. A kipergett szemcsék helyén a legtöbbször egy sérült üreg maradt, és a körülötte lévő gipszen mély karcolások láthatók.



4. ábra - A TUN-10-es minta egyik kristályegyede, az azt elfedő homokszemcsékkel. A lépték mm-es osztásokat jelez

A homokszemek formája változatos, általában szögletesek és lekerekítettek, de vannak tökéletesen gömbölyű vagy sarkos szemcsék is. Méretük változó, leggyakrabban a 0,1–0,5 mm-es tartományba esnek, de előfordulnak ennél lényegesen nagyobb, 1–2 mm-es szemcsék is.

A sérült felületeken megfigyelt zónásságot nagy nagyításnál vizsgálva látható, hogy a kristályegyed széle és a sávok közötti eltérés a legtöbb esetben nem nagyobb 10°-nál (5. ábra), azonban a kristályegyed széle sokszor nehezen meghatározható a hozzáanövő kisebb-nagyobb rozettáktól. A homokban dús sávok között, a kristály szinte teljesen tiszta (homok nélküli), átlátszó anyaga alkot egy világosabb színű réteget. Ezek a zónák a rozetta oldalaitól általában szimmetrikusan, minden irányban egyaránt, egyforma



5. ábra - Egy lehasított kristályegyeden megfigyelhető zónásság és a zónák fokozatos, enyhe torzultsága (a kristályegyed jelenlegi alakjához képest); TUN-18-as minta

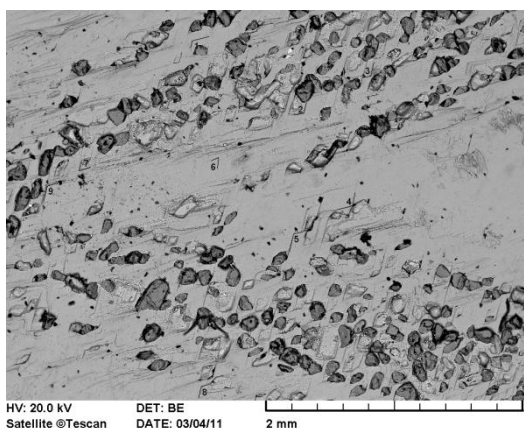
vastagsággal helyezkednek el, de előfordul, hogy bizonyos oldal vagy oldalak mentén a sávok összeszűkülnek, vagy épp megvastagodnak.

4.4. Röntgen pordiffrakciós vizsgálatok

10 db mintán röntgen pordiffrakciós vizsgálatot végeztem a rózsák ásványos összetételének vizsgálata céljából (**1. táblázat**). A mintáim jelentős hányadában csak a gipsz és a kvarc azonosítható a módszer néhány százalékos kimutatási határa miatt, de bizonyos, már szabad szemmel is külön csoportba sorolt rózsákból származó mintákon anhidritet is találtam.

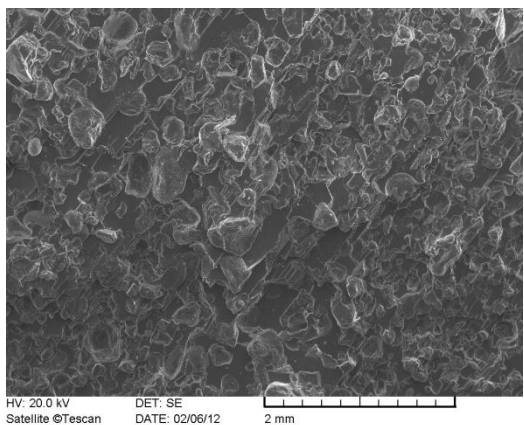
4.5. Analitikai pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok

4.5.1. Minta előkészítés, vizsgált objektumok



6. ábra - Egy zónákkal rendelkező kristályegyed pásztázó elektronmikroszkópos BE képe (TUN-9-es minta)

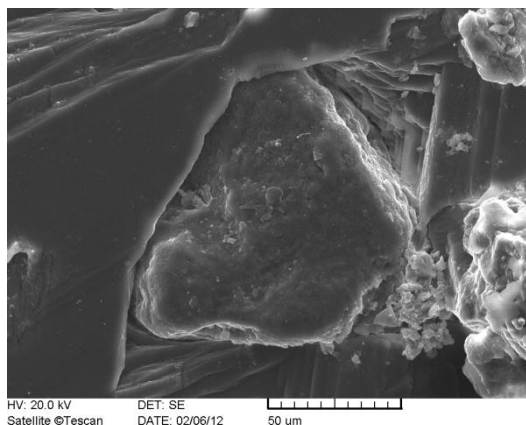
Analitikai pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM+EDX) végzett vizsgálatokhoz az előre kiválasztott mintáim bizonyos kristályegyedeiről pengével ~5 mm-es lapokat hasítottam, majd a műszer segítségével ezek felszínéről és anyagi minőségéről kaptam információt. Mivel a homokszemcsék mérete bőven a minimálisan mérhető tartomány fölött van, így az egyes szemcsék anyagát is tudtam vizsgálni.



