

Kalcium-szilikátok a polgárdi Szár-hegy wollastonitos szkarnjából

Calcium silicates from the wollastonite skarn of the Szár Hill, Polgárdi, Hungary

FEHÉR Béla^{1,*} és SAJÓ István²

¹ Herman Ottó Múzeum, Ásványtár, 3525 Miskolc, Kossuth u. 13.

² Magyar Tudományos Akadémia, Kémiai Kutatóközpont,
1025 Budapest, Pusztaszeri út 59–67.

* E-mail: feherbela@axelero.hu

Abstract

The Devonian Polgárdi limestone is cross-cutted by Permian (?) rhyolite and Triassic (?) andesite dykes. Considerable skarn mineralization developed along the contacts between limestone and andesite dykes in two sharply separated zones: 1) diopside-vesuvianite zone near the andesite dykes and 2) wollastonite zone towards the limestone. This paper gives data about mineralogy and genesis of the rock-forming mineral (wollastonite) of the latter zone as well as its low temperature calcium silicates (apophyllite, thaumasite, okenite, nekoite and an unknown hydrous Ca silicate).

Wollastonite forms granular (Fig. 3) or radial (Fig. 7) aggregates consisting of short prismatic (Fig. 4) and tabular, lath shaped crystals (Fig. 5) elongated on [010] up to 2 mm in length. Chemical formula of wollastonite is $(\text{Ca}_{0.89}\text{Mg}_{0.05}\text{Fe}_{0.01}\text{Al}_{0.01})_{\Sigma=0.96}\text{Si}_{1.02}\text{O}_3$ according to the wet chemical analysis given in Table I. X-ray powder diffraction data are shown in Table II.

In the wollastonite skarn the most abundant low temperature calcium silicate is apophyllite. It forms colorless, short columnar or pseudocubic crystals forming crusts on the fissures of the wollastonite skarn. Observed forms are {001}, {100} and {111} (Fig. 9). Apophyllite has white streak, pearly luster on {001} and vitreous luster on the other faces. Its chemical composition (Table IV, column 1): $(\text{K}_{0.99}\text{Na}_{0.01})_{\Sigma=1.00}\text{Ca}_{3.94}\text{Si}_{8.03}\text{O}_{20}[(\text{OH})_{0.96}\text{F}_{0.04}]_{\Sigma=1.00} \cdot 8.90\text{H}_2\text{O}$, which corresponds to the hydroxyapophyllite species close to the ideal end-member composition. Its X-ray powder diffraction data are given in Table V.

Thaumasite forms colorless, simple hexagonal columnar crystals up to 2 mm in length (Fig. 11) or white, tangled aggregates consisting of minute acicular crystals. Its X-ray powder diffraction data are shown in Table VI.

Okenite is white with pearly or silky luster. It forms typical “cotton ball” like aggregates (Figs. 12, 13), the size of which are usually about 1 mm, but rarely can reach 3 mm in diameter. Okenite crusts are rather common on minerals developed earlier (calcite, apophyllite). Its chemical composition (Table IV, column 3): $(\text{Ca}_{4.98}\text{Na}_{0.01}\text{K}_{0.01})_{\Sigma=5.00}\text{Si}_{9.00}\text{O}_{23} \cdot 10.14\text{H}_2\text{O}$. X-ray powder diffraction data are given in Table VII.

Nekoite appears as colorless, acicular, 1-2 mm sized crystals which can rarely reach 1 cm in length. Crystals are arranged into radial groups with silky luster (Fig. 15). Its chemical composition (Table IV, column 5): $(\text{Ca}_{3.16}\text{Fe}_{0.01})_{\Sigma=3.17}\text{Si}_{5.92}\text{O}_{15} \cdot 7.13\text{H}_2\text{O}$. X-ray powder diffraction data are shown in Table VIII.

In the wollastonite skarn the most interesting mineral is an unknown, hydrous calcium silicate (SzH2 sample). In its chemical composition the Ca : Si ratio is equal to 6:1. SzH sample forms globular aggregates up to 2 mm in diameter consisting of minute acicular crystals (Fig. 16).

Wollastonite skarn does not appear as continuous zone in the contact aureole but it forms small segregations (up to 1 m in thickness) between the diopside-vesuvianite zone and the limestone. Wollastonite skarn developed where the limestone had sufficient permeability for the infiltration of silica rich aqueous fluids. Wollastonite formed at the maximum temperature of metamorphism by reaction between carbonate minerals (calcite) of the limestone and silica dissolved in the infiltrating fluids. Finally low temperature carbonates (calcite, aragonite) and hydrous calcium silicates (apophyllite, thaumasite, okenite, nekoite and SzH2 phase) deposited in the fissures of the skarn by retrograde fluid infiltration.

Összefoglalás

A polgárdi Szár-hegy fő tömegét alkotó, devon korú mészkövet (Polgárdi Mészkő Formáció) perm (?) korú riolit- és triász (?) andezittelérek járják át, mely utóbbiak a mészkőben jelentős szkarnosodást okoztak. Az andezittelérek és a mészkő között két, egymástól markánsan elkülönülő szkarnos öv különböztethető meg: az andezittelérekhez közelebb fejlődött ki a diopszidos-vezuviános zóna, míg távolabb egy wollastonitos szkarnöv figyelhető meg. Jelen tanulmány ez utóbbi közettestet közetalkotó ásványának (wollastonit) és a benne lévő, alacsony hőmérsékletű kalcium szilikátoknak az ásványtani és genetikai vizsgálatáról szól.

A wollastonit a *b*-tengely szerint nyúlt, rövid oszlopos, illetve táblás, léces termetű kristályokat alkot, melyek szemcsés halmazokba rendeződnek, de a szkarn repedései mentén sugaras aggregátumokban is előfordul. A kristályok hossza rendszerint mm alatti, de a sugaras halmazokat alkotó egyedek akár 2 mm hosszúak is lehetnek. Az I. táblázatban közölt nedves kémiai elemzésből számított képlete: $(Ca_{0,89}Mg_{0,05}Fe_{0,01}Al_{0,01})_{\Sigma=0,96} Si_{1,02} O_3$. A szár-hegyi wollastonitról készült röntgen-pordiffrakciós felvétel adatait a II. táblázatban közöljük.

Az alacsony hőmérsékletű kalcium-szilikátok közül legnagyobb mennyiségben az apofillit fordul elő a wollastonitos szkarnban. Ez az ásvány szintelen, zömök oszlopos vagy álhexaédres kristályokból álló kérges alkot a kőzet repedéseiben. Kristályai formákban szegények; a megfigyelt kristályformák: {001}, {100} és {111}. Az apofillit karca fehér, a prizmalapok és a dipiramisok üvegfényűek, míg a bázislap gyöngyházfényű. Kémiai elemzése (IV. táblázat, 1. oszlop) alapján összetétele: $K_{0,99}Na_{0,01})_{\Sigma=1,00}Ca_{3,94}Si_{8,03}O_{20} [(OH)_{0,96}F_{0,04}]_{\Sigma=1,00} \cdot 8,90H_2O$. Eszerint a szár-hegyi minta a hidroxiafopillit fajt képviseli. Röntgen-pordiffrakciós felvételét az V. táblázatban közöljük.

A taumazit is formákban szegény, hatszöges oszlopos kristályokat alkot 2 mm-es hosszúságig, vagy pedig apró, mm alatti taumazittűk kusza halmaza laza aggregátumokat képez. Kristályai szintelenek, aggregátumokban fehér színű. Röntgen-pordiffrakciós adatait a VI. táblázatban adjuk meg.

Az okenit fehér színű, gyöngyház- vagy selyemfényű, gyapotcsomóra emlékeztető gömbös aggregátumokat formáz 3 mm-es átmérőig, vagy pedig bevonatokat alkot a korábban kivált ásványokon. Kémiai összetétele a IV. táblázat 3. oszlopa alapján: $(Ca_{4,98}Na_{0,01}K_{0,01})_{\Sigma=5,00} Si_{9,00} O_{23} \cdot 10,14H_2O$. Röntgen-pordiffrakciós adatait a VII. táblázatban találhatók meg.

A nekoit általában 1-2 mm-es (kivételesen akár 1 cm-es) szintelen, tús kristályokat képez, melyek sugarasan elrendeződve selymes fényű aggregátumokat alkotnak. Kémiai összetétele a IV. táblázat 5. oszlopa alapján: $(Ca_{3,16}Fe_{0,01})_{\Sigma=3,17} Si_{5,92} O_{15} \cdot 7,13H_2O$. Röntgen-pordiffrakciós adatait a VIII. táblázatban közöljük.

A paragenézis legérdekesebb és legkritikább tagja egy eddig még ismeretlen víztartalmú Ca-szilikát (SzH2 minta), melyben a Ca : Si arány hozzávetőlegesen 6:1. Ez az ásvány 1-2 mm-es, szintelen, gömbös-szálas aggregátumokat formáz.

A wollastonitos szkarn nem alkot folyamatosan követhető zónát az aureolában, hanem csak kisebb szegregációk formájában fordul elő, így ezen szkarnöv kialakulását infiltrációs

metaszomatózissal magyarázzuk. A wollastonitos szkarn valószínűleg csak ott tudott kialakulni, ahol a mészkő permeabilitása elég nagy volt az infiltrálódó fluidumok átengedéséhez. A wollastonit a metamorfózis hőmérsékleti csúcsán képződött a protolit karbonátásványainak (kalcit) és a beáramló fluidumban oldott SiO_2 reakciójából. Ezután retrográd fluidumáramlás hatására karbonátosodás és hidratációs folyamatok indultak be, melynek eredményeként alacsony hőmérsékletű, karbonátokkal (kalcit, aragonit) és víztartalmú kalcium-szilikátokkal (apofillit, taumazit, okenit, nekoit, SzH_2 fázis) jellemzett ásványgyűttes alakult ki a kőzet repedéseiben.

1. Bevezetés

A Polgárdi, Szabadbattyán és Kőszárhegy között elhelyezkedő Szár-hegy már a múlt század elején magára vonta a geológusok figyelmét (a részletes bibliográfiai adatokat lásd: Lelkesné Felvári, 1978), mivel földtanilag elszigetelt helyzetű, feltehetően középső devon korú mészkőösszetétel felszíni kibúvása alkotja (Polgárdi Mészkő Formáció). E képződménybe magmás kőzettestek nyomultak be, melyeket kőzettanilag két típusba lehet sorolni. Az első típusba az ún. gránitporfirtelére (riolittelére) tartoznak, melyek kora karbon (Lelkesné Felvári, 1998), vagy alsó perm (Horváth & Ódor, 1989). E kőzettestekhez kontaktmetamorf jelenségek nem kapcsolódnak. A magmás intrúziók másik csoportját azok az andezittelerek alkotják, amelyek a mészkőben helyenként jelentős szkarnosodást okoztak. Ezen andezittelerek kora erősen vitatott; radiometrikus kormeghatározás alapján Horváth & Ódor (1989) a triászba sorolja, de Fülöp (1990) paleocénnek, míg Lelkesné Felvári (1998) eocénnek tartja őket.

Az andezittelerekhez kapcsolódó szkarnosodás korábban csak fúrásokból volt ismert (Dunkl, 1983), később azonban e képződményeket a bányászat feltárta, s így a felszínen is tanulmányozhatókká váltak. Az andezit és a mészkő között két, egymástól markánsan elkülönülő szkarnos öv különböztethető meg: az andezittelerekhez közelebb fejlődött ki a diopszidos-vezuviános zóna, melynek egy részét Horváth & Ódor (1989) az andezit endoszkarnjának tartja, míg távolabb egy wollastonitos szkarnöv figyelhető meg, általában csak törmelékben.

A szkarnos övek és ezen belül a wollastonitos szkarn ásványairól ez ideig nagyon kevés ásványtani vizsgálat készült. A wollastonitos szkarnhoz kapcsolódó alacsony hőmérsékletű szilikátok közül az okenitet és a nekoitot Fehér & Sajó (2000) ismertette röviden. A piroxenoid-csoporttal Weiszbürg (1987) foglalkozott doktori disszertációjában, azonban a polgárdi wollastonitról nem közöl adatokat, csak a recski wollastonitot vizsgálta. Jelen dolgozatban a wollastonitos szkarn kőzetalkotó ásványával, a wollastonittal, illetve a hozzá kapcsolódó alacsony hőmérsékletű kalcium-szilikátokkal foglalkozunk részletesen.

Végezetül fontosnak tartjuk megemlíteni azt, hogy az 1950-es évektől kezdődően világszerte megindult a wollastonit ipari célú felhasználása és így kutatása is. Mivel ipari méretű wollastonittelepek csak kontaktmetamorfózis útján jöhetnek létre, e földtani képződmények képezik a kutatás tárgyát. A wollastonit magas világpiaci árával magyarázható, hogy például Kanadában még piroxenitben lévő wollastonitos xenolitokat (!) is kutatásra érdemesnek tartanak. A wollastonitot főleg a kerámiaiparban, a festékiparban, a műanyagiparban, az autóiparban és az építőiparban hasznosítják, de jelentőségét növeli, hogy az azbeszt helyettesítésére is alkalmas. Mindezek miatt a wollastonitigény évről

évre növekszik, s 2000-ben már kb. 500-550 000 tonna volt a kitermelt mennyisége Földünkön (Virta, 2000). A hazai gyakorlatban az ipari hasznosítás lehetősége fel sem merült, így a Szár-hegy wollastonitos szkarnjának megkutatására sem fordítottak figyelmet. A mészkőbányászat során a wollastonit meddő terméknek minősül, pedig – ha elegendő mennyiségben van jelen (erre az eddigi felszíni kibukkanásai nem sok reményt adnak) – jó minősége révén járulékos nyersanyag (melléktermék) is válhatna belőle.

2. Alkalmazott vizsgálati módszerek és a vizsgált minták

Az elektronmikroszkopos elemzések a Modenai Egyetem Földtudományi Tanszékén készültek ARL-SEMQ elektronmikroszkopdal, 15 kV gyorsítófeszültség és 10 nA mintaáram mellett, 30 µm-es sugárátmérővel. Felhasznált standardok: albit (Na és Si), mikroklin (K és Al), $An_{70}-Ab_{30}$ összetételű szintetikus üveg (Ca), paracelzián (Ba), 3,6% SrO-tartalmú szintetikus anortitos üveg (Sr), CaF_2 (F) és természetes olivin (Mg és Fe).

A pásztázó elektronmikroszkopos felvételek a Miskolci Egyetem Fém-tani Tanszékén készültek AMRAY 1830I elektronmikroszkoppal.

A röntgen-pordiffrakciós vizsgálatok a Magyar Tudományos Akadémia Kémiai Kutatóközpontjának Röntgen Laboratóriumában készültek, Philips PW1820 röntgen-diffraktométerrel, CuK_{α} -sugárzással, grafit monokromátorral, $0,04^{\circ} 2 \theta/sec$ léptetési sebesség, 45 kV gyorsítófeszültség és 30 mA csőáram mellett.

Az ásványok elemi cellájának rácsállandóit a röntgen-pordiffrakciós felvételekből a UnitCell programmal (Holland & Redfern, 1997) számítottuk ki.

A vizsgált minták a miskolci Herman Ottó Múzeum ásványgyűjteményében találhatóak meg, a következő leltári számok alatt: apofillit (23087, 25572, 25621), taumazit (23090, 23092, 25764), okenit (22088, 22760, 23088, 25572), nekoit (24442, 25187).

3. A wollastonitos szkarn jellemzése

A polgárdi Szár-hegyen a wollastonitos szkarn a metasomatikus hatást nem mutató mészkő, illetve a kontakt aureola belső övét alkotó diopszidos-vezuviános szkarn között helyezkedik el. Kiterjedésére csak a törmelékben gyűjtött anyagból következtethetünk, mivel ezt a kőzettestet szálban nem sikerült megfigyelni. Eszerint a wollastonitos szkarn több 10 cm-es vastagságú lehet, helyenként talán az 1 m-es szélességet is eléri, de nem alkot folyamatosan követhető zónát az aureolában, inkább csak kisebb, különálló testek formájában fordulhat elő.

A wollastonitos szkarn fő tömege monomineralikusnak tekinthető, mivel egyetlen kőzetalkotó ásványa maga a wollastonit. Ezt támasztják alá a kőzetről készült nedves kémiai elemzés adatai is (I. táblázat). Az elemzésre vett mintát úgy választottuk, hogy abban ne legyenek másodlagos ásványokkal kitöltött erek. A kapott eredmény lényegében megfelel maga a wollastonit ásvány összetételének. Az elemzésből az is jól látható, hogy az elsődleges kalcit mennyisége elenyésző, még akkor is, ha az 1,04% izzítási veszteséget teljes egészében a karbonáttartalomnak tulajdonítjuk. Mikroszkópi megfigyelések alapján a wollastonitos szkarnban előforduló progresszív metamorf ásványok: uralkodóan wollastonit, alárendelten kalcit, diopszid és vezuvián. Ezek a megfigyelések a szkarn azon részeire érvényesek, ahol a protolit mészkő volt; ez teszi ki egyébként e szkarnos övnek a legnagyobb részét. Egyes helyeken azonban az figyelhető meg, hogy a

1. ábra. Wollastonitos és diopszidos sávok váltakozásából álló kőzet, mely megőrizte a mészkő és dolomit protolit metasomatózis előtti rétegződését. A példány hosszúsága: 15 cm. Fotó: Kulcsár G. Rövidítések: Di = diopszid, Wo = wollastonit.

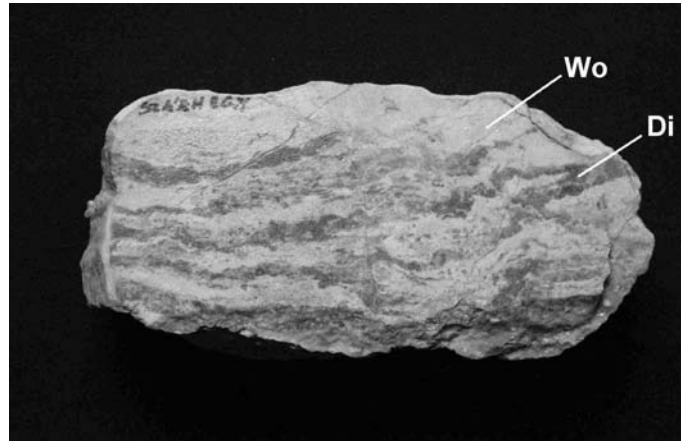
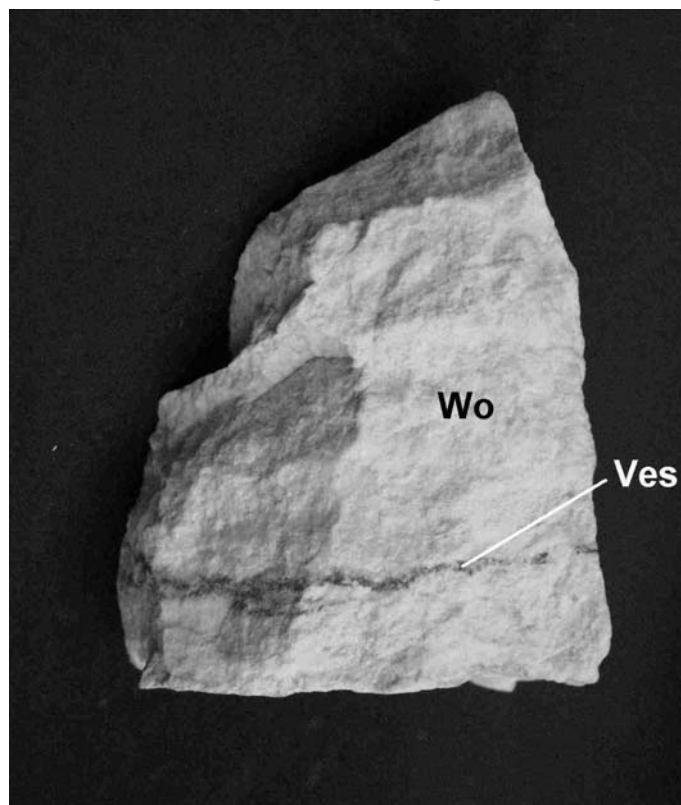


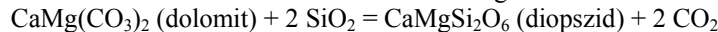
Fig. 1. Skarn rock consisting of alternating layers of wollastonite and diopside which preserved the original, premetamorphic bending of limestone and dolomite protoliths. Length of the sample: 15 cm. Photo: G. Kulcsár. Abbreviations: Di = diopside, Wo = wollastonite.

2. ábra. Vezuviános ér a wollastonitos szkarnban, mely feltehetően az eredeti mészkő protolit agyagos betelepüléséről tanúskodik. A példány magassága: 8 cm. Fotó: Kulcsár G. Rövidítések: Ves = vezuvián, Wo = wollastonit.

Fig. 2. Vesuvianite veinlet in the wollastonite skarn which probably is the document of an argillaceous interbedding in the limestone protolith. Height of the sample: 8 cm. Photo: G. Kulcsár. Abbreviations: Ves = vesuvianite, Wo = wollastonite.

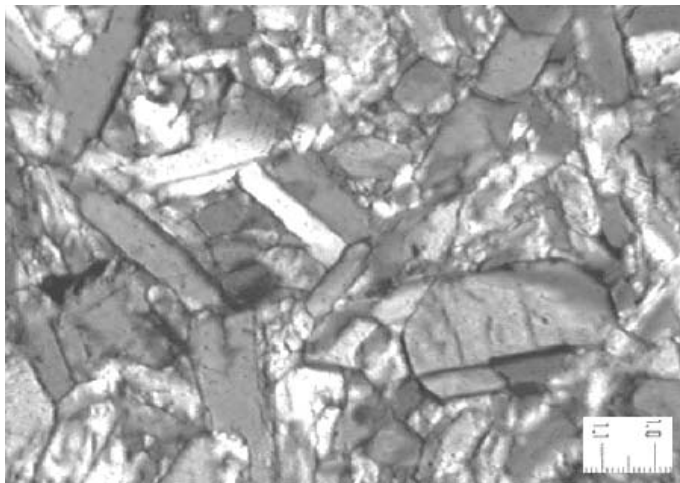


wollastonitos rétegek diopszidos sávokkal váltakoznak (1. ábra). Ezekben az esetekben a protolit mészkő és dolomit váltakozásából állt, s az eredeti rétegződés a metasomatózis után is megmaradt, ugyanis a kalcit wollastonittá, míg a dolomit diopsziddá alakult át. Ez utóbbi átalakulás a következő reakció szerint ment végbe:



Az előzőhöz teljesen hasonlóan – bár jóval ritkábban – vezuviánerek is megfigyelhetők a wollastonit-szkarnban (2. ábra), melyek képződése valószínűleg a mészkő-protolitban lévő agyagos közbetelepülésekkel lehetett kapcsolatban.

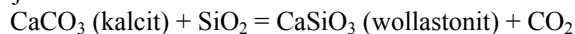
A wollastonitos szkarn szövetét egyedül a wollastonitkristályok alakja, mérete és elhelyezkedése szabja meg. Eszerint a szár-hegyi kőzet szövege Spry (1969) terminológiáját használva keresztező-granoblasztos (3. ábra). A wollastonit hipidioblasztos, ritkábban idioblasztos kristályokat alkot, melyek hossza általában mm alatti. E kristályok orientálatlanul, tulajdonképpen keresztül-kasul (egymást keresztezve) helyezkednek el a kőzetben.