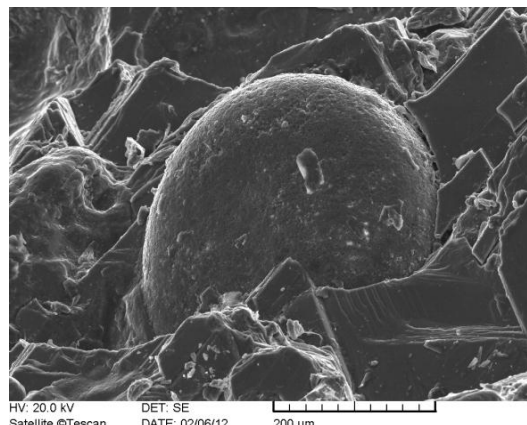
7. ábra - Egy homokban gazdag rozetta tökéletlen hasadási lapja (SE kép, TUN-1-es minta)

4.5.2. Felszíni, morfológiai megfigyelések

A makroszkóposan és sztereómikroszkóppal már előre meghatározott morfológiai csoportok sérült felszínének vizsgálata fontos szempont volt a mérések során. A zónás (**6. ábra**) és nem zónás (**7. ábra**) kristályegyedek közötti legfőbb



8. ábra - Egy zónás mintában található kvarc szemcse, az azt nem tökéletesen körbenövő gipszkristállyal (SE kép, TUN-9-es minta)



9. ábra - Egy lekerekített és a gipszkristály által tökéletesen körbenőtt homok szemcse a homokban gazdag rozetta felszínén (SE kép, TUN-1-es minta)

különbség a homok szemcsék körbenövése mentén volt megfigyelhető. A zónás mintákon a gipsz a legtöbb esetben hagyott valamilyen üreget a szemcse mellett (8. ábra), míg a homokban gazdag kristályoknál ez nem volt jellemző (9. ábra). Ez a jelenség valószínűleg a gipsz kristályosodásának sebességével függ össze, amikor a kristály lassan növekszik, van ideje körbevenni a szemcsét, amikor viszont hirtelen, gyorsan nő, a kristály a növekedési lapjai mentén ($\{010\}$, $\{110\}$ és $\{111\}$ (Koch és Sztrókay, 1994)) veszi körbe a homok szemcséket.

4.5.3. A homok szemcsék anyaga

A homok szemcsék anyaga egy átlagos rózsában legalább 95%-ban kvarc. A második leggyakoribb ásvány a káliföldpát, de elvétve találni plagioklászta, ilmenitet, Ca-amfibolokat, titán-dioxidot, epidotot és gránátot (2. táblázat).

4.5.4. A homok szemcsék alakja

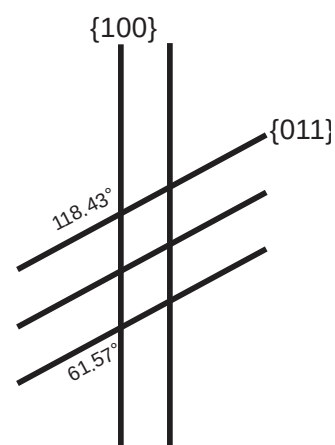
A szemcsék formája a gipsz rózsák keletkezési helyétől függően változik. A szemcsék minden esetben koptatottak, bizonyos rózsáknál a tökéletesen lekerekített másoknál pedig a szögletes szemcsék mennyisége a nagyobb, de minden esetben találunk mind a két típusból szemcséket. Elvétve vannak szabályos, idiomorf vagy hipidiomorf szemcsék is – többnyire kvarc.

2. táblázat - a kvarcon kívül leggyakrabban megjelenő ásványok és oxigénre normált képletük (amfibol 23-O; epidot 12,5-O; káliföldpát 8-O; ilmenit 3-O; grosszulár 12-O; titanit 5-O)

minta#	Képlet	ásványfaj
TUN-18	$K_{0,31}Ca_{1,61}(Mg_{0,99}Fe_{2,46}Mn_{0,02}Ti_{0,12}Al_{1,36})[Si_{6,95}Al_{1,05}O_{22}](OH)_2$	amfibol
TUN-18	$Ca_{1,9}(Mn_{0,02}Al_{1,86}Fe_{0,7})[Si_{3,12}O_{12}](OH)$	epidot
TUN-18	$K_{0,02}Ca_{0,29}Na_{0,53}[Al_{1,19}Si_{2,83}O_8]$	plagioklász
TUN-18	$K_{1,03}[Al_{0,90}Si_{3,06}O_8]$	káliföldpát
TUN-18	$K_{1,04}[Al_{0,95}Si_{3,03}O_8]$	káliföldpát
TUN-18	$Ba_{0,14}K_{0,98}[Al_{1,04}Si_{2,90}O_8]$	Ba - tartalmú káliföldpát
TUN-18	$Fe_{0,67}Ti_{1,17}O_3$	ilmenit
TUN-8	$Mn_{0,12}Fe_{0,85}Ti_{1,01}O_3$	ilmenit
TUN-8	$Mn_{0,29}Fe_{0,65}Ti_{1,03}O_3$	ilmenit
MAR-3	$(Ca_{2,09}Fe^{2+}_{0,88}Mn^{2+}_{0,05})(Al_{1,96}Ti_{0,02})[SiO_4]_3$	grosszulár
TUN-9	$(Fe_{0,04}Ca_{1,05})(Al_{0,09}Ti_{0,93})SiO_5$	titanit
TUN-9	$(K_{0,21}Ca_{1,51})(Na_{0,44}Ca_{0,74}Fe_{0,82})(Ti_{0,12}Fe_{1,31}Al_{1,5}7Mg_2)[Al_{0,56}Si_{6,43}O_{22}](OH)_2$	amfibol

4.5.5. A kristályegyedek zónássága, hasadása

A pásztázó elektronmikroszkóppal készített képeken jól láthatóak a homokszemekből létrejött zónák, valamint a gipszlapok hasításakor létrejött különböző sérülések. A tökéletesen leválasztott (többnyire zónás) kristályegyedek (010) lapján megfigyelhetjük a másik két hasadás ({100} és {011}) nyomvonalait, amelyek egyben, rendre, a *c* és az *a* tengely irányai is (10. ábra). A hasadások elkülönítését az egyéb sérülési nyomoktól a jellegzetes bezárt szög (118,43° és 61,57°-os kiegészítő szöge) teszi lehetővé. Ez a mérés – a felcserélhetőség miatt – nem teszi még lehetővé, hogy eldöntsük, melyik tengely melyik, azonban polarizációs mikroszkóp segítségével a két tengely optikai kioltáshoz való aszimmetrikus viszonyából ez egyértelműen meghatározható (5.2-es fejezet).



10. ábra - A gipszkristály (010) síkon képzett {100} és {011} hasadási irányai, valamint az általuk bezárt szögek

Az orientáció nem határozható meg egyszerűen homokban dús lapokon még ezzel a módszerrel sem, mivel a homokszemcsék miatt a kristályegyed hasíthatósága sokkal rosszabb, a szemcsék közötti gipszkristály egyenetlenül, különböző mélységekben hasad el.

5. Eredmények

A vizsgálataim során a sivatagi rózsákat két különböző kritérium alapján csoportokra osztottam. Az első esetben a különböző morfológiai jegyeket viselő rózsákat, a másikkban pedig a kristályegyedek által befoglalt homokszemcsék mennyisége alapján bontottam csoportokra a mintáimat.

5.1. A gipszrózsák csoportosítása

A **3-5. táblázatban** a különböző csoportosítási módok, valamint a gipszrózsák hasíthatóságának viszonyát és az általam ezekbe a csoportokba sorolt minták számát tüntettem fel.

3-4-5. táblázat - Különböző csoportosítási módok és azok viszonya

3. táblázat	Központi lap (db)	Véletlenszerű lap (db)	Gömbszerű aggregátumok (db)	Közel párhuzamos lapok (db)
Homokgazdag	X (1)	X (1)		
Homokszegény	X (3)	X (16)		X (1)
Köztes homoktartalom		X (1)	X (6)	

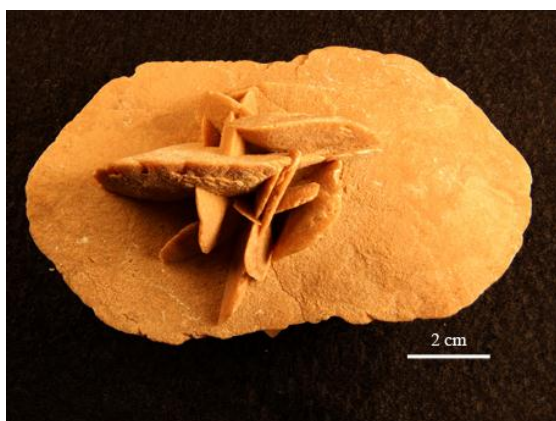
4. táblázat	Központi lap (db)	Véletlenszerű lap (db)	Gömbszerű aggregátumok (db)	Közel párhuzamos lapok (db)
{010} szerint kitűnő hasíthatóság	X (2)	X (17)	X (6)	X (1)
{010} szerint jó hasíthatóság	X (2)	X (1)		

5. táblázat	Homokszegény (db)	Homokgazdag (db)	Köztes homoktartalom (db)
{010} szerint kitűnő hasíthatóság	X (20)		X (7)
{010} szerint jó hasíthatóság		X (2)	

5.1.1. Csoportosítás alaki kritériumok alapján

A makroszkópos megfigyeléseim során a sivatagi rózsákat alkotó kristályegyedek sajátos kapcsolódási formája alapján 4 különböző csoportot különítettem el, amelyeket a különböző műszerekkel is megvizsgáltam.