3. ábra. A wollastonitos szkarn szöveti képe (keresztező-granoblasztos szövet). 1 nikol. Fotó: Má dai F.

Fig. 3. Textural image of the wollastonite skarn (decussate granoblastic texture). Hypidioblastic columnar wollastonite crystals in decussate arrangement. 1 nicol. Photo: F. Má dai.

A wollastonit képződése a metamorf kőzettanban klasszikusnak számító reakció-egyenlet szerint zajlott le:



A fenti reakció azonban kétféle módon mehet végbe, attól függően, hogy az egyenlet bal oldalán szereplő reagensek közül a SiO_2 mit takar.

1) A SiO_2 jelenthet kvarcot, ebben az esetben a wollastonit a kalcit és a kvarc reakciójából jön létre. E két ásvány csak akkor lép reakcióba egymással, amikor vagy a CO_2 -gazdag fluidumfázist a H_2O jelenléte erősen felhígítja, vagy amikor a CO_2 -gazdag fluidum nyomása lecsökken. Ez legtöbbször sekély mélységű kontaktmetamorfózis esetében valósul meg (Winkler, 1976). Regionális metamorfózis esetén csak kivételes esetekben képződik wollastonit, mégpedig ott, ahol a mellékkőzetekből származó víz benyomul a karbonátos kőzetek vékony rétegeibe és felhígítja a fluidumfázis CO_2 -koncentrációját. Ezért nem meglepő, hogy nem található wollastonit a regionális metamorfózis legmagasabb hőmérsékletén képződött kőzetekben sem, azaz a kalcit és a kvarc egymás mellett stabil marad. Ilyen kőzetekben csak néhány wollastonit-előfordulás ismert,

I. táblázat. A wollastonitos szkarn kémiai összetétele (tömeg%). Elemző: Fehérvári I.
Table I. Chemical composition of the wollastonite skarn (in weight per cent). Analyst: I. Fehérvári.

SiO ₂	52,90
Al ₂ O ₃	0,50
Fe ₂ O ₃ + FeO	0,57
MnO	0,00
MgO	1,77
CaO	43,40
Na ₂ O	0,00
K ₂ O	0,00
izz. v. / LOI	1,04
Össz. / sum	100,18

izz.v.: izzítási veszteség / LOI: loss of ignition

s a wollastonittartalmú kőzetrétegek ekkor is csak néhány cm vastagok. Ilyen vékony rétegekben a környező kőzetekből belépő víz hígítja a wollastonit képződése által felszabadított CO₂ koncentrációját. Ez egyben arra is utal, hogy a CO₂ erős hígulása nem történik meg, ha a tűzköves mészkő rétegei nagyobb vastagságúak (Winkler, 1976).

2) A wollastonit képződésének második esetében a fenti egyenletben szereplő SiO₂ nem kvarcot, hanem a kontaktmetaszomatózis során beszivárgó fluidumfázisban oldott kovasavat jelöl. Ebben az esetben tehát a fluidumfázis nemcsak katalizátora a CaCO₃ + SiO₂ reakciónak, hanem egyik résztvevője is.

A polgárdi Szár-hegy wollastonitos kőzete – földtani helyzete és mérete alapján – kontaktmetamorf/metaszomatikus hatásra alakult ki. A kérdés csak az, hogy a fent vázolt két mechanizmus közül melyik módon, azaz a SiO₂ miként vett részt a reakcióban. Két bizonyíték is azt támasztja alá, hogy a SiO₂ infiltrációs metaszomatózis útján került a rendszerbe. Az első bizonyíték a wollastonitos szkarn rendkívüli tisztasága. Fluidumbeszivárgás nélkül ugyanis a mészkőből képződő wollastonit mennyiségét a kvarctartalom határolja be, s így kalcit-wollastonitmárványok jönnek létre, általában alacsony wollastonittartalommal. A majdnem tiszta wollastonitszkarn képződése azonban azt követeli meg, hogy a protolitban a kalcit és a kvarc moláris részaránya kb. 1:1 legyen. Ha ez nincs így, akkor a SiO₂-komponensnek metaszomatikusan kellett beáramolnia a szkamba. A szár-hegyi wollastonitos szkarn tisztasága és az elsődleges kalcit általános hiánya arra utal, hogy a kalcit a metaszomatikusan beáramlott SiO₂-vel lépett reakcióba, melynek eredményeként wollastonit képződött. Az infiltrációs eredet másik bizonyítéka az, hogy a Szár-hegy metaszomatózist nem szenvedett mészkőve nem tartalmaz jelentős mennyiségben kvarcot.

Kérdésként még az merülhet fel, hogy a beszivárgó fluidumok az andezites magmából (*internal fluid*), vagy pedig a mellékkőzetekből (*external fluid*) származnak-e. Erre egyértelmű választ az elsődleges karbonátok és a wollastonit oxigénizotóp- és szénizotóp-adataiból nyerhetnénk (lásd például Fernández-Caliani & Galán, 1998). Ezek hiányában csak feltételezni tudjuk, hogy a metaszomatizáló fluidumok – valószínűsíthető jelentős SiO₂-tartalmuk alapján – az andezites magmából származnak. E fluidumok összetételének pontosabb meghatározása folyadékzárvány-vizsgálatokat igényelne.

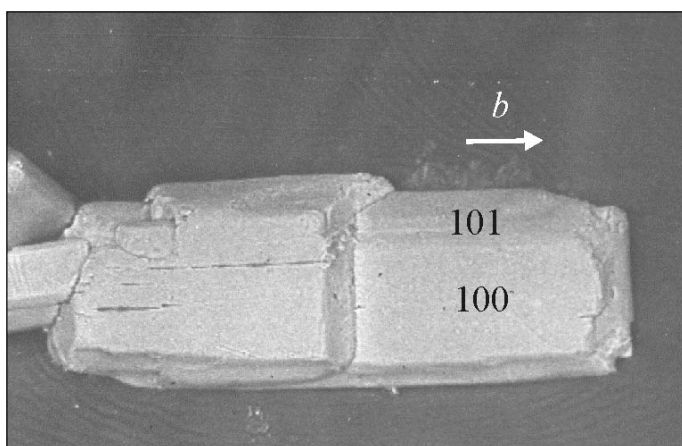
4. A wollastonit ásványtani leírása

A wollastonit – mint köztudott – a láncsilikátok (inoszilikátok) alosztályába tartozik. Szerkezetének alapvető építőelemében, a szilikátláncban minden harmadik szilikáttetraéder van azonos pozícióban, eltérően a piroxénektól, ahol a lánc minden második tetraédere azonos helyzetű. A két szerkezet különbsége még, hogy amíg a piroxéneknél a szilikátláncok a [001] irányban futnak, addig a wollastonitban ezek a láncok a [010] irányba mutatnak. A piroxénnel való szerkezeti hasonlóság miatt a wollastonitot és más, nem kettős periódusú, de egyszerű tetraéderláncokból felépülő szilikátokat Berman 1937-ben piroxenoidoknak nevezte el, s ez az elnevezés máig fennmaradt.



4. ábra. Rövid oszlopos wollastonitkristályok. Pásztázó elektronmikroszkópos felvétel. Képszélesség: 0,25 mm. Fotó: Kovács Á.

Fig. 4. Short prismatic wollastonite crystals. SEM image. Width of the picture: 0.25 mm. Photo: Á. Kovács.



5. ábra. Léces termetű wollastonitkristály. Pásztázó elektronmikroszkópos felvétel. Képszélesség: 0,75 mm. Fotó: Kovács Á.

Fig. 5. Lath shaped wollastonite crystal. SEM image. Width of the picture: 0.75 mm. Photo: Á. Kovács.

A korábbi szakirodalomban (lásd például Deer *et al.*, 1962a) a wollastonitnak három módosulatát különböztették meg: pseudowollastonitnak (β -wollastonitnak) nevezték a magas hőmérsékletű, álhexagonális, triklin kristályrendszerű módosulatot; a

parawollastonit (α' -wollastonit) az alacsony hőmérsékletű, monoklin módosulat neve volt, míg maga a wollastonit (illetve α -wollastonit) kifejezés az alacsony hőmérsékletű, triklin változatot jelölte. Manapság a wollastonit szerkezetében mutatkozó különbségeket politípusjelekkel fejezzük ki. Jelenleg a következő wollastonit-politípusokat ismerjük: wollastonit-1A, -2M, -3A, -4A, -5A és -7A (Henmi *et al.*, 1983; a politípusjelek Nickel, 1993 szerint). A különböző politípusok valójában a láncelrendeződési hibákból kialakuló szerkezetek (Weiszbürg, 1987). Igen gyakori, hogy egy adott kristályon belül többféle rövidtávú rendezettség (többféle politípus) is kialakul. Mindez meglehetősen bonyolulttá teszi az ásvány szerkezeti jellemzőinek leírását, melyre a polgárdi minta esetében jelen kereteink között nem is vállalkozunk.

6. ábra. Léces termetű wollastonitkristály, melyen jól megfigyelhetők a tökéletes hasadás síkjai. Pásztázó elektronmikroszkópos felvétel. Képszélesség: 1,64 mm.

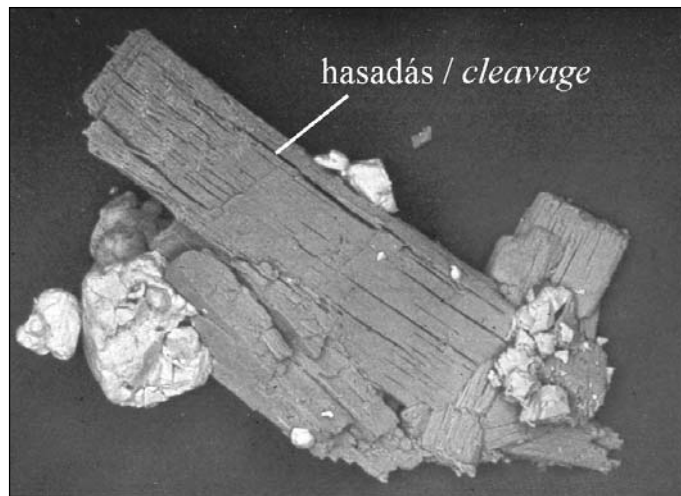
Fotó: Kovács Á.

Fig. 6. Lath shaped wollastonite crystal with planes of perfect cleavage. SEM image.

Width of the picture:

1.64 mm.

Photo: Á. Kovács.

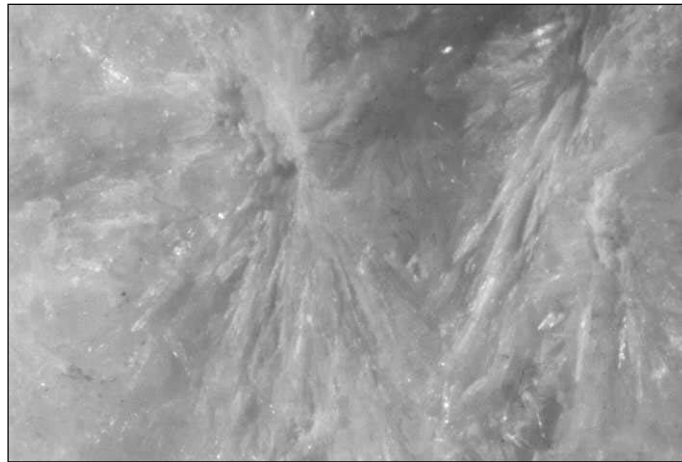


7. ábra. Tűs wollastonitkristályokból álló sugaras halmazok. Képszélesség: 5 mm.

Fotó: Szakáll S.

Fig. 7. Acicular wollastonite crystals in radial aggregates. Width of the picture: 5 mm.

Photo: S. Szakáll.