5.1.1.1. I. csoport: Központi lappal rendelkező rózsák



11. ábra - Központi lappal rendelkező gipszrózsa felülnézeti képe (TUN-4-es minta)

Az ilyen típusú rózsákra jellemző, hogy a legnagyobb rozetta központi helyet foglal el, aminek a közepén, arra nagyjából merőlegesen, több, kisebb rozetta foglal helyet (11. ábra). Általában ezek a lapok csak rá nőnek a központi lapra, annak túloldalán nem folytatódnak, viszont egyes esetekben a nagy lapot keresztező rozetta a túloldalon azonos orientációval folytatódik.

5.1.1.2. II. csoport: Véletlenszerűen összekapcsolódó lapokból álló rózsák

Ennél a típusnál az összekapcsolódó lapok nem mutatnak semmilyen rendezettséget. Legtöbbször egy rózsán belül a közel azonos méretű lapok dominálnak, de előfordul, hogy néhány nagyobb lap is kifejlődik, de ezek sem foglalnak el központi helyzetet (12. ábra).



12. ábra - Véletlenszerűen kapcsolódó lapokból álló sivatagi rózsza (TUN-8-as minta)

5.1.1.3. III. csoport: Gömbszerű aggregátumokba rendeződő rózsák



13. ábra - Gömbszerű aggregátumokba rendeződött sivatagi rózsák (MEX-1-es minta)

E rózsáknál a nagyjából azonos méretű lapok szorosan egymáshoz kapcsolódva gömbszerű formákat alkotnak (13. ábra). Ezek a lapok általában már a gömb felszínétől 2-4 mm-re összekapcsolódnak és a köztük lévő rést 0,1–0,2 mm-es homokszemcsék töltik ki. Nem jellemző a nagy, különálló lap, ha mégis előfordul, akkor az általában a {010} hasadási lap mentén, sugárirányban repedezett. A lapok a gömb közepéből kiindulva



14. ábra - A rózsák közepén megfigyelhető üreg (MEX-4-es minta)



15. ábra - A gipszrózsák szélén található zárványmentes anhidrit kéreg (MEX-2-es minta)

sugárirányban nőnek, és a sérült rózsák közepén megfigyelhetünk egy – a rózsák méretétől függően – kisebb-nagyobb üreget (1–10 mm) (14. ábra). A rozetták végén minden esetben fehér, zárványmentes anhidrit kéreg van (15. ábra).

5.1.1.4. IV. csoport: Közel párhuzamos lapokban növő rózsák

Ez a típus az általam vizsgált sivatagi rózsák esetében csak egyszer fordult elő. Ilyenkor a növekedő lapok közel párhuzamosan helyezkednek el és egymással a rozetták közepénél kapcsolódnak össze (16. ábra). A homokszemcsék ebben az esetben egyenesen helyezkednek el a felszínen, a lapok nem zónásak.



16. ábra - Párhuzamosan elhelyezkedő kristálygyedekből felépülő rózsák (MAR-3-as minta)

5.1.2. Csoportosítás homoktartalom alapján

	Homokgazdag rózsák	Homokszegény rózsák	Köztes homoktartalmú rózsák
Homok tartalom (%)	50-60%	<30%	50-30%
Gipsz tartalom (%)	40-50%	>70%	50-70%

6. táblázat - Homok- és gipsztelítettség a különböző típusú rózsákban

5.1.2.1. Homokgazdag rózsák

A homokgazdag rózsák csoportjába tartoznak azok a rózsák, ahol a kristályegyedek belsejét kitöltő gipsz anyagába beágyazódott homokszemcsék a rendelkezésre álló hely legalább 50%-át kitöltik. Ilyenkor nem látni zónásságot (6. táblázat, 17. ábra).



17. ábra - Egy tipikus homokgazdag rózsza, lehasított lappal (TUN-1-es minta)

5.1.2.1.1. A hasadás minősége

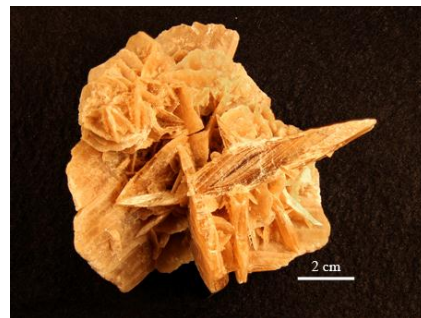
A pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatokhoz történő előkészítés során ezekből a rózsákból is próbáltam leválasztani egy megfelelő vastagságú darabot, a legjobb hasadási irány mentén. A nagy mennyiségű homok miatt nem sikerült tökéletes sík felszínt képeznem, a kristály, a homokszemcsék között más és más magasságban vált el egymástól, és bár az így kapott lap minden sík felülete azonos hasadási irány mentén vált le, a rozetta orientációját nehezebben lehetett meghatározni.

5.1.2.1.2. Befoglalt szemcsék

Itt a befoglalt homokszemcsék az egész rózsza felszínén és a belsejében egyenletes eloszlásban vannak jelen. Elgondolásom szerint a lapok növekedése közben a gipsz kristályosodásának sebessége nem volt elég nagy ahhoz, hogy a növekedés során a felszínen lévő szemcséket maga előtt tolja, így nem jöttek létre zónák, valamint ezeket a homokszemcséket többnyire tökéletesen körbenőtte az ásvány, nem látni mellettük üregeket.

5.1.2.2. Homokszegény rózsák

A homokszegény rózsák csoportjába tartoznak azok a rózsák, ahol a kristálygyedek belsejét kitöltő gipsz anyagába beágyazódott homokszemcsék a rendelkezésre álló hely maximum 30%-át kitöltik. Ebben az esetben az elhasított kristálygyedek felszínén jól elkülöníthető zónásság figyelhető meg (**6. táblázat, 18. ábra**).



18. ábra - Egy tipikus homokszegény sivatagi rózsák, az elhasított kristálygyeden látható zónákkal (TUN-18-as minta)

5.1.2.2.1. A hasadás minősége

A SEM-EDX vizsgálatokhoz szükséges hasítékok létrehozásakor a homokszegény rózsákról penge segítségével könnyedén le tudtam választani a kívánt lemezeket. A viszonylag kevés homokszemcse nem befolyásolta a gipszlap leválását, így tökéletes, sík lemezeket kaptunk, amin jól megfigyelhettük a szemcsék körbenövését és a többi hasadási lapot. Ezeknél a mintáknál a rozetták orientációjának meghatározását lényegesen könnyebben végre tudtam hajtani.

5.1.2.2.2. Befoglalt szemcsék

A homokszegény kristálygyedeinek belsejét a szemcsék nem töltik ki teljesen. A befoglalt szemcsék legtöbbször sávokba-zónákba rendeződnek. Két homoksáv között jól elkülöníthetjük a szemcséktől majdnem teljesen mentes, áttetsző gipsz-zónákat. Ezek a zónák a rozetták széleivel közel párhuzamosan helyezkednek el, kialakulásuk a gipszlap kristályosodásának különböző szakaszaihoz köthető. Gyors növekedéskor a rózsák maguk előtt tolják a környező homok szemcséit, majd amikor lelassul a kristályosodás sebessége, körbenövi őket. Amikor a rendszer újabb oldat-utánpótlást kap, a növekedés sebessége felgyorsul, így a folyamat kezdődik előlről. A kapott oldatok mennyiségétől függően jönnek létre vastagabb és vékonyabb sávok. Egyes esetekben előfordul, hogy a rozetta közepén és a szélén lévő sávok már nem párhuzamosak, ez azzal magyarázható, hogy a későbbi kristályosodási időszakban valamilyen hatásra megváltozott a kristály növekedésének iránya. A homokszemcsék által létrejött sávok a rozetta belseje felé is folytatódnak, ezzel megőrizve a gipszkristály egy korábbi növekedési szakaszában lévő „fantom-gipsz” formát.

A befoglalt szemcséket a gipsz általában nem növi körbe tökéletesen, sokszor marad mellettük egy üreg. Ennek a formája a gipszkristály növekedési lapjaihoz köthető {010}, {110} és {111} indexű formák.

5.1.2.3. Köztes homoktartalmú rózsák

A köztes homoktartalmú rózsák esetében a homokszemcsék a rendelkezésre álló hely legalább 30%-át töltik ki, maximálisan viszont ez az arány nem lehet nagyobb 50%-nál. Az elhasított kristályegyed belsejében enyhe zónásságot figyelhetünk meg. Legtöbbször 1-1, a kristály vastagságához képest elenyésző vastagságú gipszsáv figyelhető csak meg (19. ábra).

Ebbe a csoportba tartoznak a gömbszerű aggregátumokba rendeződött sivatagi rózsák is, mivel, bár az azokban található 1-3 mm vastag lapokban ~40%-ban figyelhetünk meg homokszemcséket, viszont az egész rózsza tömegéhez képest igen magas arányban (>50%) van jelen a homok (20. ábra).



19. ábra - köztes homoktartalmú rózsza elhasított kristályegyede, a rajta látható gyenge zónássággal (MAR-5-ös minta).



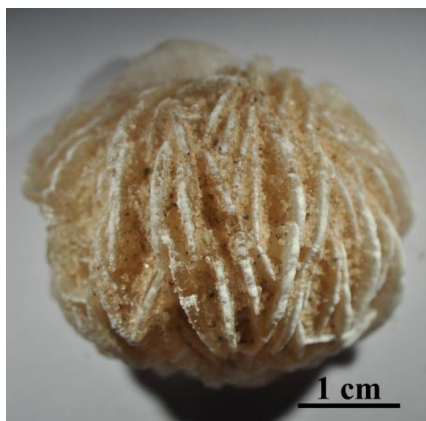
20. ábra - Gömbszerű aggregátumba rendeződött rózsza keresztben elhasított képe (MEX-2-es minta). A lépték mm-es osztásokat jelez

5.1.2.3.1. A hasadás minősége

Az ilyen típusú rózsák esetében a hasadás minősége több változótól függ. Ha a gömbszerű rózsáról van szó, a kristályegyedek a gömb közepe felé, sugár irányban többnyire kitűnően hasadnak, viszont az 1-3 mm vastag, sokszor egymást keresztező lapoknak köszönhetően a középpont felé haladva a hasadás minősége romlik. Más morfológiai típus esetében a hasadás a homokgazdag rózsákkal megegyező tulajdonságokat mutat, a magas homoktartalom miatt a hasadás síkja nem tökéletes.