A Szár-hegyen a wollastonit a *b*-tengely szerint nyúlt, rövid oszlopos (4. ábra), illetve táblás, léces (5. ábra) termetű kristályokat alkot. A prizmazónában az {100} és {101} formák ismerhetők fel. Sok esetben néhány tetőző forma is kifejlődik, melyek

II. táblázat. A polgárdi wollastonit röntgen-pordiffrakciós adatai.

Table II. X-ray powder diffraction data of wollastonite from the Szár Hill, Polgárdi.

Csúcs / Peak	d [Å]	I _{rel}
1	7,46	21
2	6,88	1
3	5,33	3
4	4,84	1
5	4,48	< 1
6	4,32	1
7	3,78	100
8	3,69	2
9	3,47	48
10	3,28	80
11	3,21	8
12	3,13	6
13	3,06	42
14	2,953	48
15	2,871	2
16	2,774	3
17	2,700	19
18	2,535	39
19	2,460	15
20	2,326	16
21	2,288	46
22	2,170	12
23	2,152	8
24	2,076	2
25	2,012	4
26	1,971	6
27	1,907	24
28	1,871	4
29	1,847	3
30	1,823	4
31	1,799	6
32	1,785	3
33	1,749	12
34	1,712	11
35	1,650	1
36	1,617	3
37	1,600	5
38	1,529	18
39	1,511	3
40	1,475	4
41	1,466	5
42	1,453	11
43	1,418	1
44	1,403	1
45	1,387	3
46	1,357	9

I_{rel}: relatív intenzitás / relative intensity

azonban csak a pásztázó elektronmikroszkópos felvételeken láthatók, így nagy bizonyossággal nem lehet őket leindexelni. Egyes kristályokon a tökéletes hasadás síkjai is jól megfigyelhetők (6. ábra). Mint az előző fejezetben említettük, a wollastonitkristályok szemcsés halmazokat alkotnak, de a szkarn repedései mentén sugaras aggregátumokban is előfordulnak (7. ábra). A kristályok hossza rendszerint mm alatti, de a sugaras halmazokat alkotó egyedek akár 2–3 mm hosszúak is lehetnek.

A wollastonit fehér színű, üvegfényű, karca szintén fehér. Elektron-mikroszondás elemzés nem készült az ásványról, viszont az I. táblázatban közölt nedves kémiai elemzés lényegében ásványelemzésnek is tekinthető, a kőzet monomineralikus jellege miatt. A táblázatban közölt elemzésből számított képlet: $(Ca_{0,89}Mg_{0,05}Fe_{0,01}Al_{0,01})_{\Sigma=0,96}Si_{1,02}O_3$. Bár e képlet óvatosan kezelendő, az mindenesetre látszik belőle, hogy a wollastonit meglehetősen tiszta, csak a kalcium helyére épült be némi Mg, Fe és Al.

A szár-hegyi wollastonitról készült röntgen-pordiffrakciós felvétel adatait a II. táblázatban közöljük.

5. Alacsony hőmérsékletű kalcium-szilikátok

A Szár-hegy wollastonitos szkarnjában Magyarországon egyedülállónak mondható, alacsony hőmérsékleten, a késői ásványképződés alatt létrejött kalcium-szilikátokból (apofillit, taumazit, okenit, nekoit) és karbonátokból (kalcit, aragonit) álló ásványegyüttes található. Ez a paragenezis a kontaktmetaszomatózis hőmérsékleti csúcsán képződött wollastonit után jött létre, tulajdonképpen retrográd fluidumáramlás hatására, melynek következtében a kőzet repedései mentén a wollastonit oldatba került, s így a vizes fluidum Ca-ban és Si-ban hamar telítetté vált. A wollastonitos szkarn repedéseiben ebből a fluidumból váltak ki az alacsony hőmérsékletű Ca-karbonátok és -szilikátok.

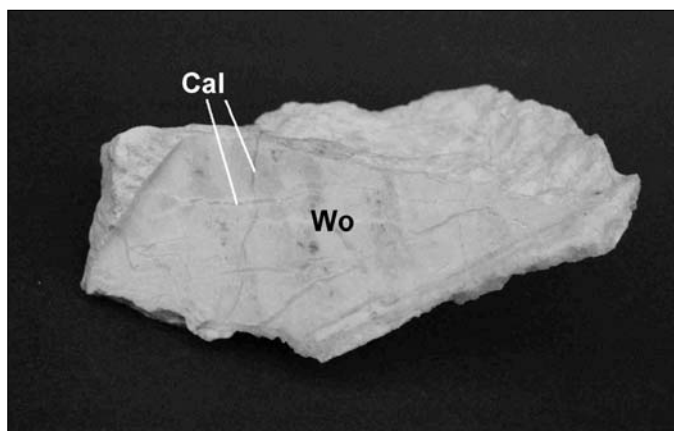
A retrográd fluidumáramlás karbonátosodással is járt. Ennek köszönhetően a wollastonitos szkarn keresztül-kasul járják át a mm-es vastagságú, tömör kalciterek (8. ábra), illetve a szélesebb repedések falán a romboéderes kalcitkristályokból álló bekérgezések. Ezek a kalciterek a legtöbb esetben monomineralikusak, de sokszor található bennük a fentebb említett kalcium-szilikátokból is. Az ilyen esetekben mindig a kalcit az első kiválás, s a kalcitkéregre települnek a különböző Ca-szilikátok.

A másik kalcium-karbonát, az aragonit a kalcitnál jóval ritkább, eddig csak egy példányon sikerült megfigyelni. Ezen 1-2 mm hosszú, szintelen, üvegfényű, karószerű kristályokat formál.

A teljesség igénye miatt megemlítjük, hogy e a kalcitos erekben egy röntgenamorf SiO_2 -fázis gömbös aggregátumait is sikerült megfigyelni, ahol az egyedi gömbök héjas szerkezetűek, és átmérőjük nem éri el az 1 mm-t.

5.1. Apofillit $KCa_4Si_8O_{20}(OH, F) \cdot 8H_2O$

Az apofillit név az 1978-ban bevezetett nevezéktan szerint (Dunn *et al.*, 1978; Dunn & Wilson, 1978) nem ásványfajt, hanem ásványcsoportot jelöl. Az apofillitcsoportra a következő általános képlet írható fel: $(K, Na)Ca_4Si_8O_{20}(F, OH) \cdot 8H_2O$. Ennek alapján a csoport négy szélső tagját különböztethetjük meg, melyeket a III. táblázatban tüntettük fel. Mivel az apofillitcsoport tagjainak kristálytani, fizikai és optikai tulajdonságai nagyon hasonlóak, és röntgen-pordiffrakciós felvételeik is alig különbözöek, ezért elkülönítésük csak mennyiségi kémiai elemzéssel hajtható végre.



8. ábra. A wollastonitos szkarn vágási felületén jól láthatók a mm-es vastagságú tömör kalciterek. A példány hosszúsága: 11 cm. Fotó: Kulcsár G. Rövidítések: Cal = kalcit, Wo = wollastonit.

Fig. 8. Massive calcite veinlets in the wollastonite skarn. Length of the sample: 11 cm. Photo: G. Kulcsár. Abbreviations: Cal = calcite, Wo = wollastonite.

III. táblázat. Az apofillitcsoport tagjai a gyakoriság csökkenő sorrendjében.

Table III. Members of the apophyllite group in descending order of abundance.

Összetétel / Composition	Pontcsoport / Point group	Név / Name
$\text{KCa}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}\text{F} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	tetragonális / tetragonal 4/mmm	fluorapofillit / fluorapophyllite
$\text{KCa}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH}) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	tetragonális / tetragonal 4/mmm	hidroxiapofillit / hydroxyapophyllite
$\text{NaCa}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}\text{F} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	rombos / orthorhombic mmm vagy mm2	nátroapofillit / natroapophyllite
$\text{NaCa}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH}) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$?	nem ismert a természetben unknown in the Nature

A szár-hegyi apofillit szintelen, zömök oszlopos vagy álhéxaédes (kockaszerű) kristályokból álló kérgeket alkot a wollastonitos szkarn repedéseiben, ahol az alacsony hőmérsékletű kalcium-szilikátok közül elsőként jött létre. Kristályai formákban szegények, sokszor csak az {100} tetragonális prizma és a {001} bázislap fejlődött ki (ilyenkor a felületes szemlélő könnyen összetévesztheti a romboédes kalcittal); e formákon kívül még az {111} tetragonális dipiramis figyelhető meg (9. ábra). A kristályok átmérője a bázislapon rendszerint csak 1-2 mm-es, nagyobbak meglehetősen gyéren fordulnak elő. Ritkán a zömök oszlopos kristályok 3-4 mm átmérőjű rozettákká állnak össze (10. ábra). Az apofillit a {001} szerint tökéletesen hasad. Karca fehér, a prizma- és a dipiramislapok üvegfényűek, míg a bázislap gyöngyházfényű, így a szár-hegyi apofillitre is jól illik a korai szakirodalomban az ásványra alkalmazott „halszemkő” elnevezés.

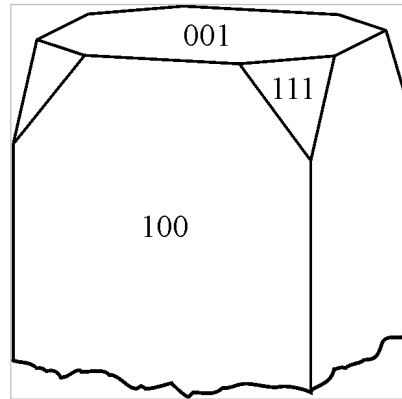
Mint azt korábban írtuk, az apofillitek faj szintű besorolása a K-Na és F-(OH) helyettesítések miatt csak kémiai elemzés útján lehetséges. A polgárdi apofillitről készült elemzésekből (IV. táblázat 1. és 2. oszlopa), a következő szerkezeti képletek számíthatók:

- (1) $(\text{K}_{0,99}\text{Na}_{0,01})_{\Sigma=1,00}\text{Ca}_{3,94}\text{Si}_{8,03}\text{O}_{20}[(\text{OH})_{0,96}\text{F}_{0,04}]_{\Sigma=1,00} \cdot 8,90\text{H}_2\text{O}$;
- (2) $(\text{K}_{0,92}\text{Na}_{0,02})_{\Sigma=0,94}(\text{Ca}_{3,97}\text{Fe}_{0,01})_{\Sigma=3,98}\text{Si}_{8,03}\text{O}_{20}(\text{OH}) \cdot 8,84\text{H}_2\text{O}$.

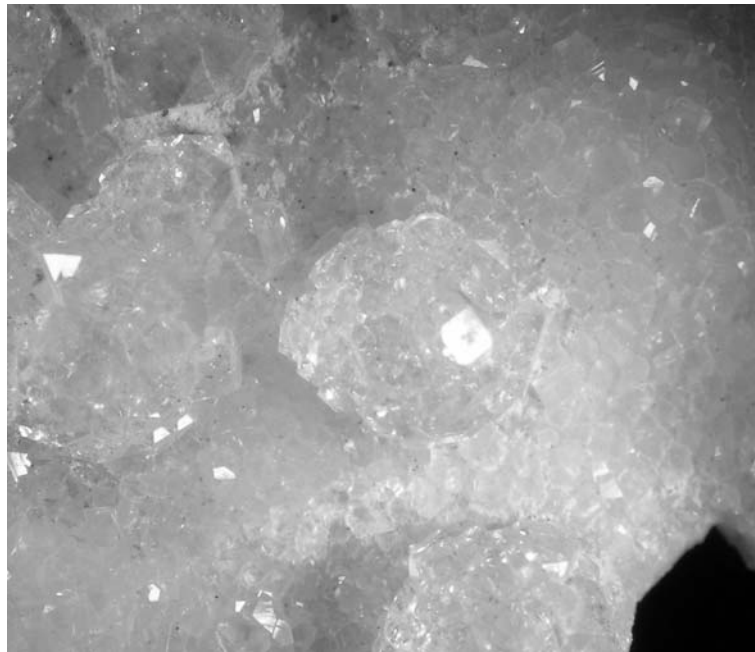
A víztartalmat az elemzések végösszegének a 100%-hoz viszonyított különbségéből számítottuk. A képlet felírásánál azt feltételeztük, hogy $\text{OH} + \text{F} = 1$ apke (apke = atom per képletegység). Az elemzések azt mutatják, hogy a szár-hegyi apofillitben $\text{K} \gg \text{Na}$ és $\text{OH} \gg \text{F}$, így ásványunk a hidroxiapofillit fajt képviseli, mégpedig az elméleti szélső tagéhoz nagyon közeli összetétellel.