5.1.2.3.2. A befoglalt szemcsék

A gömbszerű rózsák esetében a szemcsék nem rendeződnek sávokba, viszont a felszín közelében számuk egyre nő, valamint a rózsák felszínén, a rozetták között gyengén kötött formában összegyűlnek (21. ábra). A többi típus esetében a kristályegyedben található 1-2 zónát ugyan azzal a effektussal magyarázhatjuk, mint a homokszegény rózsáknál, vagyis a



21. ábra - Egy gömbszerű rózsák felületén látható, kristálygyedek között gyengén kötött homokszemcsék (MEX-2-es minta).

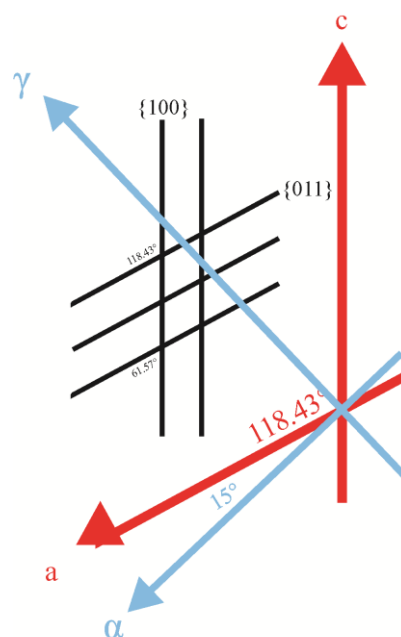
kristályosodás sebessége nagy volt, viszont később ez lelassult, és a növekedés folyamán ez az ütem maradt a döntő.

5.2. A gipszrózsák kristálygyedeinek orientációja

A pásztázó elektronmikroszkópos és polarizációs mikroszkópos vizsgálatok során, a (010) hasadási lapokon meghatározott $\{100\}$ és $\{011\}$ hasadási nyomvonalak lehetőséget adtak (ld. 4.5.5. fejezet) az egyes kristálygyedek orientációjának meghatározására. A tengelyirányokat így azonosítva látszik, hogy a kristályok c szerint lapítottak, a homokzónák pedig az a tengely és az α törésmutató közötti helyzetűek, ami megfelelhet az $\{111\}$ prizma (010)-on való nyomvonalának. Mivel a sivatagi rózsák minden esetben több, egymással véletlenszerűen összekapcsolódó kristályból állnak, ezért minden egyedi rozettának saját orientációja van.

A szögméréseket egy kifejezetten erre a célra gyártott programmal (ImageJ) végeztem számítógép segítségével, viszont a mérések során sok esetben

olyan szögeket kaptam, ami eltért a két hasadási irány által bezárt szögtől ($118,43^\circ$ és $61,57^\circ$), viszont a minták tüzetesebb átvizsgálása után megállapítottam, hogy ezek a gipszkristály sérüléséből és a kipergett homokszemcsék által kimart karcolásokból adódnak.