A szár-hegyi apofillit röntgen-pordiffrakciós felvételének eredményeit az V. táblázatban tüntettük fel, összehasonlítva az észak-carolinai Jefferson hidroxiapofillitjének irodalmi adataival (Dunn *et al.*, 1978). A felvételből a polgárdi hidroxiapofillit elemi cellájának adatai:

$a = 8,95(1) \text{ \AA}$; $c = 15,83(2) \text{ \AA}$; $V = 1268(2) \text{ \AA}^3$.
A polgárdi hidroxiapofillitnek az elemicella-adatokból és az (1) elemzésből $Z = 2$ figyelembe vételével számított sűrűsége $2,41 \text{ g/cm}^3$.



9. ábra. A polgárdi apofillitkristályok jellemző habitusa.
Fig. 9. Typical habit of the Polgárdi apophyllite crystals.



10. ábra. Rozettaszerű apofillithalmazok kalcitkérgen.
Képszélesség: 1 cm. Fotó: Fehér B.
Fig. 10. Rosette-like apophyllite aggregates in calcite crust.
Width of the picture: 1 cm. Photo: B. Fehér.

IV. táblázat. A polgárdi Szár-hegy alacsony hőmérsékletű kalcium-szilikátjainak reprezentatív elektron-mikroszondás elemzése (tömeg%). Elemző: G. Vezzalini

Table IV. Representative electron microprobe analyses of the Szár Hill (Polgárdi) low temperature calcium silicates (in weight per cent). Analyst: G. Vezzalini

	Apofillit		Okenit		Nekoit	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
SiO ₂	52,49	52,54	53,84	54,74	53,70	53,48
TiO ₂	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	n.d.
Al ₂ O ₃	0,00	0,01	0,01	0,06	0,01	0,00
FeO	0,01	0,05	0,02	0,03	0,08	0,01
MgO	0,00	0,01	0,02	0,07	0,01	0,02
CaO	24,00	24,22	27,83	27,22	26,79	26,01
SrO	0,00	0,01	0,00	0,05	0,00	0,25
BaO	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,03	0,07	0,04	0,03	0,00	0,04
K ₂ O	5,06	4,73	0,03	0,05	0,01	0,00
F	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	n. d.
össz. / sum	81,70	81,67	81,81	82,25	80,62	79,81

n. d.: nincs meghatározva / not detected

5.2. Taumazit $Ca_3Si(OH)_6(CO_3)(SO_4) \cdot 12H_2O$

A taumazit nagyon érdekes ásvány. Annak találta Adolf Erik Nordenskiöld, az ásvány svéd felfedezője is 1878-ban, aki a görög *taumazein* (= meglepődni) szó alapján nevezte el, mivel vegyi összetétele a leírás idején meglehetősen szokatlannak számított. Ez a kémiai komplexitás az ásvány rendszertani besorolását is megnehezíti. Kristályszerkezetének ismerete előtt Dana (1892) a szilikátok közé sorolta. A taumazit szerkezetének vizsgálatakor Edge & Taylor (1971) azonban kimutatta, hogy a szilícium nem a szilikátoknál megszokott négyes, hanem hatos koordinációban van jelen, s ráadásul nem oxigénionok, hanem (OH)-csoportok veszik körül (ezt juttatjuk kifejezésre akkor, amikor a taumazit képletét a fenti módon írjuk). Mivel tehát a taumazit kristályszerkezetéből a szilikáttetraéderek hiányoznak, ezért Gaines *et al.* (1997) a szulfátok közé helyezik az ásványt. A Strunz-féle rendszertanban korábban a taumazit hagyományosan a szilikátok között szerepelt (Weiß, 1995; Bognár, 1995), újabban viszont már itt is a szulfátok között található, mégpedig az ettringitcsoportban (Strunz & Nickel, 2001).

Figyelemre méltó az a megfigyelés is, hogy azon ásványok, amelyekben a Si hatos koordinációban van jelen (például sztisovit), általában magas nyomáson képződnek, ezzel szemben a taumazit jellegzetesen nagyon alacsony hőmérsékleten és nyomáson létrejött, késői kiválású ásvány. Ezt az ellentmondást az oldja fel, hogy a taumazitban a szilíciumot nem oxigénionok, hanem hidroxilgyökök koordinálják (Grubessi *et al.*, 1986).

A taumazit kémiaiájának másik különlegessége a rendkívül nagy víztartalma, ugyanis összetételében a H₂O mennyisége meghaladja a 40 tömeg%-ot! Ez az ásvány szokatlanul kis sűrűségében (1,88–1,90 g/cm³) is megnyilvánul.

Tudománytörténeti érdekessége miatt megemlíjtük, hogy Knull & Young (1960) adatai szerint Svédország és az Egyesült Államok után hazánk volt a harmadik ország, ahol a taumazitot leírták, mégpedig a sümegi Sarvaly-hegyről (Mauritz, 1933) és a zalalahápi Haláp-hegyről (Mauritz, 1937). Mindkét lelőhelyen bazaltban fordul elő; a Sarvaly-hegyen a bazalt felületén alkot fehér lepleket heulandittal, míg a Haláp-hegyen a bazaltban lévő márgás közetzárványok ereiben található.

A polgárdi Szár-hegyen a taumazit karcsú hatszöges oszlopos kristályokat alkot, melyeken csak a $\{0001\}$ bázis és az $\{10\bar{1}0\}$ elsőrendű hatszöges prizma figyelhető meg (11. ábra). A kristályok hossza általában mm alatti, a parányi taumazitűk kusza halmazok lazább aggregátumokat képez. A nagyobb kristályok elérhetik a 2 mm-es hosszúságot is, ezek azonban magányosan, vagy néhány kristály alkotta összenövésben figyelhetők meg (11. ábra). A kristályok színtelenek, üvegfényűek, de az apró kristályos halmazok fehérek, és fényük kissé selymes. A polgárdi taumazitról vegyelemzés nem készült, a röntgen-pordiffrakciós felvétel adatait a VI. táblázatban láthatjuk. Az eredmények jól egyeznek az észak-írországi Ballyalton taumazitjára közölt értékekkel (Knull & Young, 1960). A pordiffrakciós adatokból kiszámítottuk a polgárdi taumazit elemi cellájának állandóit is: $a = 11,03(1) \text{ \AA}$; $c = 10,38(1) \text{ \AA}$; $V = 1093(1) \text{ \AA}^3$.

A taumazitaggregátumok általában kalcit- vagy apofillitkérgen találhatóak, de az apró szemcsés halmazok a wollastonitos szkarn repedéseiben önállóan is előfordulhatnak. A nagyobb kristályokból, de kevesebb tagból álló összenövésekre helyenként feltehetően okenit szálas aggregátumai nőttek rá (11. ábra).

5.3. Okenit $\text{Ca}_5\text{Si}_9\text{O}_{23} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$

Az okenit meglehetősen ritka, víztartalmú kalcium-szilikát-ásvány, mely a triklin rendszerben kristályosodik. A grönlandi Disko-szigetről írta le Wolfgang Franz von Kobell 1828-ban, és Lorenz Ocken (Oken) német természettudósról nevezte el. Az ásványt azóta számos lelőhelyen felismerték; rendszerint bazaltok hólyagüregeiben fordul elő, általában különböző zeolitokkal és apofillittel társulva. Kristályszerkezete nagyon érdekes, mivel átmenetet képez a lánc- és a rétegszilikátok között. Kristályrácsát három szerkezeti elem építi fel: (1) $(\text{Si}_6\text{O}_{15})^{6-}$ összetételű tetraéderez rétegek, melyeket öt- és nyolctagú szilikáttetraéderekből álló gyűrűk alkotnak; (2) $(\text{Si}_6\text{O}_{16})^{8-}$ összetételű, hármas ismétlődésű kettős szilikátláncok, melyek tulajdonképpen két wollastonitlánc összekapcsolódásából jönnek létre; (3) hatos koordinációjú kalcium, mely kettős oktaéderez láncokat alkot (Merlino, 1983).

A polgárdi Szár-hegyen a kalcium-szilikátok közül az okenit megjelenése a legváltozatosabb. Az ásvány színe fehér, gyöngyház-, illetve selyemfényű. Kristályai a $[010]$ szerint megnyúlt tűk, melyek magányosan nem fordulnak elő, hanem mindig aggregátumokat alkotnak. Legjellemzőbbek a gömbös halmazok, melyek – a nagyon találó angol „cottonball” elnevezést átvéve – gyapotcsomóra emlékeztetnek. Átmérőjük általában 1 mm-es vagy annál kisebb, de a legnagyobbak mérete elérheti a 3 mm-t is. A gömbök vagy magányosan, vagy pedig több aggregátum alkotta összenövésben ülnek az apofillit- vagy kalcitkérgen (12. és 13. ábra). Sok esetben az okenitkristályok nem állnak össze gömbökké, hanem csak fehér bevonatokat vagy sugaras halmazokat alkotnak a korábban kivált ásványokon (14. ábra). Kalcitos üregekben nagy ritkán az okenit páfrányszerű aggregátumai is megfigyelhetők.

V. táblázat. A polgárdi Szár-hegy és Jefferson (USA) hidroxiaopofillitjének röntgenpordiffrakciós adatai (ICDD 29-994)

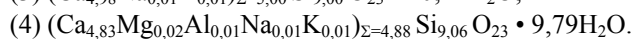
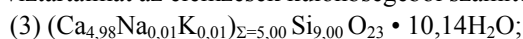
Table V. X-ray powder diffraction data of the Szár Hill (Polgárdi) and Jefferson (North Carolina, USA) hydroxyapophyllite

Polgárdi, Szár-hegy			Jefferson, NC, USA (Dunn <i>et al.</i> , 1978)		
Csúcs	d [Å]	I_{rel} [%]	d [Å]	I_{rel} [%]	hkl
1	7,92	5	7,90	13	002
2	7,83	7	7,82	13	101
3	7,75	10			
4	7,68	8			
5	6,30	2	6,339	2	110
6	4,53	22	4,554	23	103
7	4,47	4			
8	3,95	100	3,965	100	004
9	3,87	6	3,892	6	211
10	3,57	11	3,580	12	212
11	3,35	12	3,365	6	114
12	3,16	6	3,171	7	220
13	2,985	91	2,990	67	105
14	2,929	5	2,942	4	301
15	2,816	3	2,821	2	214
16	2,810	3			
17	2,784	1	2,794	1	311
18	2,662	3	2,672	3	312
19	2,635	1			
20	2,484	27	2,494	22	313, 320, 215
21	2,436	19	2,442	9	116
22	2,367	1			
23	2,244	1			
24	2,206	6	2,203	5	216
25	2,194	6			
26	2,172	2			
27	2,170	2			
28	2,154	2	2,159	1	402, 411
29	2,148	2			
30	2,110	8	2,113	7	315, 324
31	2,041	1			
32	2,028	2			
33	2,003	15	2,007	4	420
34	1,812	1			
35	1,803	2			
36	1,791	7	1,781	4	501
37	1,776	7	1,773	7	218
38	1,769	8	1,769	4	317
39	1,747	2			

40	1,729	4	1,732	2	109
41	1,694	1			
42	1,680	4	1,682	1	416, 228
43	1,676	3			
44	1,655	1	1,658	1	521
45	1,630	1			
46	1,625	2			
47	1,613	3			
48	1,610	2			
49	1,598	2			
50	1,585	31	1,588	26	440
51	1,582	15	1,579	9	0.0.10
52	1,576	1			
53	1,549	9	1,552	3	
54	1,546	5			
55	1,540	2			
56	1,535	2			
57	1,519	2			
58	1,497	5	1,497	3	
59	1,494	3			
60	1,474	2	1,477	1	
61	1,465	2	1,467	1	
62	1,462	2			
63	1,424	4	1,425	2	
64	1,420	4	1,420	2	
65	1,416	2			
66	1,357	4			
67	1,354	3			

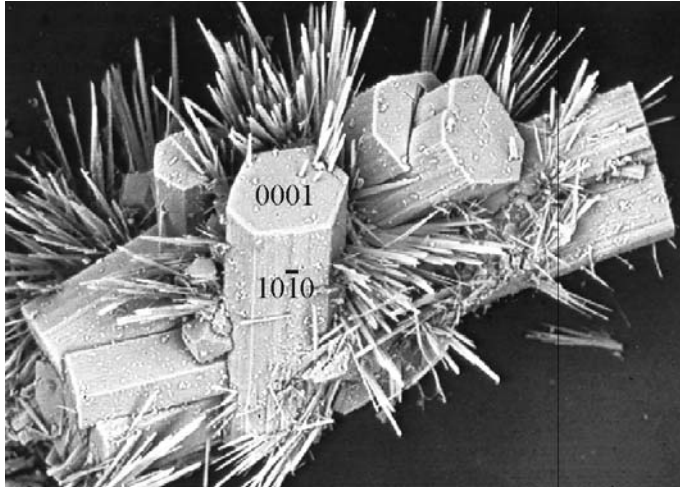
I_{rel} : relatív intenzitás / relative intensity

A polgárdi okenitről számos kémiai elemzés készült, melyek közül kettőt a IV. táblázat 3. és 4. oszlopában tüntettük fel. Az eredmények jól egyeznek a szakirodalmi adatokkal. Az elemzésekben az okenit 23 oxigénre számolt szerkezeti képlete a következő (a víztartalmat az elemzések különbségéből számítottuk):



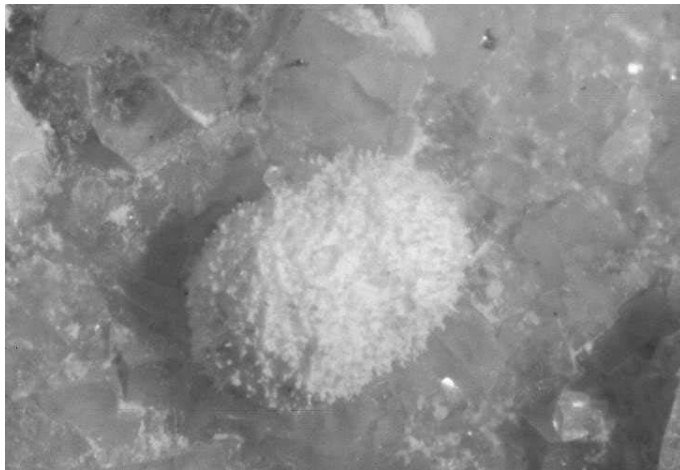
A szár-hegyi okenitről röntgen-pordiffrakciós felvételt készítettünk, melynek eredményeit a VII. táblázatban tüntettük fel, összehasonlítva a punei (Poona, India) okenit adataival (ICDD 33-305). A polgárdi okenit elemi cellájának a felvételtől számított rácsállandói: $a = 9,75(3) \text{ \AA}$; $b = 7,29(3) \text{ \AA}$; $c = 21,67(5) \text{ \AA}$; $\alpha = 87,9(4)^\circ$; $\beta = 101,4(5)^\circ$; $\gamma = 112,3(3)^\circ$; $V = 1396(6) \text{ \AA}^3$.

A polgárdi okenitnek az elemicella-adatokból és a (4) elemzésből $Z = 2$ figyelembe vételével számított sűrűsége $2,36 \text{ g/cm}^3$, amely jól egyezik az irodalomban közölt adatokkal (2,28–2,33; Anthony *et al.*, 1995).



11. ábra. Oszlopos, hatszöges taumazit-kristályok, melyekre feltehetően okenit szálas aggregátumai nőttek rá. Páztázó elektronmikroszkópos felvétel. Képszélesség: 1,47 mm. Fotó: Kovács Á.

Fig. 11. Columnar, hexagonal thaumasite crystals with probably fibrous okenite aggregates. SEM image. Width of the picture: 1.47 mm. Photo: Á. Kovács.



12. ábra. Gyapotcsomóra emlékeztető gömbös okenitaggregátumok kalcitos kérgen. Képszélesség: 9 mm. Fotó: Szakáll S.

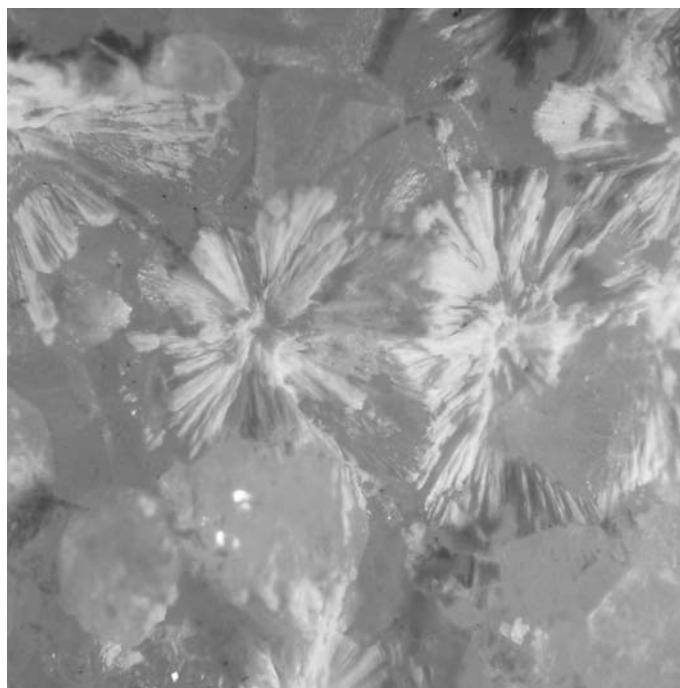
Fig. 12. "Cottonball" like globular okenite aggregates on calcite crust. Width of the picture: 9 mm. Photo: S. Szakáll.

5.4. Nekoit $Ca_3Si_6O_{15} \cdot 7H_2O$

A nekoit világviszonylatban is ritka, víztartalmú kalcium-szilikát, mely az okenithez hasonlóan triklin kristályrendszerű. Mivel kémiai összetétele és optikai tulajdonságai is az okenitéhez hasonló, ezért sokáig egyazon ásványnak tekintették őket, s a nekoitot csak 1956-ban írták le önálló fajként a kaliforniai Crestmore-ból (Gard & Taylor, 1956). Maga a nekoit elnevezés is az okenitből ered, ugyanis „oken” visszafelé olvasva „neko”. A nekoit szerkezetileg a rétegszilikátok közé tartozik. Kristályrácsának alapvető építőelemei a wollastonitlánchoz hasonló hármasszilikátláncok, melyek kettősével kapcsolódnak egymáshoz, s ezáltal a szilikáttetraéderek öttagú gyűrűket alkotnak. E kettős láncok (szalagok) azután oldalirányban összekapcsolódnak a velük szimmetriailag egyenértékű másik kettős szilikátlánccal, s a kapcsolódásból következően közöttük nyolc tetraéderekből álló gyűrűk alakulnak ki. A kettős szilikátláncok eme összekapcsolódásából jön létre a szilikátréteg, azaz a filloszilikátszerkezet.



13. ábra. Gömbös okenithalmazok kalciton.
Képszélesség: 15 mm.
Fotó: Fehér B.
Fig. 13. Globular okenite aggregates in calcite.
Width of the picture: 15 mm. Photo: B. Fehér.



14. ábra. Tűs kristályokból álló sugaras okenithalmazok kalciton.
Képszélesség: 1 cm.
Fotó: Fehér B.
Fig. 14. Acicular okenite crystals in radial aggregates on calcite.
Width of the picture: 1 cm. Photo: B. Fehér.

VI. táblázat. A polgárdi Szár-hegy és az észak-írországi Ballyalton taumazitjának röntgen-pordiffrakciós adatai (ICDD 25-128)

Table VI. X-ray powder diffraction data of the Szár Hill (Polgárdi) and Ballyalton (Northern Ireland) thaumasite (ICDD 25-128).

Polgárdi, Szár-hegy			Ballyalton, Észak-Írország (Knull & Young, 1960)		
Csúcs	d [Å]	I_{rel} [%]	d [Å]	I_{rel} [%]	hkl
1	9,56	56	9,56	100	100
2	9,33	100			
3	5,51	35	5,51	40	110
4	4,84	5	4,88	5	111
5	4,78	10	4,76	5	200
6	4,56	3	4,56	6	102
7	4,33	2	4,34	4	201
8	3,78	5	3,78	16	112
9	3,61	4	3,61	1	210
10	3,51	2	3,51	6	202
11	3,41	10	3,41	20	211
12	3,18	32	3,18	16	300
13	3,04	1	3,04	< 1	301
14	2,929	1	2,935	< 1	113
15	2,759	4	2,755	2	220
16	2,716	6	2,713	14	302
17	2,649	6	2,649	4	310
18	2,566	6	2,565	10	311
19	2,503	5	2,499	10	213
20	2,389	2			
21	2,360	2	2,357	4	312
22	2,285	1	2,282	< 1	204
23	2,193	12	2,191	6	320
24	2,147	6	2,155	13	402, 223, 321
25	2,115	1	2,106	5	313
26	2,087	5	2,086	2	410
27	2,045	1	2,045	< 1	411
28	2,020	2	2,019	3	322
29	1,937	2	1,934	3	412
30	1,913	22	1,911	10	500
31	1,812	9	1,809	6	331
32	1,782	4	1,778	3	421
33	1,735	1	1,733	3	332, 006
34	1,731	1			
35	1,718	2			
36	1,692	1	1,692	2	511
37	1,627	1	1,626	4	414
38	1,595	9	1,592	4	600
39	1,570	1	1,570	< 1	430
40	1,554	2	1,551	1	431
41	1,541	1	1,538	1	513
42	1,470	1	1,467	1	226, 107
43	1,459	1			

I_{rel} : relatív intenzitás / relative intensity



15. ábra. Sugaras-szálas nekoitagregátum, kalciton. Képszélesség: 5 mm.

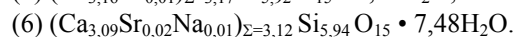
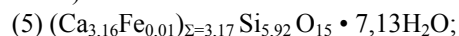
Fotó: Fehér B.

Fig. 15. Radial-fibrous nekoite aggregate on calcite. Width of the picture: 5 mm. Photo: B. Fehér.

Az oktaéderesen koordinált kalcium láncokat alkot a szerkezetben, míg a vízmolekulák az e láncok közötti tereket töltik ki (Alberti & Galli, 1980).

A Szár-hegy wollastonitos szkarnjában – az SzH2 jelű ásvány után – a nekoit a legritkább víztartalmú kalcium-szilikát. Általában 1-2 mm-es, vagy ennél rövidebb (de kivételes esetekben az 1 cm-t is elérő), szintelen, tús kristályokat formál, melyek sugarasan rendeződve selymes fényű halmazokat alkotnak (15. ábra). Ezek a sugaras aggregátumok soha nem állnak össze gömbökké, így a nekoitagregátumok még szabad szemmel is jól megkülönböztethetők a lelőhely más ásványaitól.