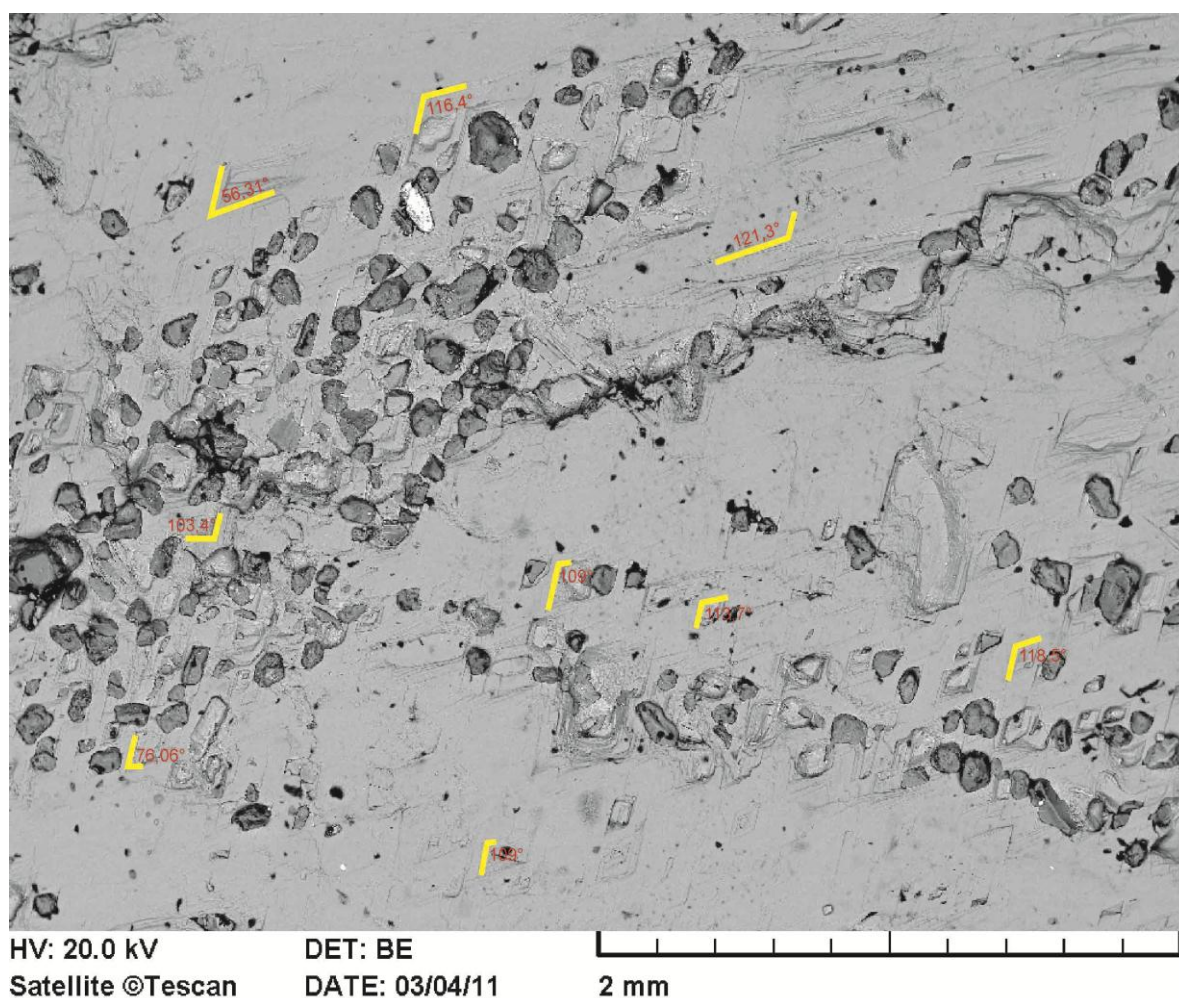
22. ábra - A (010) síkon látható a és c tengelyek és az $\{100\}$ és $\{011\}$ hasadási síkok, valamint az α és γ kioltások ideális viszonya (Kubovics, 1992)

A kristályegyedeknél a kristálytani b tengely merőleges a (010) síkra, az a és c tengely a (010) síkban húzódik, előbbi a $\{011\}$, utóbbi az $\{100\}$ hasadási irányok és a (010) lap metszészvonalával párhuzamos (22. ábra).

A homoktartalom alapján három csoportba sorolt gipszrózsák kristályainak hasadási szögeinek meghatározása típusonként különböző problémákba ütközik.

Legegyszerűbben a homokszegény rozettákat lehet vizsgálni, mivel itt a homokszemcsék nem, vagy csak kis mértékben befolyásolják a hasadás minőségét. Ennek egyik hátulütője, amikor a tökéletesen elhasított felszínen egyáltalán nem találunk merőleges, $\{100\}$ és $\{011\}$ hasadási lapokat, így ugyancsak nem orientálható a kristály. Illusztrációként szolgáljon a TUN-9-es minta egyik kristályegyedének orientációbecslése (23. ábra).

A 23. ábrán láthatjuk a TUN-9-es minta egyik rozettájának hasadási lapját, a rajta található, jól megfigyelhető hasadási irányokkal. Ez a rózsa a homokszegény típusba tartozik, jól látszódnak rajta a homokszemek alkotta zónák.



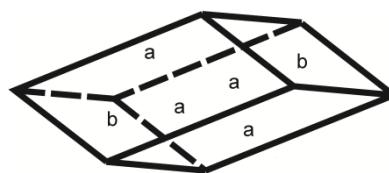
23. ábra - A TUN-9-es minta hasadási felszínéről készült BE kép, és a rajta található jellegzetes hasadási irányok szögei

A képen látható szögek a következők: $56,3^\circ$; $103,4^\circ$; $76,5^\circ$; $116,4^\circ$; $124,5^\circ$; $109,0^\circ$; $109,0^\circ$; $118,5^\circ$ és $113,7^\circ$. Jól látszik, hogy kisebb-nagyobb kilengésekkel, de az ideális szögek közelében vannak a mérések ($118,43^\circ$ és $61,57^\circ$). Ezek az eltérések ebben az esetben származhatnak a rossz felbontású képen történt, pontatlan mérésekből, a felszín egyenetlenségeiből, a hasadási lapokra történő rálátás különbségeiből, valamint ugyancsak származhatnak a puha gipszfelszín korábbi sérüléseiből is.

A homokgazdag rózsák esetében a már említett nehéz hasíthatóság miatt sokszor nem lehet szögeket számolni, ugyanis ilyenkor a gipsz nem csak a 3 kitüntetett irányban hasadhat, hanem más, független irányban eltörhet. Ezen kívül a homokszemek közötti kis mennyiségű gipszen nehéz találni vizsgálható hasadásokat.

A köztes homoktartalmú rózsáknál a nem gömbszerű elrendeződés esetében ugyanolyan problémába ütközünk, mint a homokgazdag rózsáknál, a túl magas homoktartalom miatt nem tudtuk tökéletesen elhasítani a kristályegyedeket. A gömbszerű rózsáknál a kristályok 1-3 mm-es vastagsága, valamint a viszonylag magas homoktartalom ugyancsak megnehezíti a szögértékek számolását.

Az általunk megfigyelt, torzult kristályegyedekre jellemző, hogy egy $\{h0l\}$ vagy $\{001\}$ véglappal tompított monoklin, $\{hkl\}$ vagy $\{hk0\}$ prizmából állnak (24. ábra). A prizma lapjait a kioltások segítségével pontosítottuk, és alapján az $\{111\}$ indexű, vagy egy más, ennél laposabb, de ezzel azonos zónába tartozó formaként valószínűsíthetjük.



24. ábra - Egy véglapból ('b') és egy prizmából ('a') álló, torzult gipszkristály

A kristálynövekedés mechanizmusának pontosításában sokat segíthet a zónákba rendeződött homokszemcsék computer-tomográfiás (CT) vizsgálata, ami kirajzolhatná a korábban említett „fantom-gipsz” határait (egykori kristálynövekedési felszín), valamint a különböző irányokban történő növekedés üteméről is adhatna információt.

Összefoglalás

Munkám során a Magyarországon hozzáférhető sivatagi rózsák ásványtani vizsgálatát végeztem el. A befoglalt törmelékes szemcsék és a befoglaló, oldatból kristályosodó gipsz viszonyát igyekeztem minél részletesebben megfigyelni (anyagi minőség, morfológia és textúra).

Az olykor bizonytalan lelőhelyekről származó gipsz rózsákat (összesen 32 db) alakjuk, homoktartalmuk és a homok eloszlása alapján csoportosítottam. Morfológia szerint: központi lappal rendelkező rózsák; véletlenszerűen összekapcsolódó lapokból álló rózsák; gömbszerű aggregátumokba rendeződő rózsák; közel párhuzamos lapokban növő rózsák. Homoktartalom alapján: homokgazdag rózsák; homokszegény rózsák; köztes homoktartalmú rózsák.

A hasadási irányok megfigyelése segítségével próbáltam a kristályegyedeket orientálni és további célom a lencse alakú kristályegyedeket határoló kristályformák pontosabb meghatározása.

Bízom benne, hogy a geológus szemlélet anyag-alak-folyamat rendszerének első két pontjának feltérképezése után, a szakirodalom bővebb felhasználásával a rózsák keletkezéséről is tudok majd újabb részletekkel szolgálni.

Irodalomjegyzék

- Balogh K. (szerk. 1991) - Szedimentológia II., Akadémiai Kiadó, Budapest, 1991, pp. 104-111.
- Gaines, R.V., Skinner, H.C.W., Foord, R.E., Mason, B., Rosenzweig, A. (1997) – Dana's New Mineralogy, John Wiley and Sons Inc., 1997 pp. 599-601.
- Koch, S., Sztrókay, K. (1967) – Ásványtan I-II, Nemzeti Tankönyvkiadó, 1994 pp. 866-868.
- Kubovics, I. (1992) – Kőzetmikroszkópia II, Tankönyvkiadó, 1993 pp. 152-153.
- Strydom, C.A., Hudson-Lamb, D.L., Potgieter, J.H., Dagg, E. (1995) - The thermal dehydration of synthetic gypsum, *Thermochimica Acta* 269/270, 1995 pp. 631-638.
- Szakáll, S. (2005) – Ásványrendszertan, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2005 pp. 175-176.
- Van Driessche, A.E.S., Gracia-Ruiz, J.M., Tsukamoto, K., Patiño-Lopez, L.D., és Satoh, H. (2011) - Ultraslow growth rates of giant gypsum crystals, *PNAS* vol. 108, No.38., 2011, pp. 15721-15726.
- Watson, A. (1985) - Structure, chemistry and origins of gypsum crusts in southern Tunisia and central Namib Desert. *Sedimentology*, 32, pp. 855-875.

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm témavezetőim, Tóth Erzsébet és Weiszbürg Tamás segítségét, a SEM képekért és mérésekért köszönet Bendő Zsoltnak és az XPD-s mérésekért Tóthné Király Juditnak. Köszönet a rózsákért F. Nagyné Gulyás Klárának, Sági Edinának, Lóránth Csanádnak, Pálinkás Lászlónak és az ELTE TTT Természettajzi Múzeumnak. Ezen kívül köszönöm a segítséget az ásványtani tanszék összes munkatársának.