A nekoit kémiai összetétele csaknem megegyezik az okenitével, így kémiailag e két ásványfaj között nemigen lehet különbséget tenni. Mindenesetre a nekoitról is több elemzés készült, melyek közül kettőt a IV. táblázat 5. és 6. oszlopában tüntettük fel. Az eredmények jól egyeznek a szakirodalmi adatokkal. Az elemzésekből a nekoit 15 oxigénre számolt szerkezeti képlete a következő (a víztartalmat az elemzések különbségéből számítottuk):



A szár-hegyi nekoitról készült röntgen-pordiffrakciós felvétel eredményeit a VIII. táblázatban tüntettük fel, összehasonlítva a típuslelőhely, azaz a kaliforniai Crestmore nekoitjának adataival (ICDD 31-303). Sajnos a vizsgált minta nem volt teljesen tiszta, ezért a nekoittal szoros együttesben lévő kalcit néhány csúcsa is megjelent a diffraktogramon. A felvételtől a polgárdi nekoitra számolt rácsállandók, illetve az elemi cella térfogata a következő: $a = 7,59(1) \text{ \AA}$; $b = 7,34(2) \text{ \AA}$; $c = 9,78(1) \text{ \AA}$; $\alpha = 111,7(2)^\circ$; $\beta = 86,3(1)^\circ$; $\gamma = 104,0(1)^\circ$; $V = 491(1) \text{ \AA}^3$.

A polgárdi nekoitnak az elemicella-adatokból és a (5) elemzésből $Z = 1$ figyelembe vételével számított sűrűsége $2,24 \text{ g/cm}^3$, amely jól egyezik az irodalomban közölt adatokkal (2,21–2,24; Anthony *et al.*, 1995).

VII. táblázat. A polgárdi Szár-hegy és az indiai Pune (Poona) okenitjének röntgenpordiffrakciós adatai.

Table VII. X-ray powder diffraction data of the Szár Hill (Polgárdi) and Poona (India) okenite.

Polgárdi, Szár-hegy			Pune (India) (ICDD 33-305)		
Csúcs	d [Å]	I_{rel} [%]	d [Å]	I_{rel} [%]	hkl
1	21,1	100	21,0	100	001
2	10,7	13	10,7	30	002
3	8,85	70	8,84	80	100
4	7,63	21	7,65	35	101
5	6,73	9	6,73	35	$\bar{1}$ 10, 010
6	6,23	8	6,23	16	102
7	5,81	3	5,794	15	0 $\bar{1}$ 2
8	5,59	3	5,589	10	012
9	5,37	6	5,355	12	004
10	4,60	8	4,672	8	$\bar{2}$ 11
11	4,52	14	4,539	25	$\bar{2}$ 12, $\bar{2}$ 01
12	4,43	10	4,422	14	200
13	4,35	10	4,350	18	111
14	4,16	10	4,164	12	201
15	4,10	6	4,113	10	11 $\bar{3}$
16	3,58	24	3,594	25	105
17	3,39	11	3,387	20	$\bar{2}$ 21, $\bar{2}$ 20
18	3,31	10	3,298	8	021
19	3,28	11			
20	3,26	11	3,252	6	$\bar{3}$ 12
21	3,22	12	3,219	13	21 $\bar{1}$
22	3,17	12	3,167	19	022
23	3,12	26	3,113	55	204, 2 $\bar{2}$ 2
24	3,07	23	3,069	30	$\bar{1}$ 24, 007
25	3,04	22	(Cal)	(100)	
26	3,01	33	3,002	55	$\bar{3}$ 01, 023
27	2,955	35	2,950	60	300
28	2,900	11			
29	2,844	15	2,850	25	301
30	2,816	18			
31	2,805	20	2,801	45	024
32	2,792	14			
33	2,775	9			
34	2,164	4	2,161	13	4 $\bar{2}$ 2, 401
35	1,916	13	1,915	7	404

I_{rel} : relatív intenzitás / relative intensity

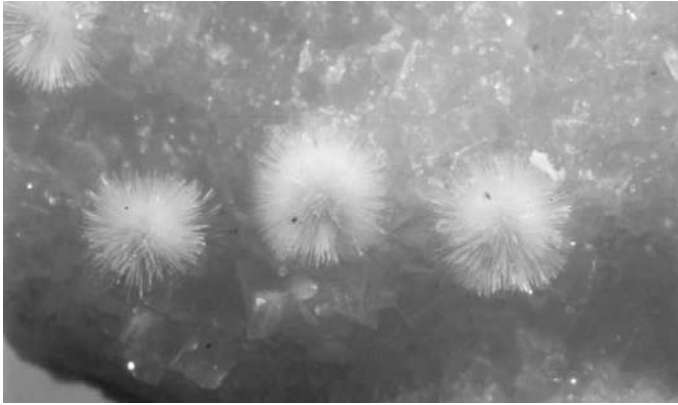
Cal: kalcit / calcite

VIII. táblázat. A polgárdi Szár-hegy és az USA-beli Crestmore nekoitjának röntgen-pordiffrakciós adatai

Table VIII. X-ray powder diffraction data of the Szár Hill (Polgárdi) and Crestmore (USA) nekoite

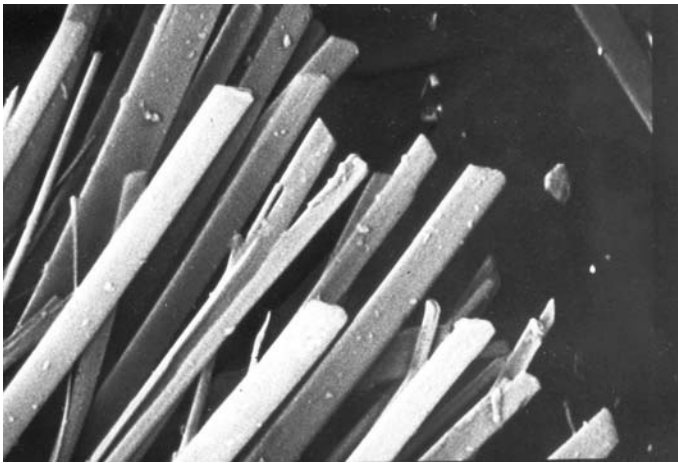
Polgárdi, Szár-hegy			Crestmore, CA, USA (ICDD 31-303)		
Csúcs	d [Å]	I_{rel} [%]	d [Å]	I_{rel} [%]	hkl
1	9,07	46	9,1	100	001
2	7,35	80	7,37	20	100
3	6,65	6	6,64	65	0 $\bar{1}$ 1
4	6,36	5			
5	5,81	17	5,81	10	$\bar{1}$ 01
6	5,65	15	5,64	19	101
7	5,55	6	5,54	25	1 $\bar{1}$ 1
8	4,55	13	4,55	20	002
9	4,45	5	4,46	10	$\bar{1}$ $\bar{1}$ 1
10	4,17	4	4,17	12	1 $\bar{1}$ 2
11	3,92	12	3,92	10	$\bar{1}$ 02
12	3,85	9	3,824	10	102
13	3,69	45	3,686	7	200
14	3,59	5	3,580	5	$\bar{2}$ 10
15	3,45	77	3,449	20	$\bar{2}$ 01
16	3,38	90	3,381	55	201
17	3,29	5	3,296	55	1 2 2
18	3,24	4	3,242	15	0 $\bar{1}$ 3
19	3,12	5	3,123	12	$\bar{1}$ 12
20	3,03	100 (+Cal)	3,029	20	003
21	2,904	19	2,900	9	$\bar{2}$ 02
22	2,882	7	2,880	10	$\bar{1}$ $\bar{1}$ 3
23	2,830	42	2,829	55	$\bar{1}$ 03
24	2,776	8			
25	2,494	8 (Cal)	(2,495)	(14)	
26	2,458	21	2,464	30	300
27	2,390	7			
28	2,356	16	2,355	10	301
29	2,284	13 (Cal)	(2,285)	(18)	
30	2,191	13	2,189	13	$\bar{1}$ 04
31	2,139	5			
32	2,096	9 (Cal)	(2,095)	(18)	
33	1,938	7	1,936	7	$\bar{3}$ 03
34	1,913	18	1,910	7	204
35	1,884	7			
36	1,876	19 (Cal)	(1,875)	(17)	
37	1,841	5	1,830	75	1 $\bar{4}$ 2
38	1,793	11	1,794	15	1 $\bar{4}$ 1
39	1,778	10	1,776	20	$\bar{1}$ 05
40	1,693	7	1,691	5	2 $\bar{3}$ 5
41	1,648	4	1,646	4	304

I_{rel} : relatív intenzitás, Cal: kalcit / calcite, ICDD 5-586



16. ábra. Ismeretlen, víztartalmú Ca-szilikát ásvány (SzH2 minta) sugaras-gömbös aggregátumai, kalciton. Képszélesség: 1 cm. Fotó: Szakáll S.

Fig. 16. Radial-globular aggregates of an unknown, hydrated Ca-silicate mineral (SzH2 sample) on calcite. Width of the picture: 1 cm. Photo: S. Szakáll.



17. ábra. Ismeretlen, víztartalmú Ca-szilikát ásvány (SzH2 minta) nyúlt, léces termetű kristályai. Pásztázó elektronmikroszkópos felvétel. Képszélesség: 0,23 mm. Fotó: Kovács Á.

Fig. 17. Elongated, lath shaped crystals of an unknown, hydrated Ca-silicate mineral (SzH2 sample). Width of the picture: 0.23 mm. Photo: Á. Kovács.

5.5. SzH2 minta

A Szár-hegy legérdekesebb, s egyben legritkább víztartalmú kalcium-szilikátja az eddig még részleteiben nem ismert SzH2 számú minta. Ez az ásvány színtelen, gömbös halmazokat alkot, melyek mérete általában 1 mm, de néha elérhetik a 2 mm-es átmérőt is. Ezen aggregátumok magányosan, vagy több gömb összenövéséből álló csoportokban ülnek a kalcitkérgen (16. ábra). A halmazok morfológiailag – legtöbbször – két részből állnak: a magjukat alkotó tömör gömbből, mely a teljes aggregátum átmérőjének kevesebb, mint a felét teszi ki, illetve a külső részt alkotó fehér, tús kristályokból, melyek hajlékonyak és rugalmasak. Pásztázó elektronmikroszkópban nézve ezek a tűk inkább lapultak, léces termetűek (17. ábra). Néhány esetben az aggregátumok közepén a tömör mag nem figyelhető meg.

E halmazokról röntgen-pordiffrakciós felvételt készítettünk, de az nem felel meg egyetlen ma ismert ásványfajnak sem. Gandolfi-kamerás méréssel lehetőségünk nyílt egy aggregátum tömör magjának, illetve az abból „kinövő” tús kristályoknak a külön-külön történő röntgenvizsgálatára is. A mérésekből megállapítható volt, hogy az aggre-

gátum mindkét részét ugyanaz az ásványfázis alkotja, s ezen ásvány valószínűleg egy új fajt képvisel.

Erről az ismeretlen fázisról elektronmikroszkopos elemzések is készültek, mely szerint ez az ásvány – a paragenézis többi tagjához hasonlóan – egy erősen hidratált kalcium-szilikát. Kémiaileg azonban markánsan elkülönül mind az okenittől, mind pedig a nekoittól, mert míg az előbbieken a Si/Ca arány $\approx 2:1$, addig az SzH2 fázisban ez az érték 5,5:1 és 6,5:1 között mozog (átlagosan 6:1). Az ásvány további, részletesebb vizsgálatára a későbbiekben kerül sor.

6. Következtetések

A metasomatózis – vagyis a kőzetek szilárd állapotban történő összetétel-változása – tulajdonképpen az összes kontaktmetamorf környezetben előfordul, bár típusa, mértéke és oka különböző lehet. A metasomatikus folyamatoknak – létrejöttük mechanizmusát illetően – két fajtája van: diffúzió és infiltráció. Diffúziós metasomatózist az okoz, hogy a magmás intrúzió és a mellékkőzet kémiai potenciáljában különbségek vannak, s ezeket a különbségeket a rendszer kiegyenlíteni igyekszik oly módon, hogy elemdiffúzió indul meg a magmás testből a mellékkőzetbe és fordítva (bimetasomatózis). Az infiltrációs metasomatózist a külső (vagyis a mellékkőzetből származó) és magmás fluidumok cirkulációja okozza. A metasomatózisnak ez a két típusa a felső-kéregben játszik jelentős szerepet, kialakulását a mellékkőzet magas permeabilitása segíti elő.

A polgárdi Szár-hegyen a triász (?) andezittelérek körül kialakult kontakt udvarban ásványtanilag két markáns zóna különíthető el: a diopszid-vezuvián szkarn és a wollastonitos szkarn. A diopszid-vezuvián szkarnöv folyamatos zónát alkot az andezittelérek mellett, s ezen zóna egy része endoszkarnnak minősíthető (Dunkl *et al.*, 2003), így kialakulásában a diffúziós metasomatózisnak volt a legnagyobb szerepe.

Jelen cikkünkben a wollastonitos szkarnnal, annak ásványtársulásával foglalkoztunk. Ez a szkarnos öv azonban – az előzőtől eltérően – már nem alkot folyamatosan követhető zónát az aureolában, hanem csak kisebb szegregációk formájában fordul elő, így ezen szkarnöv kialakulását infiltrációs metasomatózissal magyarázzuk. A wollastonitos szkarn valószínűleg csak ott tudott kialakulni, ahol a mészkő permeabilitása elég nagy volt az infiltrálódó fluidumok átengedéséhez.

A wollastonit – és a zóna többi, lokálisan és kis mennyiségben előforduló progresszív metamorf ásványa (diopszid, vezuvián) – a metamorfózis hőmérsékleti csúcán képződött a protolit karbonátásványainak (kalcit, dolomit) és a beáramló fluidumban oldott SiO₂ reakciójából. A képződési hőmérséklet az intrúzió mélységétől (vagyis az uralkodó nyomástól) és az X_{CO2}-től függően kb. 600–700 °C lehetett. Végezetül a wollastonitos szkarn kialakulása után, retrográd fluidumáramlás hatására karbonátosodás és hidratációs folyamatok indultak be, melynek eredményeként alacsony hőmérsékletű, karbonátokkal (kalcit, aragonit) és hidratált kalcium-szilikátokkal (apofillit, taumazit, okenit, nekoit, SzH2 fázis) jellemzett ásványegyüttes alakult ki a szkarnkőzet repedéseiben. Nagyon csábító gondolat lehetne a fent említett kalcium-szilikátokat másodlagos eredetűnek, a wollastonit átalakulási termékének tartani, hiszen pl. az okenit és a nekoit szerkezeti elemei között jelen vannak a wollastonit szerkezetének alapvető építőelemei, azaz a hármas ismétlődésű szilikátláncok. Ugyanígy, az apofillitek dehidratációjával

(izzításakor) is wollastonit állítható elő (erre bizonyítékot az apofillit termikus vizsgálata szolgáltat, lásd Marriner *et al.*, 1990), vagy megfordítva, wollastonit hidratációjával apofillit jöhet létre másodlagosan (Deer *et al.*, 1962b). A Szár-hegyen azonban a másodlagos keletkezési módot kizárja az a tény, hogy a fent tárgyalt víztartalmú kalcium-szilikátok szinte mindig kalcitkérgen ülnek, s így nincsenek közvetlen kontaktusban a wollastonittal.

7. Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki a következő ásványgyűjtőknek azért, hogy az elmúlt évek során értékes mintákkal láttak el minket: Klaj Sándor (Pécs), Kövecses-Varga Lajos (Siófok), Mondik Csaba (Siófok) és Tamás Gábor (Siófok). Az elektronmikroszkopos elemzések elvégzéséért Giovanna Vezzalinek (Modenai Egyetem, Földtudományi Tanszék, Olaszország), míg a nedves kémiai elemzésért Fehérvári Istvánnak (Miskolci Egyetem, Ásvány- és Kőzettani Tanszék) tartozunk köszönettel. A cikkben szereplő fotók elkészítését a következő kollégáknak köszönjük: Kovács Árpád (Miskolci Egyetem, Fém-tani Tanszék; pásztázó elektronmikroszkópos felvételek), Kulcsár Géza (Herman Ottó Múzeum; kézipéldányok fényképezése), Máday Ferenc (Miskolci Egyetem, Ásvány- és Kőzettani Tanszék; vékonycsiszolati fotók) és Szakáll Sándor (Herman Ottó Múzeum; binokuláris mikroszkópi felvételek).

Irodalom – References

- Alberti, A. & Galli, E. (1980): The structure of nekoite, $\text{Ca}_3\text{Si}_6\text{O}_{15} \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, a new type of sheet silicate. *Am. Mineral.*, **65**, 1270–1276.
- Anthony, J. W., Bideaux, R. A., Bladh, K. W. & Nichols, M. C. (1995): *Handbook of mineralogy. Vol. II: Silica, silicates*. Tucson: Mineral Data Publishing.
- Bognár L. (1995): *Ásványnevtár*. Budapest: ELTE Eötvös Kiadó. (in Hung.)
- Dana, E. S. (1892): *The system of mineralogy of James Dwight Dana*. 6th Edition. New York: John Wiley & Sons.
- Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussman, J. (1962a): *Rock-forming minerals. Vol. II: Chain silicates*. London: Longmans.
- Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussman, J. (1962b): *Rock-forming minerals. Vol. III: Sheet silicates*. London: Longmans.
- Dunkl I. (1983): *Szkarnosodott és agyagásványosodott magmatitok a polgárdi Szár-hegy két mélyfúrásában*. Szakdolgozat, kézirat (MSc. thesis, manuscript in Hung.). ELTE Kőzettan-Geokémiai Tanszék, Budapest.
- Dunkl I., Horváth I. & Józsa S. (2003): A polgárdi Szár-hegy andezittelérei és szkarnos képződményei (Andesite dykes and skarn formations of the Szár Hill, Polgárdi, Hungary). In: Szakáll S. & Fehér B. (szerk.): *A polgárdi Szár-hegy ásványai /Topogr. Mineral. Hung.*, **8/**, Miskolc: HOM, 55–86. (in Hung. with English abstract)
- Dunn, P. J., Rouse, R. C. & Norberg, J. A. (1978): Hydroxyapophyllite, a new mineral, and a redefinition of the apophyllite group. I. Description, occurrences, and nomenclature. *Am. Mineral.*, **63**, 196–199.
- Dunn, P. J. & Wilson, W. E. (1978): Nomenclature revisions in the apophyllite group: hydroxyapophyllite, apophyllite, fluorapophyllite. *Mineral. Record*, **9**, 95–98.
- Edge, R. A. & Taylor, H. F. W. (1971): Crystal structure of thaumasite, $[\text{Ca}_3\text{Si}(\text{OH})_6 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}](\text{SO}_4)(\text{CO}_3)$. *Acta Crystallogr.*, **B27**, 594–601.

- Fehér, B. & Sajó, I. E. (2000): Okenite and nekoite from the Szár Hill, Polgárdi, Hungary. *Acta Mineral.-Petrogr. (Szeged)*, **41**, Suppl., p. 40.
- Fernández-Caliani, J. C. & Galán, E. (1998): Effects of fluid infiltration on wollastonite genesis at the Mérida contact-metamorphic deposits, SW Spain. *Mineral. Petrol.*, **62**, 247–267.
- Fülöp J. (1990): *Magyarország geológiája. Paleozoikum I.* Budapest: Magyar Állami Földtani Intézet. (In Hung.)
- Gaines, R. V., Skinner, H. C. W., Foord, E. F., Mason, B. & Rosenzweig, A. (1997): *Dana's new mineralogy*. 8th Edition. New York, etc.: John Wiley & Sons.
- Gard, J. A. & Taylor, H. F. W. (1956): Okenite and nekoite (a new mineral). *Mineral. Mag.*, **31**, 5–20.
- Grubessi, O., Mottana, A. & Paris, E. (1986): Thaumassite from the Tschwinning Mine, South Africa. *Tschermaks Mineral. Petrogr. Mitt.*, **35**, 149–156.
- Henmi, C., Kawahara, A., Henmi, K., Kusachi, I. & Takéuchi, Y. (1983): The 3T, 4T and 5T polytypes of wollastonite from Kushiro, Hiroshima Prefecture, Japan. *Am. Mineral.*, **68**, 156–163.
- Holland, T. J. B. & Redfern, S. A. T. (1997): Unit cell refinement from powder diffraction data: the use of regression diagnostics. *Mineral. Mag.*, **61**, 65–77.
- Horváth I. & Ódor L. (1989): A Polgárdi Mésző Formáció kontakt metamorf és metasomatikus jelenségei (Contact metamorphic and metasomatic phenomena in the Polgárdi Limestone Formation, Transdanubia, Hungary). *M. Áll. Földt. Int. Évi Jel. 1987-ről*, 137–143. (In Hung. with English abstract)
- Knill, D. C. & Young, B. R. (1960): Thaumassite from Co. Down, Northern Ireland. *Mineral. Mag.*, **32**, 416–418.
- Lelkesné Felvári Gy. (1978): A Balaton-vonal néhány permnél idősebb képződményének közettani vizsgálata (Petrographische Untersuchung einiger präpermischen Bildungen der Balaton-Linie). *Geol. Hung. Ser. Geol.*, **18**, 193–295. (In Hung. with German abstract)
- Lelkesné Felvári Gy. (1998): A Dunántúli-középhegység metamorf képződményeinek rétegtana. In: Bérczi I. & Jámor Á. (szerk.): *Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana*. Budapest: MOL Rt. és Magyar Állami Földtani Intézet. 73–86. (In Hung.)
- Marriner, G. F., Tarney, J. & Langford, J. I. (1990): Apophyllite group: effects of chemical substitutions on dehydration behaviour, recrystallization products and cell parameters. *Mineral. Mag.*, **54**, 567–577.
- Mauritz B. (1933): A balatonvidéki bazaltok zeolitásványai (Die Zeolithmineralien der Basalte des Plattenseegebietes). *Mat. Term.tud. Értés.*, **50**, 635–649. (In Hung. with German abstract)
- Mauritz B. (1937): A halápi és gulácsi bazalt hólyagüregeiben keletkezett ásványok (Die Mineralien der Blasenräume im Basalt vom Haláp und Gulács, Plattenseegebiet). *Mat. Term.tud. Értés.*, **55**, 923–937. (In Hung. with German abstract)
- Merlino, S. (1983): Okenite, $\text{Ca}_{10}\text{Si}_{18}\text{O}_{46} \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$: the first example of a chain and sheet silicate. *Am. Mineral.*, **68**, 614–622.
- Nickel, E. H. (1993): Standardisation of polytype suffixes. *Eur. J. Mineral.*, **5**, 799–800.
- Spry, A. (1969): *Metamorphic textures*. Oxford, etc.: Pergamon Press.
- Strunz, H. & Nickel, E. H. (2001): *Strunz mineralogical tables*. 9th Edition. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Virta, R. L. (2000): Wollastonite. *USGS Mineral Yearbook 2000*, 84.1–84.3.
- Weiß, S. (1995): Lapis-Mineralindex. 2. Teil. *Lapis*, **20/3**, 27–34.
- Weiszburg T. (1987): *Kristálykémiái vizsgálatok a piroxenoidok körében*. Egyetemi doktori értekezés, ELTE Ásványtani Tanszék, Budapest (Doctoral thesis, manuscript in Hung.).
- Winkler, H. G. F. (1976): *Petrogenesis of metamorphic rocks*. 4th Edition. New York, Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag.