

**Miskolci Egyetem
Műszaki Földtudományi Kar
Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskola**

**A Doktori Iskola vezetője:
Dr. Szűcs Péter egyetemi tanár**

Magyarországi magmás és metamorf turmalinok kristálykémiai és az eredmények földtani alkalmazása

Doktori (PhD) értekezés

Fehér Béla



Turmalin, Pátka, Varga-hegy. Képszélesség: 1,5 mm. Gyűjtemény és fotó: Tóth László.

Témavezető: Dr. Zajzon Norbert tanszékvezető egyetemi docens

Miskolci Egyetem
Ásványtani-Földtani Intézet
Ásvány- és Kőzettani Intézeti Tanszék

**Miskolci Egyetem
Miskolc, 2022**

Témavezetői ajánlás

A jelölt által elvégzett munka hiánypótlónak tekinthető a magyarországi ásványtani kutatások területén. Mint az a bevezetésből is kiderül, több évtizedes lemaradásunkat pótolja a nemzetközi élvonalbeli kutatásokhoz képest, és időszerű volt. A turmalinok modern osztályozása ugyanis kristálykémiai alapon történik, és éppen a hazai turmalinok precíz kémiai jellemzése hiányzott leginkább a szakirodalomban. A feldolgozott téma olyan, amiben korábban elenyésző mennyiségű publikáció született – egyébként azok egy része is a jelölt korábbi kutatása – így az általa végzett vizsgálatok újak a tudomány számára. A jelölt hatalmas szakirodalmi olvasottsággal rendelkezik, ami többek között kiderül a remek és jól meghatározott témaválasztásból, amit aztán remekül teljesít is.

A turmalinok nem csak egy szép és érdekes ásványcsoport, hanem fontos genetikai indikátor szerepük van a kőzettani, földtani folyamatok azonosításában, így részletes vizsgálatuk elősegíti az adott származási terület geológiai megismerését, az ott lezajlott folyamatok pontosítását. Így nem csak a szűkebb ásványtani szakemberek érdeklődésére tart számot a munka, hanem várhatóan a szélesebb kőzettani, geokémiai és földtani szakemberek is fogják használni az itt publikált új ismereteket, beépítik azt kutatásaikba.

A jelölt jelentős múlttal rendelkezik a topografikus ásványtan és a rendszeres ásványtan területén, ahol alapos, részletes és körültekintő munkáját számos tekintélyes mű fémjelzi, mit például az általa írt Ásványnévtár. A 2016-ban megjelent Magyarország ásványai című monográfiának a jelölt az egyik szerzője, melyben egy-egy fejezetet önállóan készített el. Ilyen például a turmalinokban gazdag Soproni-hegység fejezet. Ezt az alaposságot, igényességet több évtizedes szakmai (és tudományos ismeretterjesztői) folyóirat szerkesztői munkáján is megfigyelhetjük, melyek között leghosszabb a Geoda folyóiratban végzett főszerkesztői tevékenysége 2005-2021 között, de nem egy színvonalas konferencia-kötet szerkesztése, lektorálása is nevéhez kötődik. Ez az alaposság köszön vissza a Ph.D. téma kiválasztásában, részletes körüljárásában és megírásában, amire közel 8 évet fordított, hogy hozza a saját maga által is magasra tett színvonalat. Ez az alaposság, igényesség köszön vissza a dolgozat terjedelmében, alaposságában és szerkesztésében is.

A jelölt nem csak az elérhető gyűjteményi minták beszerzésében, feldolgozásában ment el a végletekig, hanem részleteiben elsajátította a rendelkezésre álló analitikai technikák ismereteit, azokat önállóan és megfelelően használja a feladat megoldásához. Ez az ana-

litikai technika nélkülözhetetlen volt a témaválasztás szempontjából, a turmalinok kristálykémiajának tanulmányozásához. Kiemelhető még, hogy a kémiai elemzési eredményeket változatos illusztrációs anyaggal, diagramokkal teszi még szemléletesebbé. Az alapos adatközlések mellett az új információkat megfelelő mélységében értelmezi, és az ásványgenetikai következtetéseken túl igyekszik közzétani és földtani szempontból is nagyra értékelhető információkat tenni. Pontosan ismerve a módszerek és a téma korlátait, azokból túlzó következtetésekre nem bocsátkozik, ami mutatja a jelölt megfelelő szakmai felkészültségét, és kellően kritikus kutatói habitusát.

A doktorjelölt szakirodalmi munkássága jelentős, az MTMT adatbázisában jelenleg 142 közleménye szerepel; ezek közül 82 tudományos közlemény, 55 ismeretterjesztő mű és 5 nem besorolt státuszú. A tudományos műveire eddig összesen 62 független hivatkozást kapott. Doktori kutatási témájában is több magyar és idegen nyelvű szócikket és konferenciakivonatot publikált, melyekkel több mint duplájára emelte a hazai turmalinokról megjelent publikációk számát.

A fentiek alapján Fehér Bélát egy sokoldalú, alapos, érett szakembernek tartom, aki jelen munkájával bizonyítva maximálisan megérdemli a Ph.D. fokozat megszerzését.

Bükkszentkereszt, 2022. március 4.



Dr. Zajzon Norbert sk.

témavezető

Tartalomjegyzék

Rövidítések jegyzéke	iv
Összefoglalás	vi
Summary	viii
1. Bevezetés, célkitűzések	1
2. A turmalinok általános jellemzése	4
2.1. A turmalinkristályok alaktani tulajdonságai	4
2.2. A turmalinok fizikai tulajdonságai	5
2.3. A turmalinok kristályszerkezete	6
2.4. A turmalinok kristálykémiája	8
2.5. A turmalinok osztályozása és nevezéktana	10
2.6. A bór geokémiájáról röviden	14
2.7. A turmalin mint petrogenetikai indikátor ásvány	17
3. Vizsgálati módszerek és számítási eljárások	19
3.1. Elektron-mikroszondás elemzések	19
3.1.1. A könnyűelemek mérésének problémaköre	20
3.2. Röntgen-pordiffrakciós vizsgálatok	22
3.3. Polarizációs mikroszkópi vizsgálatok	23
3.4. Képletszámítási eljárások	23
3.5. Képletszámító programok	26
3.6. „Turmalinmolekulák”	27
4. A Vilyvitányi Csillámpala Formáció turmalinja	29
4.1. Bevezetés	29
4.2. Földtani-kőzettani áttekintés	29
4.3. A turmalin-tartalmú csillámpala jellemzése	30
4.4. A turmalin kristálykémiája	31
4.5. Diskusszió	33
4.6. Összegzés	35
5. A Soproni-hegység turmalinjai	36
5.1. Bevezetés	36

5.2. Földtani-kőzettani áttekintés	37
5.3. A gneiszek és pegmatitok turmalinjai	40
5.3.1. Az egyes minták ásványtársulásának leírása	40
5.3.2. A gneiszek és pegmatitok turmalinjainak kristálykémiája	42
5.4. A gneiszek és csillámpalák kontaktusán képződött turmalinok	43
5.4.1. Az egyes minták ásványtársulásának leírása	44
5.4.2. A gneisz-csillámpala kontaktusokon képződött turmalinok kristálykémiája	46
5.5. A turmalinitek turmalinjai	47
5.5.1. Az egyes minták ásványtársulásának leírása	48
5.5.2. A turmalinitek turmalinjainak kristálykémiája	48
5.6. A csillámpalák turmalinjai	50
5.6.1. Az egyes minták ásványtársulásának leírása	51
5.6.2. A csillámpalák turmalinjainak kristálykémiája	54
5.7. A kvarcitok turmalinjai	55
5.7.1. Az egyes minták ásványtársulásának leírása	56
5.7.2. A kvarcitok turmalinjainak kristálykémiája	58
5.8. Diszkusszió	60
5.9. Összegzés	65
6. A Velencei Gránit és a környező kontaktpala turmalinjai	68
6.1. Bevezetés	68
6.2. Földtani áttekintés	68
6.3. A gránit és telérközeteinek ásvány-kőzettani jellemzése	70
6.4. Az intragránitos turmalinok	73
6.4.1. A gránit turmalinjai	73
6.4.2. A pegmatitok turmalinjai	74
6.4.3. Az aplitok turmalinjai	77
6.5. A miarolitos üregek turmalinjai	78
6.6. A kontaktpalák és kvarctelérek turmalinjai	81
6.7. Diszkusszió	83
6.8. Összegzés	90

7. A Bükk turmalinjai	93
7.1. Bevezetés	93
7.2. A Szentistvánhegyi Metaandezit Formációhoz kapcsolódó turmalinképződés	93
7.2.1. Rövid közzetani áttekintés	93
7.2.2. A felsőhámori Puskaporos turmalinja	94
7.3. A Bagolyhegyi Metariolit Formációhoz kapcsolódó turmalinképződés	97
7.3.1. A befogadó közzettest rövid áttekintése	97
7.3.2. Oszlopos turmalinkristályok, illetve rostos erek és fészkek a kvarc- földpát-telésekben	98
7.3.3. Turmalin kötőanyagú breccsa	100
7.4. Diskusszió	103
7.5. Összegzés	107
8. A nagybörzsönyi turmalin	108
8.1. Bevezetés	108
8.2. Földtani felépítés és ércesedés	108
8.3. A nagybörzsönyi turmalin és egyes kísérői	110
8.4. A nagybörzsönyi turmalin kristálykémiája	111
8.5. Röntgen-diffrakciós vizsgálat	115
8.6. Diskusszió	115
8.7. Összegzés	120
9. Irodalomjegyzék	121
Mellékletek I. Ábrák	142
Mellékletek II. Táblázatok	197
Mellékletek jegyzéke	310

Rövidítések jegyzéke

Ásványnevek

Ab	albit	Ky	kianit
Ace	aluminoszeldonit/ ferroaluminoszeldonit	Ma	margarit
Adr	andradit	Mgf	magneziofoitit
Alm	almandin	Ms	muszkovit
An	anortit	Ole	olenit
Ap	apatit	Or	ortoklász
Cch	klinoklor	Pa	paragonit
Chl	klorit	Phg	fengit
Drv	drávit	Prp	pirop
Ep	epidot	Q	kvarc
Fap	fluorapatit	Qtz	kvarc
Foi	foitit	Rt	rutil
Fuv	feruvit	Sch	sörl
Grs	grosszulár	Sps	spessartin
Grt	gránát	Tsi	tsilaisit
Ilm	ilmenit	Tur	turmalin
Kao	kaolinit	Uv	uvarovit
		Uvi	uvit

Egyéb rövidítések, szimbólumok

□ = üres kristályszerkezeti pozíció (vakancia)

Å = ångström; 1 Å = 10⁻¹⁰ m

AFM-diagram = Al-Fe_{tot}-Mg-diagram

apfu = atom per képletegység (angolul *atoms per formula unit*)

ASI = alumínium-oxid telítettségi indexe (angolul *alumina saturation index*)

BSE-kép = visszaszórtelektron-kép (angolul *back-scattered electron image*)

CFM-diagram = Ca-Fe_{tot}-Mg-diagram

EDS = energiadiszerzív spektrométeres (angolul *energy-dispersive spectrometric*)

HP = magas nyomás(ú) (angolul *high pressure*)

- HT = magas hőmérséklet(ű) (angolul *high temperature*)
- IMA = International Mineralogical Association (Nemzetközi Ásványtani Társaság)
- IUGS = International Union of Geological Sciences (Nemzetközi Földtudományi Unió)
- LA-ICP-MS = lézerablációs induktív csatolású plazma-tömegspektrometria (angolul *laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry*)
- LP = alacsony nyomás(ú) (angolul *low pressure*)
- LT = alacsony hőmérséklet(ű) (angolul *low temperature*)
- mol% = molekulaszázalék
- n.d. = nem detektált
- NMR-spektroszkópia = nukleáris mágnesesrezonancia-spektroszkópia
- PGAA = prompt-gamma aktivációs analízis
- SIMS = szekunderion-tömegspektrometria (angolul *secondary-ion mass spectrometry*)
- t% = tömegszázalék
- TEM = transzmissziós elektronmikroszkóp(ia)
- tf% = térfogatszázalék
- WDS = hullámhosszdiszperzív spektrométeres (angolul *wavelength-dispersive spectrometric*)

Összefoglalás

A turmalin a legfontosabb és leggyakoribb boroszilikát mind magmás, mind metamorf környezetekben, bár rendszerint csak járulékos alkotó a kőzetekben. Mivel a hőmérséklet és a nyomás széles tartományában stabil és jól ellenáll a fizikai és kémiai behatásoknak, sokféle közettípusban megtalálható. Képződése során szisztematikusan reagál a környezete, vagyis a koegzisztens ásványok és fluidumok kémiai változásaira, a víz és az oldott alkotók aktiválására. Ha egyszer létrejött, nem könnyen változtatja meg az összetételét elemdiffúzió útján, még viszonylag magas (> 700 °C) hőmérsékleteken sem. Mindezek alapján a turmalin egy fontos petrogenetikai indikátor ásvány, melyet nemzetközi szinten az elmúlt 3–4 évtizedben rendkívül behatóan vizsgáltak.

Doktori disszertációmban a hazai magmás és metamorf képződményekben előforduló turmalinok kristálykémiaiájával, és a belőlük nyert adatok földtani alkalmazásával foglalkozom. A bevezetésben a turmalinok földtani jelentőségét ismertetem, de szót ejtek a hazai turmalinkutatás helyzetéről is. Ezután egy fejezet foglalkozik a turmalinok általános jellemzésével, de kitérek a bór geokémiájára is, mivel e könnyű elemnek a turmalin a leggyakoribb ásványa. Ezt követi a vizsgálati módszerek és a képletszámítási eljárások bemutatása. Dolgozatom további öt fejezében egy-egy terület turmalinjainak vizsgálatát mutatom be a turmalinokat befogadó kőzetek földtani korának sorrendjében, a legidősebbtől a legfiatalabb felé haladva: Vilyvitány, Soproni-hegység, Velencei-hegység, Bükk és Nagybörzsöny.

A Vilyvitányi Csillámpala Formációban megjelenő fekete, oszlopos turmalinok a drávit fajt képviselik. Itt a turmalinképződésnek két szakasza különíthető el. Az első szakaszban az eredeti pélités üledékek amfibolit fáciesű metamorfózisa során keletkezett a turmalin az agyagásványokban lévő bór felszabadulása által, lényegében kémiailag zárt rendszerben. A második turmalinképződési szakasz a Zempléni-szerkezetből eddig nem ismert Na-metaszomatózissal lehet kapcsolatban.

A Soproni-hegységben az összes vizsgált turmalin kristálykémiai szempontból a sörl-drávit-foitit-magneziofoitit ásványfajok által meghatározott összetételi mezőben helyezkedik el. Ezeket a turmalinokat a befogadó kőzet típusa alapján a következőképpen lehet csoportostani: 1.) gneiszek és pegmatitok; 2.) gneisz és csillámpala határa; 3.) turmalinitok; 4.) csillámpalák és 5.) kvarcitok turmalinjai. Ezt az ötös felosztást a turmalinok morfológiája szerint két nagy csoportra lehet egyszerűsíteni: a.) oszlopos, egymással nem, vagy csak véletlenül érintkező egykristályok; b.) kötegelt vékony oszlopok, tűk (halmazok). Az „a”

csoportba tartoznak a gneiszekben (pegmatitokban) és csillámpalákban megjelenő, míg a „b” csoportba a gneisz-csillámpala határán, a kvarcitokban és a turmalinitekben előforduló turmalinok. Az „a” csoport turmalinjaira (pontosabban e turmalinok belső zónájára) jellemző még, hogy kémiai viszonylag homogének, így kvázi zárt rendszerben, magas kőzet/fluidum arány mellett képződtek, míg a „b” csoport turmalinjaira ennek ellenkezője igaz, ebből kifolyólag keletkezésük nyílt rendszerben, alacsony kőzet/fluidum arány mellett történt.

A Velencei-hegység turmalinjait genetikailag három nagy csoportra lehet osztani: 1.) a gránitban, pegmatitokban és aplitokban megjelenő turmalinok (intragránitos turmalinok); 2.) a pegmatitok miarolitos üregeiben megjelenő turmalinok (miarolitos turmalinok) és 3.) a palaköpenyben megjelenő turmalinok (metaszomatikus turmalinok). Az 1. csoportot Al-szegény sörl, a 2. csoportot sörl-elbait elegykristály, a 3. csoportot pedig sörl, drávit és foitit képviseli. Az intragránitos turmalinok a magmás kőzetképződés elsődleges termékei, a miarolitos turmalinok Li- és F-gazdag oldatokból váltak ki, míg a metaszomatikus turmalinok a gránitos olvadéktól elkülönült, B-gazdag oldatok és a mellékkőzet reakciójának termékei.

A bükki turmalinok megjelenése a középső triász metavulkanitokhoz kötődik. A Szentistvánhegyi Metaandezit Formációban vörös színű, tömör metaandezit kvarcos ereiben hidrotermás oldatokból kivált szürkés-kék színű drávit található. Magas Mg-tartalmát valószínűleg a formáció alsó részében és fekéjében megjelenő dolomitnak köszönheti. A Bagolyhegyi Metariolit Formációhoz kétféle turmalin társul: 1.) kvarc-földpát-telérekben található fekete, tús kristályokból álló rostos érkitöltések és fészkek (sörl), ezek néhol szintelen foitittá alakultak át; 2.) breccásodott telérek fekete, kriptokristályos kötőanyaga (sörl). A két típus vegyi összetétele között nincs átfedés. Mindkettő hidrotermás oldatokból vált ki.

Nagybörzsönyben az ún. rózsabányai ércesedéshez kötődően jelenik meg a turmalin rendszerint mm alatti, szintelen, tús kristályok formájában. A szálaskristályok zónás felépítésűek, a kristályok magja foitites, míg szegélye magneziofoitites összetételű. A turmalin hidrotermás oldatból vált ki, ennek hőmérséklete 260 °C fölött lehetett. A kristályokon megfigyelhető kémiai zónásság elsősorban a Fe ↔ Mg helyettesítésből ered. A zónásság oka az lehet, hogy a Fe-gazdag hidrotermás oldatok összetételét a leszivárgó Mg- és Ca-gazdag csapadékvíz megváltoztatta.

Summary

Tourmaline is the most important and common borosilicate in both igneous and metamorphic environments, although it is usually only an accessory constituent in rocks. Because it is stable in a wide temperature and pressure range and is highly resistant to physical and chemical impacts, it is found in a wide variety of rock types. During formation, tourmaline is very responsive to its chemical environment, i.e., it systematically reflects the chemical changes in coexisting minerals and fluids, activities of water and dissolved species, and pressure and temperature conditions. Once formed, it does not readily readjust its composition by volume diffusion, even at relatively high temperatures (> 700 °C). Therefore, tourmaline is an important petrogenetic indicator mineral that has been extensively studied worldwide in the last 3–4 decades.

In my doctoral thesis I deal with the crystal chemistry of tourmalines occurring in igneous and metamorphic formations of Hungary. In the introduction, I describe the geological significance of tourmalines, but I also outline the situation of tourmaline research in Hungary. The next chapter deals with the general characterization of tourmalines and with the geochemistry of boron, as tourmaline is the most common mineral of this light element. This is followed by the presentation of the analytical methods and formula calculation procedures. In the next five chapters of my dissertation, I discuss the tourmalines of five areas in the order of the geological age of the host rocks, from the oldest to the youngest: Vilyvitány, Sopron Mountains, Velence Mountains, Bükk Mountains and Nagybörzsöny.

The black, columnar tourmaline appearing in the Vilyvitány Micaschist Formation represents the dravite species. Here, two stages of tourmaline formation can be distinguished. In the first stage, amphibolite facies metamorphism of the original pelitic sediments resulted in the formation of tourmaline due to the release of boron from clay minerals in a substantially closed system. The second stage of tourmaline formation may be related to hitherto unknown Na metasomatism in the Zemplén Block.

In the Sopron Mountains, all the tourmalines studied are chemically located in the composition field determined by the mineral species schorl–dravite–foitite–magnesian-foitite. Tourmalines can be divided into five groups according to the type of host rock: 1.) gneisses and pegmatites; 2.) contacts between gneiss and micaschist; 3.) tourmalinites; 4.) micaschists and 5.) quartzites. According to the morphology of tourmalines, these five groups can be simplified into two large divisions: a.) columnar single crystals or only

accidentally intergrown crystals; b.) bundled thin columnar or acicular crystals (aggregates). Group “a” includes tourmalines present in gneisses (pegmatites) and micaschists, while group “b” includes tourmalines occur at the gneiss/micaschist contact, in quartzites and tourmalinites. The tourmalines of group “a” (more precisely the inner zone of these tourmalines) are practically homogeneous chemically, so they are formed in a quasi-closed system with a high rock/fluid ratio, while the tourmalines of group “b” are formed in an open system with a low rock/fluid ratio.

Tourmalines in the Velence Mountains can be divided into three major groups: 1.) tourmalines appearing in granite, pegmatites, and aplites (intragranitic tourmalines); 2.) tourmalines occurring in the miarolitic cavities of pegmatites (miarolitic tourmalines) and 3.) tourmalines appearing in the slate envelope (metasomatic tourmalines). Group 1 is represented by Al-poor schorl, Group 2 by schorl-elbaite mixed crystal, and Group 3 is represented by schorl, dravite, and foitite. Intragranitic tourmalines are primary magmatic phases, miarolitic tourmalines are precipitated from Li- and F-rich solutions, while metasomatic tourmalines are the products of the reaction of B-rich solutions separated from the granitic melt and the wallrock.

Tourmalines of the Bükk Mountains are related to the Middle Triassic metavolcanites. In the Szentistvánhegy Meta-andesite Formation, greyish blue dravite is found in quartz veinlets crosscutting red, massive meta-andesite, which is evolved from hydrothermal solutions. Its high Mg content is probably due to the dolomite occurring in the lower part of the formation and in the bedrock. The Bagolyhegy Metarhyolite Formation is associated with two types of tourmaline: 1.) fibrous fracture fillings and nests of black, acicular crystals in quartz-feldspar veins, which have been altered in some places to colourless foitite; 2.) black, cryptocrystalline cement of brecciated veins. There is no overlap in chemistry between the two types. Both are precipitated from hydrothermal solutions.

On the northern part of Rózsa Hill, near Nagyörzsöny, in the vicinity of the so called “Rózsa Mine” ore mineralization, tourmaline forms acicular crystals up to 1 mm in length; furthermore, it is also present as acicular-radial and felt-like clusters in the cavities of strongly silicified Miocene andesite. This tourmaline is zoned and represents the foitite (core) and magnesio-foitite (rim) mineral species. It precipitated from a hydrothermal solution, the temperature of which could be above 260 °C. The chemistry of the tourmaline was determined mainly by the composition of the hydrothermal fluid. Chemical zoning of the crystals is primarily due to the Fe ↔ Mg substitution. This substitution is interpreted as a record of the mixing of Fe-rich hydrothermal fluid and Mg- and Ca-rich descending waters.

1. Bevezetés, célkitűzések

A turmalin elnevezés a szingaléz *turmali* (vagy *thuramali*, *thoramalli*, *toramalli*) szóból származik, melyet különféle színű drágakövekre alkalmaztak a kereskedők Szerendíbben (később Ceylon, a mai Sri Lanka). A turmalinra vonatkozó első ismert írásos hivatkozás Theophrasztoz (i.e. 371–285) *De lapidibus* („A kövekről”) című művében található. Ebben a könyvben *lyngurium*nak nevezték a sárga turmalint, melyet fosszilizálódott hiúzvizeletnek (a hiúz görögül *linkasz*, latinul *lynx*) tartottak (Dietrich, 1985; Dutrow és Henry, 2011). Európában a turmalin a 18. század elején vált ismertté, amikor a kereskedők elkezdték importálni a Távols-Keletről a drágakőváltozatait (Pezzotta és Laurs, 2011). Ugyanebben az időben a drágakőként való jelentőségét kezdte elhalványítani a piroelektromos tulajdonságának felismerése, melynek első tudományos leírását 1747-ben Carl von Linné szolgáltatta, s az ásványt *lapis electricus*nak nevezte el. 1756-ban Franz Aepinus mutatta be, hogy melegítés hatására a turmalin „elektromossá” válik, és a kristályok szemközti pólusai ellentétes töltést nyernek. Ez utóbbi megfigyelést használták fel Benjamin Franklin pozitív és negatív elektromosságról szóló elméletének alátámasztására (Dutrow és Henry, 2011).

A turmalin nagyon sokáig megmaradt a fenti két szerepkörében: csodás ékkő és a piro-, de főleg a piezoelektromos tulajdonságait hasznosító eszközök egyik fontos alkatrésze [a turmalin ipari felhasználását részletesen Dietrich (1985) ismerteti]. A földtudományok szakemberei sokáig nem tulajdonítottak neki nagy jelentőséget, és a publikációkban szinte mindig csak a felsorolásokban szerepelt, mint egy érdekes, járulékos ásvány. Ez természetesen a magyarországi szakirodalomban is így volt. A turmalin megítélése az 1980-as évek közepén változott meg Henry és Guidotti (1985) mérföldkőnek számító tanulmányának köszönhetően. Ők mutatták meg talán először, hogy a turmalin mennyire hasznos petrogenetikai indikátorásvány, s publikációjuk lavinaszerűen indította el a turmalinkutatásokat világszerte. Százával születtek a kémiai elemzések, melyeket az AFM- és CFM-diagramokban ábrázolva információkat kaphattunk a turmalin anyaközetét illetően. Ebből a nagy fellendülésből hazánk sem maradt ki, bár igazából csak két tanulmány született a témában: a Kővágószlői Homokkő Formáció turmalinjait Sztanó és társai (1987–88), míg a Kőszegi-hegység egyes metamorfítjainak turmalinjait Demény (1987) vizsgálták.

Nemzetközi szintéren a turmalinkutatások nagy volumenét jelzik azok a konferenciák, illetve egyes folyóiratok tematikus számai, melyeket kizárólag a turmalinnak szenteltek. Hazánkban 2020-ban került a figyelem középpontjába az ásványcsoport, amikor – a

Magyarhoni Földtani Társulat által koordinált programsorozat keretében – az Év ásványának választották (Fehér, 2020a).

Amikor 2014-ben elkezdtem a hazai magmás és metamorf eredetű turmalinok kristálykémiai vizsgálatával foglalkozni, akkor a fent idézett Demény (1987) cikket és egy saját tanulmányomat (Fehér, 1998–99) leszámítva egyáltalán nem voltak publikált kémiai elemzések az ilyen genetikájú magyarországi turmalinokról.

A turmalin, ha sokféle műszeres technikával „vallatjuk”, akkor nagyon sok mindent elárulhat a kristálykémiai viszonyairól és képződési körülményeiről. A teljesség igénye nélkül néhány eljárás: elektronmikroszkop (az oxigénnél nehezebb főelemek), LA-ICP-MS (könnyűelemek, nyomelemek), SIMS (izotópok), Mössbauer-spektroszkópia (a vas vegyértékviszonyainak pontos kimérése), röntgen-egy kristálydiffrakció (a mért elemek pontos elosztása a kristályszerkezeti pozíciók között) és NMR-spektroszkópia (4-es koordinációjú Al és B meghatározása). Természetesen e technikák térbeli felbontása között nagyságrendi különbségek vannak, vagyis ha egy adott kristályon a fenti eljárásokból többet is alkalmazni tudunk, akkor a kapott információk nem pontosan ugyanabból a térfogathoz származnak.

Figyelembe véve az előző bekezdésben leírtakat és egy doktori dolgozat terjedelmi korlátait, két út állt előttem: 1.) kevés módszerrel sok mintát elemezni vagy 2.) sok módszerrel kevés mintát megvizsgálni. Mindkét verzióra találhatunk példákat külföldi disszertációkban, utalnék itt a turmalinok kutatásában élen járó egyik intézményben, a Manitobai Egyetemen (Winnipeg, Kanada) született két munkára (1. verzió: Selway, 1999; 2. verzió: Lussier, 2011). Magam az első változat mellett döntöttem, vagyis egy módszerre (elektronmikroszkop) alapozva sok turmalinminta került megvizsgálásra. A választásnak két fő oka volt. Egyrészt a hazai turmalinok kristálykémiai viszonyainak ismerete nagyon szegényes volt, így egy átfogó vizsgálat nagyon időszerűnek tűnt. A másik, praktikus okot pedig a Miskolci Egyetemen rendelkezésre álló műszerek jelentették.

Dolgozatommal tehát azt a cél tűztem ki, hogy a turmalinok kutatásában a nemzetközi szakirodalomhoz képest fennálló 35 éves lemaradásunkat némiképp csökkentsem. Ennek keretében a hazai magmás és metamorf kőzetekben járulékos alkotóként megjelenő turmalinokon több száz hullámhosszdiszperzív elektronmikroszkopos kémiai elemzést készítettem. Az így kapott adatokból elvégeztem a turmalinok kristálykémiai vizsgálatát és az érvényes nevezéktan szerint a fajszintű besorolásukat. Ezen túlmenően a kutatás célja még az volt, hogy a turmalinok kristálykémiai adataiból genetikai következtetéseket vonjunk le magára az ásványra, illetve a befogadó kőzetre vonatkozóan.

Mindezek előtt fontosnak tartottam egy teljes fejezetet szentelni a turmalinok általános jellemzésének, összeszedve a legfontosabb információt erről az ásványcsoportról, mivel modern magyar nyelvű irodalom ebben a témában nem létezik. Emellett ez a bevezető fejezet nagyban segíti az olvasót a dolgozat további részeinek megértésében. Külön fejezetben ismertetem az alkalmazott vizsgálati módszereket, illetve azokat a képletszámítási/normalizációs eljárásokat, amelyeket munkám során alkalmaztam.

A vizsgált turmalinokat lelőhelyek (hegységek) szerinti bontásban mutatom be, az egyes fejezetek sorrendjét a turmalint befogadó közet földtani kora határozza meg a legidősebbtől a legfiatalabb felé haladva: Vilyvitányi rög, Soproni-hegység, Velencei-hegység, Bükk és Nagybörzsöny. Magmás és metamorf genetikájú turmalinok ezeken kívül még más helyeken is találhatóak, de azok vagy nagyon jelentéktelenek (pl. Gyöngyösoroszi), vagy korábban már vizsgálták őket (pl. Kőszegi-hegység, lásd: Demény, 1987). Itt meg kell jegyezmem, hogy időközben Spránitz (2017), illetve Spránitz és társai (2017, 2018) feldolgozták a Soproni-hegység turmalintartalmú kőzeteit, számos kémiai elemzést publikálva az ásványról. Mivel a témába addigra már én is jócskán belemerültem, s rengeteg hullámhosszdiszperzív elektronmikroszkopos elemzést készítettem a soproni turmalinokról, ezt a területet semmiképp nem akartam kihagyni a dolgozatomból. Dolgozatom eredményeként 2020-ban egy ismeretterjesztő cikkben összegeztem a hazai turmalin-előfordulásokat (Fehér, 2020b).

Végezetül szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik a vizsgálatok és a dolgozat elkészítése során segítségemre voltak. A dolgozat alapvetően elektronmikroszkopos méréseken alapul. A Miskolci Egyetem Ásvány- és Kőzettani Intézeti Tanszékén lévő műszerrel, annak elvi felépítésével, kezelésével és a mérések kiértékelésével témavezetőm, dr. Zajzon Norbert tanszékvezető egyetemi docens ismertetett meg. A tanszéki laboratóriumok használatának lehetővé tételét dr. Máday Ferenc intézetigazgató egyetemi docensnek köszönöm. A mintákról Debus Délia készített kiváló minőségű, polírozott felületi csiszolatokat.

Egyes fejezetek átnézéséért dr. Benkó Zsolt (Debreceni Egyetem és ATOMKI, Debrecen) és dr. Németh Norbert (Miskolci Egyetem) tanszékvezető egyetemi docenseknek, valamint a témában megjelent publikációim lektorainak (lásd ott) tartozom köszönettel.

A disszertáció előbírálataért, az abban megfogalmazott hasznos észrevételekért dr. Papp Gábor tanszékvezetőnek (Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest) és dr. Székely Sándor egyetemi tanárnak (Miskolci Egyetem) mondok köszönetet.

Végül egyes vizsgálati mintákért köszönet illeti a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálatot (Budapest), kiemelve dr. Péterdi Bálint segítségét, valamint Lévai Zsolt, Nagy Mónika és Mesics Gábor ásványgyűjtőket.

2. A turmalinok általános jellemzése

2.1. A turmalinkristályok alaktani tulajdonságai

A turmalinok a ditrigonális piramisos osztályban (nemzetközi jele: $3m$) kristályosodnak. A turmalinkristályok általában a c -tengely szerint megnyúlt, oszlopos termetűek, jellemző a prizmazóna hosszanti barázdáltsága (2.1/A. ábra). Előfordul, hogy az oszlopok szá-lakká vékonyodnak, sőt, azbesztszerű turmalinokról is történt már említés. A kristályok ha-bitusa lehet még zömök oszlopos, piramisos, lencseszerű, táblás vagy izometrikus is (2.1/B-C. ábrák).

A turmalin szimmetriacentrum nélküli, poláros ásvány. A főtengely mindkét végén terminált kristályokon a hemimorfia jól megfigyelhető, mivel az ellentétes kristályvégeken – a $+c$ antilóg póluson és a $-c$ analóg póluson – más-más kristályformák is kifejlődhetnek. Jellemző, hogy a kristályok antilóg pólusán a piramislapok „csúcsosabbak” és több forma alakul ki, mint az analóg póluson (2.1. és 2.2. ábrák). A fenn-nőtt, így csak egyik végükön terminált kristályokon általában az antilóg pólus formái fejlődnek ki. Megfigyelték még, hogy a $\{0001\}$ véglap fénye erősebb az antilóg, mint a $\{000\bar{1}\}$ fénye az analóg póluson (Dietrich, 1985). A turmalin piroelektromos és piezoelektromos tulajdonsága a hemimorf szimmetriából ered.

Ez ideig a turmalinnak több mint 200 kristályformáját írták le, melyek közül a 19 leg-gyakoribb Goldschmidt (1923) szerint a következő: $c\{0001\}$ véglap; $m\{10\bar{1}0\}$ trigonális prizma; $a\{11\bar{2}0\}$ hatszöges prizma; $h\{41\bar{5}0\}$, $l\{52\bar{7}0\}$, $\sigma\{21\bar{3}0\}$ ditrigonális prizmák; $e\{01\bar{1}2\}$, $g\{10\bar{1}2\}$, $o\{02\bar{2}1\}$, $r\{10\bar{1}1\}$, $y\{40\bar{4}1\}$, $z\{01\bar{1}1\}$, $\kappa\{05\bar{5}1\}$, $\zeta\{07\bar{7}2\}$ trigoná-lis piramisok; $q\{31\bar{4}2\}$, $t\{21\bar{3}1\}$, $u\{32\bar{5}1\}$, $v\{13\bar{4}1\}$, $x\{12\bar{3}2\}$ ditrigonális piramisok.

A turmalinkristályok – főleg azok, amelyek pegmatitokban találhatóak – meglehetősen nagy méreteket érhetnek el: például 2,7 m hosszú kristályt találtak Nuevoban (Riverside megye, Kalifornia, USA), míg 3 m hosszú és 1 m széles sörli került elő a svédországi Skrum-petorból (Dietrich, 1985; Lyckberg, 1997).

Ikresedett turmalinokat nagyon ritkán figyeltek meg, s ezek a leírások is főleg a 19. századból valók. Egyelőre úgy tűnik, hogy az $\{10\bar{1}1\}$ és $\{40\bar{4}1\}$ ikersíkok szerinti ikrei fordulnak csak elő a természetben (2.3. ábra); a többi, turmalinra közölt ikertörvény bizony-talannak tekinthető.

2.2. A turmalinok fizikai tulajdonságai

Egyes kézikönyvek szerint (pl. Dana, 1892; Deer és társai, 1997) a turmalinok az $\{11\bar{2}0\}$ és az $\{10\bar{1}1\}$ szerint nagyon rosszul *hasadnak*. Ezek a megfigyelések azonban csak a három leggyakoribb turmalinra (elbait, drávit, sörl) vonatkoztathatók, mivel az újabb turmalinfajok leírásánál általában a hasadás hiányát közlik. Ez alól a buergerit kivétel; Donnay és társai (1966) határozott prizmás hasadást írtak le a buergeritnél, ellentétben tehát a gyakori turmalinok rossz hasadásával (a hasadási sík indexét azonban nem közlik).

A turmalinok törékeny (rideg) ásványok, törési felületük egyenetlen vagy kagylós. A c -tengellyel párhuzamos – hosszirányú – metszetéről készült vékonycsiszolatban a $\{0001\}$ -gyel közel párhuzamos, egyenetlen lefutású törési felületek figyelhetők meg; ez a turmalinokra jellemző tulajdonság, mely nagyban megkönnyíti azonosításukat. Dunn és társai (1977) $\{0001\}$ szerinti rossz hasadást tulajdonítottak a liddicoatitnak. Elképzelhető, hogy a fent említett elválási felületeket értelmezték hasadási síkoknak.

A turmalinok *keménységére* a Mohs-féle skálán 7-es, illetve néha kissé nagyobb, 7,5-es értéket adnak meg. A turmalinfőcsoport több tagjára meghatározták a Vickers-féle mikrokeménység értékét, amely például az olenit esetében 100 g terheléssel mérve 676–820 kg/mm² (Szokolov és társai, 1986). A turmalinok *sűrűsége* kémiai összetételük függvényében 2,90–3,33 g/cm³ között változik.

A turmalin sok más hemimorf ásványhoz hasonlóan piroelektromos és piezoelektromos tulajdonságokat mutat. Ha a turmalinkristályt hő hatásának tesszük ki, akkor a prizma két vége elektromosan töltötté válik. Ez a *piroelektromosság*. A kristály pozitív töltésű végét *analóg*, míg a negatív töltésű végét *antilóg* pólusnak nevezzük. Ha ezután a kristályt elkezdjük hűteni, akkor az elektromos töltések felcserélődnek. Megfordítva: ha a turmalint elektromos mezőbe helyezünk, akkor hőáramlás indul meg a kristály analóg pólusa felől az antilóg pólus felé.

A turmalin nyomás hatására is elektromosan töltötté válik, ezt nevezzük *piezoelektromosságnak*. Ha a nyomást a c -tengely felől gyakoroljuk, akkor a kristály antilóg vége lesz pozitív töltésű, míg az analóg pólus negatív töltést nyer. Dekompresszió esetén a töltések felcserélődnek.

A turmalinok *színe* igen változatos. Némi túlzással azt is mondhatnánk, hogy a szivárvány minden színében megjelennek. Általában még egy-egy fajnak sincs karakterisztikus színe, amiből az következik, hogy az egyes turmalinfajok nem különíthetők el egymástól pusztán csak a színük alapján. A turmalinok gyakran mutatnak színzónásságot, ez sokszor

nemcsak vékonycsiszolatban, de a kézipéldányokon is megfigyelhető. A színzónásság az elbaitokban a leggyakoribb, de megfigyelték sok más turmalinban is. Az sem ritkaság, hogy egy kristályon belül a különböző zónák más-más turmalinfajokat képviselnek. A kristálytani irányokhoz képest a színzónásságnak két típusa különíthető el: 1.) A *c*-tengellyel párhuzamos színzónásság; 2.) A *c*-tengelyre merőleges színzónásság. Az első esetben a prizmás kristályokon jól megfigyelhető a *c*-tengely menti színváltozás; gyakori, hogy a prizmás kristály egyik fele zöld, míg a másik fele rózsaszín. Azokat a színtelen vagy majdnem színtelen kristályokat, melyek egyik vége vörös színben végződik, „törökfejnek” nevezik, hasonlóan a fekete végződésű „mórfejhez” („szerecsenfej”). A második esetben tehát a *c*-tengelyre merőlegesen, azaz a prizmazónával párhuzamosan fejlődik ki a színzónásság. Gyakori például az az eset, hogy a kristályok szegélye zöld, míg a magja rózsaszín színű; ez a „dinnyeturmalin”, vagy még pontosabban „görögdinnye-turmalin”.

Az *átlátszóság* tekintetében is igen változatosak a turmalinok. A színtelen vagy gyengén színezett változatok átlátszóak, míg az erősebben színezett példányok áttetszőek. Ritkán a nagy Fe-tartalmú, fekete változatok átlátszatlanok, opakok is lehetnek.

A turmalinok *karca* (porszíne) általában fehér, de gyakran pongyolán színtelenként adják meg (mivel a fehér, mázatlan porcelánon nem látszik a fehér porszín). Egyes sötét példányok karca gyengén színezett lehet: például a sötétzöld elbait karca világoszöld, vagy a barna drávit karca világosbarna stb. Csak a buergerit és a povondrait karca színezett mindig: az előbbié sárgásbarna (Donnay és társai, 1966), míg az utóbbié barna színű (Walenta és Dunn, 1979).

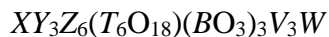
A turmalinok általában üveg-, illetve gyantafényűek. A vékony, szálakristályokból álló aggregátumok selymes, bársonyos fényűek lehetnek.

A turmalinok mind optikailag egytengelyű és negatív optikai jellegű ásványok. Az abszorpció minden esetben: $\omega > \varepsilon$. A turmalinok – főleg az erősebben színezett változatok – pleokroizmusos általában erős, a pleokroós színek nagyon változatosak. A törésmutatók értékei – összetételtől függően – $\omega = 1,633\text{--}1,820$ és $\varepsilon = 1,612\text{--}1,751$ között változnak (Anthony és társai, 1995).

2.3. A turmalinok kristályszerkezete

A turmalinfőcsoport tagjai a trigonális kristályrendszer $R3m$ tércsoportjában kristályosodó cikloszilikátok (néhány esetben a szimmetria rombosra, monoklinra vagy triklinre is csökkenhet bizonyos kation-konfigurációk miatt). Elemi cellájuk paraméterei a következő

tartományokban mozognak: $a = 15,770\text{--}16,186 \text{ \AA}$; $c = 7,085\text{--}7,444 \text{ \AA}$ (Anthony és társai, 1995). Ásványrendszertani besorolásuk Strunz és Nickel (2001) szerint: 9. osztály: Szilikátok; 9.C. divízió: Cikloszilikátok; 9.CK. aldivízió: $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$ hattagú egyszerű gyűrűk, elszigetelt komplex anionokkal; 9.CK.05. Turmalincsoport. A főcsoport tagjaira az alábbi általános kristálykémiái képlet írható fel (Henry és társai, 2011):



A turmalinok szerkezeti leírását alapvetően Selway (1999) munkája alapján foglalom össze. A turmalinok szerkezetében öt kationpozíció található, melyeket T , B , Z , Y és X betűkkel jelölünk (lásd a fenti általános képletet). A T -pozíciót tetraédesen koordinálják az $O(4)\text{--}O(7)$ anionok, ahol a T -kation a tetraéder közepén található. A $T\text{--}O$ kötéshosszak $1,602$ és $1,626 \text{ \AA}$ között változnak. A TO_4 -tetraéderek hattagú, T_6O_{18} összetételű gyűrűkké kapcsolódnak, ezekben mindegyik tetraéder csúcsi oxigénje az analóg pólus ($-c$) felé néz. Mindegyik TO_4 -tetraéder közös csúcsokkal kapcsolódik két szomszédos tetraéderhez, valamint egy YO_6 - és egy ZO_6 -oktaéderhez (2.4. ábra).

A B -pozíciót három oxigén – egy $O(2)$ és két $O(8)$ – koordinálja egy BO_3 -háromszöget képezve, B -vel a középpontjában. A $B\text{--}O$ kötéshosszak $1,36$ és $1,38 \text{ \AA}$ között változnak. A BO_3 -csoportok párhuzamosak a $\{0001\}$ -gyel és közös csúcsokkal kapcsolódnak két-két YO_6 - és ZO_6 -oktaéderhez. Mindegyik BO_3 -csoport kötést létesít egy X -kationhoz is (2.4. ábra).

A Z -kationt oktaédesen koordinálja hat anion: egy $O(3) (\equiv V)$, egy $O(6)$, két $O(7)$ és két $O(8)$. A $Z\text{--}O$ kötéshosszak $1,898$ és $2,007 \text{ \AA}$ között változnak. A ZO_6 -oktaéder kisebb, mint az YO_6 -oktaéder és némileg torzult is. Mindegyik ZO_6 -oktaéder három, a szerkezet különböző szintjeiben lévő T_6O_{18} -gyűrűhöz kapcsolódva csigavonalat formáz a 3_1 csavarótengetely körül. Emellett a ZO_6 -oktaéderek két, eltérő szintben lévő BO_3 -háromszöghöz is kapcsolódnak. Végül közös éllel az YO_6 -oktaéderekkel is érintkeznek (2.4. ábra).

Az Y -kationt oktaédesen koordinálja hat anion: egy $O(1) (\equiv W)$, két $O(2)$, két $O(6)$ és egy $O(3) (\equiv V)$. Az $Y\text{--}O$ kötéshosszak $1,936$ és $2,055 \text{ \AA}$ között változnak. Az YO_6 -oktaéderek azonos távolságra vannak a trigirtől és a felettük lévő TO_4 -tetraéderek $O(6)$ anionjai, valamint a BO_3 -háromszögek $O(2)$ anionjai között helyezkednek el. Három YO_6 -oktaéder közös éllel kapcsolódva csoportot alkot, melyek közös anionja az $O(1)$. Ezen túlmenően mindegyik YO_6 -oktaéder közös éllel két szomszédos ZO_6 -oktaéderhez is kapcsolódik, illetve az X -kation felé is kötést létesít (2.4. ábra).

Az X -kation koordinációja 9-es vagy 10-es: egy $O(1)$, három $O(2)$, három $O(4)$ és három $O(5)$ anionhoz kapcsolódik. Az $X\text{--}O$ kötéshosszak $2,645$ és $2,738 \text{ \AA}$ között változnak.

Az X -pozíció a trigír mentén található, a hattagú T_6O_{18} -gyűrűk között. Az X -kation három BO_3 -háromszöghöz, három YO_6 -oktaéderhez, hat TO_4 -tetraéderhez és egy $O(1)$ anionhoz kapcsolódik (2.4. ábra).

2.4. A turmalinok kristálykémiája

A turmalinok – kristályszerkezetüknek köszönhetően, melyben 3-as, 4-es, 6-os és 9-es (10-es) koordinációjú kationpozíciók is vannak – a kémiai elemek széles skáláját képesek rácsukba beépíteni. Kis túlzással azt is mondhatjuk, hogy a periódusos rendszer majd’ minden, természetben is előforduló elemét megfigyelték turmalinokban. Ezt a gyakoribb turmalinfajokra Dietrich (1985) szemléletesen mutatja be periódusos rendszerekben ábrázolva. Emiatt szokták a turmalint a természet lomtárának vagy szemetesládájának is nevezni (Bragg, 1937). Mivel dolgozatomban a turmalinok nyomelemvizsgálatával nem foglalkozom, ezért ebben az alfejezetben csak az egyes kristályszerkezeti pozíciókban előforduló fő és mellékes elemeket, valamint a fontosabb elemhelyettesítési mechanizmusokat mutatom be.

A T -pozíciót uralkodóan szilícium tölti be, más elemek csak kis mennyiségben lehetnek jelen. Ezek közül a leggyakoribb helyettesítő – sok más szilikáthoz hasonlóan – az alumínium, melynek maximális mennyisége kb. 0,5 *apfu* lehet (Henry és Dutrow, 1996). Povondra (1981) szerint a titán is a T -pozícióba épül be. Ezt a megállapítását arra alapozta, hogy a Ti^{4+} -ionnak azonos a vegyértéke a szilíciuméval (+4), másrészt pedig a sörl-drávit-sorozatban erős negatív korrelációt tapasztalt a Si- és Ti-tartalom között. Későbbi vizsgálatok azonban azt igazolták, hogy a Ti az Y -pozíciót preferálja a turmalin szerkezetében, amit a közelmúltban elfogadott dutrowit is igazol, melyben a Ti már fő komponensként jelenik meg az Y -pozícióban (Biagioni és társai, 2020). Azoknál a kémiai elemzéseknél, ahol mérték bór, és a bórtartalom meghaladta az ideális 3 *apfu* értéket, a bórfelesleget mindig a T -pozícióba helyezik. Tetraéderesen koordinált bór jelenlétét főleg Al-gazdag turmalinokban (olenit, elbait, liddicoatit) igazolták NMR-spektroszkópiával (Tagg és társai, 1999), valamint egykristály röntgen-diffrakciós és SIMS mérések kombinációjával (Hughes és társai, 2000; Ertl és társai, 2006). A legmagasabb bórtartalom a T -pozícióban egészen jelentős, 1,06 *apfu* is lehet (Hughes és társai, 2000). Mesterséges turmalint is elő tudtak állítani tetraéderesen koordinált bórral (Schreyer és társai, 2000). Ugyanakkor Bloodaxe és társai (1999) a sörl-drávit-sorozatban a feleslegben mért bór elemzési hibának tartották, mivel egykristály röntgen-szerkezetfinomítással nem tudták igazolni a T -pozícióban való jelenlétét.

A *B*-pozíciót kizárólag bór tölti be, itt elemhelyettesítések nem lehetségesek. Azoknál a kémiai elemzéseknél, ahol mérték bór és a bórtartalom nem érte el az ideális 3 *apfu* értéket (pl. Dyar és társai, 1998), feltételezhető, hogy a pozíció egy része betöltetlen maradt. A *B*-ben vakanciák jelenlétét azonban ez ideig egyértelműen nem sikerült igazolni, még elméleti lehetőségként sem (Hawthorne, 1996).

A ZO_6 -oktaéder az YO_6 -nál kisebb és némileg torzultabb, így a *Z*-pozíciót főleg háromvegyértékű kationok töltik be. A gyakoribb turmalinfajoknál itt a domináns kation az alumínium, de speciális földtani környezetekben a Fe^{3+} , Cr^{3+} és V^{3+} is fő elemként lehet jelen. A kétvegyértékű kationok közül a Mg^{2+} beépülése általános, míg az utóbbi időkben a Fe^{2+} jelenlétét is kimutatták (Bosi, 2008).

Az *Y*-pozíciót az egy-, két-, három- és négyvegyértékű kationok széles skálája betöltheti, ezek: Li^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , V^{3+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} és Ti^{4+} . A kristályszerkezeti finomítások arra utalnak, hogy betöltetlen pozíció (üres hely) alig van, vagy egyáltalán nincs az *Y*-pozícióban (Hawthorne és társai, 1993). Ugyanakkor számos kémiai elemzés azt mutatja, hogy a *Z* + *Y* kationjainak száma sokszor nem éri el az elméleti 9 *apfu* értéket. Bosi (2010) kötésvegyérték-számításai alapján, ha egyáltalán vannak betöltetlen helyek az oktaédes pozíciókban, akkor ezek inkább az *Y*-pozícióra jellemzőek a *Z*-vel szemben.

A 9-es koordinációjú *X*-pozíciót a gyakoribb turmalinokban Na^+ vagy Ca^{2+} tölti be. Nagyon gyakori azonban, hogy ezek mennyisége az ideális 1 *apfu*-t nem éri el, vagyis a kationpozíciók egy része betöltetlen marad. Az üres kationpozíciókat (vakanciákat) általában □ szimbólummal jelölik. Mennyiségük az *X*-ben meghaladhatja a 0,5 *apfu* értéket, vagyis léteznek a természetben *X*-kationban hiányos turmalinfajok is. Egészen a közelmúltig úgy vélték, hogy a K^+ csak kis mennyiségben tud beépülni a turmalin szerkezetébe. Újabb azonban – ultranagy nyomású metamorf környezetekben – *K*-domináns turmalinokat is leírtak (Shimizu és Ogasawara, 2013; Lussier és társai, 2016). Végezetül az ólom jelenlétét kell megemlítenünk, melynek mennyisége a 0,74 *apfu*-t is elérheti az *X*-pozícióban, bár hivatalosan a *Pb*-domináns turmalint ásványfajként még nem fogadták el (Sokolov és Martin, 2009).

A turmalin szerkezetében nyolc anionpozíció található, melyeket O(1)-től O(8)-ig jelölnek (2.4/C. ábra). Ezek közül az O(2) és O(4)–O(8) pozíciókat kizárólag O^{2-} töltheti be, míg az O(1) és O(3) pozíciók vegyes betöltésűek (Hawthorne, 2002). Ezért ez utóbbiakat a turmalin általános szerkezeti képletében (lásd a 2.3. alfejezetet) rendre *W* és *V* betűkkel jelölik (Henry és társai, 2011). A *W*-pozíciót általában $(OH)^-$, ritkábban F^- vagy O^{2-} tölti be,

a Cl^- csak elhanyagolható mértékben tud ide beépülni. A V-pozíció rendszerint (OH)-domináns, itt még O^{2-} jelenhet meg (Henry és Dutrow, 1996).

A turmalin különböző szerkezeti pozícióiban általánosak az elemhelyettesítések. Ezeknek két fő típusa létezik, a homovalens és a heterovalens helyettesítések. *Homovalens* helyettesítés esetén azonos vegyértékű ionok helyettesítik egymást; ez a helyettesítési forma rendszerint egy kristályszerkezeti pozícióban játszódik le és gyors elemdiffúzióval van kapcsolatban. Leggyakoribb formája az Y-pozícióban a Mg^{2+} és Fe^{2+} helyettesítése egymással.

A *heterovalens* helyettesítések komplikáltabbak. Ezek párokban (vagy még összetettebb kombinációkban) fordulnak elő annak érdekében, hogy a kristály töltésegyensúlya (elektroneutralitása) fennmaradjon, és lassú elemdiffúzióval járnak együtt. Heterovalens helyettesítések különböző vegyértékű ionokat és több kristályszerkezeti pozíciót érintenek.

A turmalinokban észlelt gyakoribb elemhelyettesítéseket a 2.1. táblázatban foglaltuk össze. A helyettesítési mechanizmusokat kétféle módon, egyenletekkel és vektorokkal lehet kifejezni. Az egyenlettel történő leírásnak az az előnye, hogy könnyebben érthető, hiszen mind a résztvevő elemek, mind az érintett kristályszerkezeti pozíciók egyértelműen jelölve vannak, a vektoros kifejezés pedig tömörségénél fogva hasznos (Burt, 1989).

2.5. A turmalinok osztályozása és nevezéktana

A turmalint nagyon sokáig egyetlen ásványnak tekintették (pl. Hamlin, 1873; Dana, 1892). A színváltozatait már a 19. században is elég jól ismerték, számos elnevezés származik ebből az időből (a színváltozatokra az alfejezet végén még röviden kitérek). Dana (1892) könyvében ugyanakkor még csak változatokként szerepelnek az eltérő kémiai turmalinok, ezek négy csoportját említi: alkáliturmalinok, vasturmalinok, magnéziumturmalinok és krómturmalinok. Az ő rendszerében a később faj státuszt elnyerő sörl és drávit még csak fekete, illetve barna színváltozatokként jelennek meg.

A 20. század első felében a turmalin nevet már inkább csoportszinten használták és három fő típusát különböztették meg: elbait = alkáliturmalin, sörl = vasturmalin és drávit = magnéziumturmalin (lásd pl. Koch és Sztrókay, 1967). Ez még nagyjából a Dana-féle (1892) rendszertannak felel meg, azzal kiegészítve, hogy a sörl és drávit megnevezés itt már egy-egy határozott kémiai jellegű ásványfajt jelöl. A változás a 20. század második felétől indult el. Hamburger és Buerger (1948) leírta a turmalinok ma elfogadott szerkezeti modelljét, s

ezután az 1960-as évek második felétől sorra elkezdtek publikálni az újabb és újabb turmalinfajokat. 1985-re már nyolcra emelkedett a turmalinfajok száma, így Dietrich ez évben megjelent könyve „A turmalincsoport” (*The tourmaline group*) címet kapta.

A turmalinok osztályozásával és nevezéktanával számos tanulmány foglalkozott (pl. Kornyetova, 1975; Henry és Dutrow, 1996; Hawthorne és Henry, 1999; Zolotarjov és társai, 2006; Andrijanyec-Bujko és társai, 2007). Ezek áttekintése nagyon tanulságos lenne, hiszen különféle szempontok kerülnének így felszínre, azonban helyhiány miatt ettől most eltekintek. Az egyre szaporodó turmalinfajok, illetve a nevezéktanban uralkodó bizonytalanságok miatt a Nemzetközi Ásványtani Társaság (International Mineralogical Association, IMA) az új ásványfajok, a nevezéktan és rendszertan ügyében illetékes bizottsága (Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification, CNMNC) létrehozta a Turmalin Nevezéktani Albizottságot (Subcommittee on Tourmaline Nomenclature, STN), mely 2011-ben publikálta az IMA által elfogadott, tehát *hivatalos* turmalinnomenklaturát (Henry és társai, 2011). A továbbiakban – hacsak más munkákra nem hivatkozom – ez alapján tekintem át vázlatosan a turmalinok nevezéktani kérdéseit.

Először is kezdjük azzal, hogy a turmalin ma már *hivatalosan* nem csoport, hanem *főcsoport* (szuper csoport) szintű elnevezés. Ennek alapja az IMA CNMNC által elfogadott, az ásványcsoportok hierarchiájáról szóló szabályzat (Mills és társai, 2009), melynek részleteibe most nem mennék bele, bár véleményem szerint nem mentes az ellentmondásoktól és a nem túl precíz megfogalmazásoktól. Így a korábbi turmalincsoport most főcsoporttá vált, a korábbi alcsoportjaiból pedig csoportok lettek. Ez a turmalinok esetében különösen nagy változást nem jelent, az egész ásványrendszertant tekintve azonban még jelentőséggel bírhat.

Mivel a turmalinok izostrukturális (azonos szerkezetű) ásványok, melyek az $R3m$ tércsoportban kristályosodnak (az alacsonyabb szimmetriájú szerkezeti módosulatokról a későbbiekben még említést teszek), ezért az osztályozásuk alapja a kémiai összetételük, még pontosabban egy adott kristályszerkezeti pozícióban a domináns vegyértékű kémiai alkotó túlsúlya. A „kémiai alkotó” egy adott kationt vagy aniont, ugyanolyan vegyértékű atomok csoportját, molekuláris csoportot vagy üres szerkezeti pozíciót (vakanciát) jelent. Ez a *domináns alkotó szabály*, melynek kiterjesztése a *domináns vegyérték szabály* (Hatert és Burke, 2008). Ez utóbbi szerint egy adott kristályszerkezeti pozícióban a domináns vegyértékállapotú domináns ion az osztályozás alapja. Tovább bonyolíthatják a dolgot a heterovalens (párosított) helyettesítések, melyek mindig több pozíciót érintenek, s így olyan szélső tagok is lehetségesek, melyekben egy pozíciót kétféle ion tölt be. Ezt *vegyérték által kikényszerített kettős pozícióbetöltésnek* nevezzük (Hatert és Burke, 2008).

A *szélső tag* egy algebrai és kémiai absztrakció, mely nem redukálható és összhangban van az adott ásványcsoport kristályszerkezetével. A nem redukálható azt jelenti, hogy a szélső tag összetételét nem lehet másik két szélső tag összetételének kombinációjával előállítani. Ebből az is következik, hogy egy szélső tag összetételében *legfeljebb egy* olyan kristályszerkezeti pozíció lehet, melyet kétféle ion tölt be (Hawthorne, 2002). A 2.2. táblázatban mindegyik turmalinfajra a szélső tag összetételét adjuk meg. Itt meg kell jegyeznünk, hogy szélső tagok definiálása nemcsak az osztályozás és nevezéktan szempontjából fontosak, hanem termodinamikai célokból is. Ugyanis a szélső tagok termodinamikai tulajdonságait lehet csak meghatározni, tekintet nélkül arra, hogy azok előfordulnak-e a természetben vagy sem. A termodinamikai tulajdonságok pedig fontosak a szilárd oldatok viselkedésének modellezésére a közettani és geokémiai folyamatokban.

A turmalinfőcsoport ásványait először is három csoportra célszerű osztani az *X*-pozícióban domináns kémiai alkotó alapján: a.) alkálicsoport (domináns alkotó a Na^+ , ritkábban a K^+); b.) kalciumos csoport (domináns alkotó a Ca^{2+}) és c.) *X*-hiányos csoport, ahol az *X*-pozíciók nagyobb része betöltetlen marad. Számítanilag a turmalin az *alkálicsoport*ba tartozik, ha $(\text{Na}^+ + \text{K}^+) \geq \text{Ca}^{2+}$ és $(\text{Na}^+ + \text{K}^+) \geq \square$; a *kalciumos* csoport esetében $\text{Ca}^{2+} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ és $\text{Ca}^{2+} > \square$; végül az *X-hiányos* turmalinok csoportjában $\square > (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ és $\square > \text{Ca}^{2+}$ (2.5. ábra). Annyit még meg kell jegyeznünk, hogy az alkáliturmalinok esetében a Na-domináns ásványoknak van úgynevezett gyöknevük. A K-domináns ásványok nevét úgy képezzük, hogy a gyöknev elé a „kálium-” előtagot illesztjük (mint a 2.2. táblázatban látható, ezt következetesen nem tartják be).

A *W*-pozícióban háromféle anion $[(\text{OH})^-]$, F^- és O^{2-} lehet dominánsan jelen, így a *W* betöltöttsége szolgál alapul a turmalinok három sorozatához; ezek a hidroxid-, a fluor- és az oxiturmalinok. Ezt a három sorozatot a következő módon definiáljuk; *hidroxid*, ha $(\text{OH})^- + \text{F}^- \geq \text{O}^{2-}$ és $(\text{OH})^- \geq \text{F}^-$; *fluor*, ha $(\text{OH})^- + \text{F}^- \geq \text{O}^{2-}$ és $\text{F}^- > (\text{OH})^-$; *oxi*, ha $\text{O}^{2-} > (\text{OH})^- + \text{F}^-$. Mint a 2.6. ábrából látható, a *W*-pozíció betöltöttsége alapján meghatározott turmalinsorozatok különböznek az *X*-pozíció által meghatározott csoportoktól (2.5. ábra), mivel az előbbi esetben kétféle anionnak is -1 a töltése $[(\text{OH})^-]$ és F^- és egy anion -2 töltésű (O^{2-}). Következésképpen az O^{2-} csak úgy lehet domináns anion a *W*-ben, ha mennyisége meghaladja az 50%-ot, míg ugyanez nem áll az $(\text{OH})^-$ -ra és F^- -re. A turmalin-nevezéktanban az $(\text{OH})^-$ -domináns fajoknak van gyöknevük, míg a F^- -domináns ásványok „fluor-” előtagot kapnak. Az oxiturmalinok esetében bonyolultabb a helyzet, mivel az oxigén *W*-ben csak úgy lehet jelen, ha egy másik pozícióban is kationhelyettesítés történik. Emiatt az oxiturmalinok általában

saját gyöknevet kapnak, bizonyos esetekben azonban a gyöknevé elé illesztett „oxi-” előtaggal különböztetjük meg őket (lásd a 2.2. táblázatot).

A turmalinok osztályozásában és nevezéktanában a *T*- és *B*-pozícióknak egyáltalán nincs szerepük, mivel előbbit dominánsan mindig szilícium, míg utóbbit bór tölti be. Így a turmalinfajok további definiálásában a két oktaéderez pozíciót (*Y* és *Z*) dominánsan betöltő kémiai alkotók, ritka esetekben pedig még a *V*-pozíció anionja vesznek részt.

Az IMA által elfogadott nevezéktan 2011-es publikálásakor 18 érvényes turmalinfajt tartottak nyilván; ez a szám mára 35-re emelkedett (lásd a 2.2. táblázatot).

Bár a turmalinok az *R3m* tércsoportban kristályosodó trigonális ásványok, egyes mintákban szimmetriacsökkenés figyelhető meg. Például Akizuki és társai (2001) madagaszkári liddicoatit és elbait egykristályokban triklin, rombos és romboéderez doméneket írtak le. Shtukenberg és társai (2007) optikailag kéttengelyű, triklin szimmetriájú elbait-liddicoatitot határoztak meg Oroszországból. Később Hughes és társai (2011) szektorzónás, triklin, Nirtartalmú drávittról közöltek adatokat a Berezovszkoje aranytelepből (Oroszország). A turmalin-nevezéktan alapján (Henry és társai, 2011) az ilyen csökkent szimmetriájú turmalinok nem kapnak külön nevet, hanem az ásványnévhez kapcsolt utótaggal kell jelezni a szimmetriacsökkenést: pl. a rombos módosulatok *O*, a monoklinok *M*, a triklínek pedig *T* utótagot kapnak. Így a triklin szimmetriájú elbait megnevezése: elbait-*T*.

A fentiek tükrében érdekességként megemlítem, hogy az IMA CNMNC 2009-ben új ásványfajnak elfogadta a sörl monoklin szimmetriájú (*Cm* tércsoport) módosulatát (IMA 2009-046 szám alatt), mely a luinait-(OH) nevet kapta. A szimmetriacsökkenést a Fe^{3+} és Al^{3+} kationok rendeződése okozza. A luinait-(OH) hivatalos leírása azóta sem történt meg, csupán két topografikus ásványtani cikkben közöltek róla adatokat (Kolitsch és társai, 2011, 2013). Utóbbi tanulmányban a luinait-(OH) fluor-analógja, a luinait-(F) is említésre kerül.

Végezetül érdemes megemlíteni a gyakoribb színváltozatokat, melyek nevét még ma is nagy előszeretettel használják mind a drágakő-kereskedők, mind pedig az ásványgyűjtők. Az egyszínű változatok közül a gyakoribb elnevezések: *akroit* = színtelen, *indigolit* = kék, *rubellit* = rózsaszín vagy vörös és *verdelit* = zöld. Fontos megjegyezni, hogy ezek a színváltozatok nem sorolhatók be egy-egy turmalinfaj alá. Gyakori hiba például, hogy a rubellit az elbait rózsaszín változatának tekintik, holott ezzel a névvel más rózsaszín turmalint (pl. fluorliddicoatitot, rossmanitot) is jelölhetünk. Ugyanígy vigyázni kell arra, hogy a sörl elnevezés ma már nem használható minden fekete turmalinra, hiszen az érvényes nevezéktan szerint a sörl nem egy színváltozat, hanem egy turmalinfaj neve.

Vannak olyan színváltozatok, melyek többszínű (színzónás) turmalinokat jelölnek. A két leggyakoribb elnevezés talán a *mórfej* (a *c*-tengely mentén zónás, egyik végén világos színű, másik végén fekete turmalin) és a (görög)*dinnyeturmalin* (a *c*-tengelyre merőlegesen zónás, kívül zöld, belül rózsaszín turmalin).

2.6. A bór geokémiájáról röviden

Ha gondosan tanulmányozzuk a 2.2. táblázatot, akkor azt láthatjuk, hogy csupán három olyan kémiai elem van, amelyik mindegyik turmalin ideális összetételében megjelenik: az oxigén, a szilícium és a bór. Míg az oxigén és a szilícium a földkéreg két leggyakoribb eleme, addig a bór a ritka elemek közé tartozik, földkéregbeli gyakorisága átlagosan 10 ppm alatti (Christ és Harder, 1978). Ebből az következik, hogy a turmalin képződésének legalapvetőbb feltétele a megfelelő mennyiségű bór jelenléte. Emiatt célszerű a bór geokémiáját röviden áttekinteni, különös tekintettel a kontinentális litoszféra közeteire.

A bór az 5-ös rendszámú elem, elektronszerkezete: $[\text{He}]2s^22p^1$. A periódusos rendszer III. csoportjában az egyetlen elem, amelyik nemfém és sok hasonlóságot mutat az elemi szénnel és a szilíciummal. Nagyon magas az ionizációs potenciálja, ami azt jelenti, hogy a B^{3+} -ion előállításához szükséges teljes energia meghaladja az eredményként kapott szilárd anyag kompenzáló szerkezeti energiáját, emiatt a bór inkább kovalens kötések képez. A bórnak azonban csak három elektronja van a kovalens kötés létesítéséhez, emiatt erős elektronpár akceptor, mely nagyon erős affinitást mutat az oxigénhez (Hawthorne és társai, 1996). Emiatt néhány ritka halogenidtől (avogadrit, barberiit, ferruccit és knaszibfit) és nitridtől (qingsongit) eltekintve a bór az ásványokban mindig oxigénnel alkot kötést, komplex borát-anionokat képezve. A bór koordinációja hármas vagy négyes lehet, így háromszöges BO_3 - vagy tetraédes BO_4 -csoportokat képez. Ezek a csoportok a kristályokban polimerizálódni tudnak, így a szilikátokhoz hasonlóan nagyon változatos szerkezeteket képezhetnek. Elvi szinten a borátok kristályszerkezeti változatossága meghaladja a szilikátokét, hiszen míg a szilícium (majdnem) mindig négyes koordinációjú SiO_4 -tetraédereket képez, addig a bór – mint fentebb említettük – hármas és négyes koordinációjú anioncsoportokat is létre tud hozni. A kristályokban a B–O kötéshossz a háromszöges koordinációjú csoportokban kb. 1,37 Å, míg a tetraédes koordinációjú csoportokban kb. 1,47 Å. A bór nagyon nehezen tud a kristályrácsokban más kationokat helyettesíteni, így szinte mindig a saját bór-oxigén csoportjában található (Christ és Harder, 1978).

A berilliumot kivéve a vasnál könnyebb elemek közül a bór van a legkisebb mennyiségben jelen a Naprendszerben, ami a primitív köpeny nagyon alacsony bórkoncentrációjában (0,26 ppm) is megnyilvánul. A Föld szilikátkomponenseinek differenciálódása a bór jelentős dúsulását eredményezi a kontinentális kéregben, különösen a Föld felszínén. A kéreg kőzeteiben való bórdúsulást elsősorban a szilikátos olvadékokban való kompatibilitásával magyarázzák (Dutrow és Henry, 2011).

Ha a kőzetalkotó ásványok kristályosodása során a hozzáférhető bór mennyisége túl kicsi ahhoz, hogy önálló bórásványok (pl. turmalin) képződjenek, akkor a bór más ásványok főelemeit fogja helyettesíteni. Így a legfontosabb bórtartalmú kőzetalkotó ásványok a csillámok és a szerpentinek. Elmondható, hogy a filloszilikátok több bórt tartalmaznak, mint más szilikátok; különösen a muszkovit (szericit), illit, paragonit, montmorillonit és a szerpentin tartalmazhat nagy mennyiségű bórt. Pegmatitos muszkovitok vagy lepidolitok bórtartalma elérheti az 1000 ppm-et is. Másrészt az ásványok bórtartalma annak az olvadéknak vagy oldatnak a bórkoncentrációjától függ, amelyből képződött. A magmás differenciáció folyamán a bór koncentrációja növekszik.

Magmás és metamorf kőzetekben a bór a kőzetalkotó szilikátok nyomelemeiként, vagy önálló boroszilikát-ásványok formájában van jelen. A szilikátokban a bór $[\text{BO}_4]^{5-}$ vagy $[\text{BO}_3]^{3-}$ csoportokat képez, esetleg a bór a szilíciumot helyettesíti a $[\text{SiO}_4]^{4-}$ tetraéderben. A maga 9–11,5 t%-os B_2O_3 -tartalmával a turmalin a legfontosabb boroszilikát.

A különböző kőzetek bórtartalma rendkívül változatos lehet a bór következő három geokémiai sajátága következtében: 1.) a bór preferáltan az olvadékba különül el; 2.) nagy a mobilitása vizes fázisokban; 3.) erős affinitással rendelkezik az agyagásványok irányába. Mivel a bór mobilis elem, a posztmagmás folyamatok erős másodlagos bórdúsulásokat okozhatnak. Átalakult mafikus magmás kőzetekben a szerpentin, míg felzikus kőzetekben a szericit/illit a bór fő hordozói. Ezek mellett vulkáni kőzetekben a kőzetüveg egy fontos bórhordozó (Aggarwal, 1999).

Az óceáni kéreg bórtartalma hasonló a bazaltos kőzetek középértékéhez (5 ppm). A felső kontinentális kéreg bórkoncentrációja 13 ppm. Az alsó kéreg főleg metamorf kőzetekből áll. A gneiszek és kristályos palák bórtartalma általában alacsonyabb, mint a hasonló kémiai összetételű, magmás vagy üledékes megfelelőiké, mivel a metamorfózis rendszerint bórfelszabadulással jár (Christ és Harder, 1978).

Olvadékokban a bórnak viszonylag alacsony az eloszlási koefficiense (0,004–0,08), és így csak korlátozott mértékben tud a szilikátásványok rácsába beépülni. Emiatt a bór az ol-

vadék reziduális fázisaiban hajlamos a koncentrációra, így viszonylag alacsony mennyiségben van jelen a bazaltokban (0,1–6 ppm), de jóval magasabb koncentrációban jelenik meg az érettebb kőzetekben, mint pl. a gránitokban (85 ppm). A gránitok magasabb bórkoncentrációinak oka még, hogy egyes S-típusú gránitok bórgazdag üledékes kőzetek megolvadásából származnak (Aggarwal, 1999). Így magmás kőzetekben a bórtartalom általában a növekvő SiO₂-tartalommal maga is növekszik. Ultrabázisos és bázisos kőzetekben a magas bórtartalom mindig szerpentinisedéssel van kapcsolatban; egyes szerpentinitek bórtartalma 1000-szerese is lehet a mafikus protolitokénak (vagyis néhány ppm-től néhány ezer ppm-ig növekszik). Intermediér kőzetek már magasabb bórtartalmakat mutatnak, mint az átalakulatlan ultrabázisos és bázisos kőzetek (néhányszor 10–100 ppm), a kiömlési kőzetekben szisztematikusan magasabb értékekkel, mint a mélységi megfelelőikben (Christ és Harder, 1978). Ez utóbbi megfigyelés azzal magyarázható, hogy a lassan kristályosodó mélységi kőzetekből a bór könnyebben átmegy a fluidumfázisba, majd eltávozik a rendszerből, mint a gyorsabban kristályosodó kiömlési kőzetek esetében. A Kárpát-Pannon-térség neogén korú mészkalkáli vulkáni kőzeteinek bórtartalma PGAA alapján 4,4 és 90,3 ppm között változik (Gméling, 2010).

A legmagasabb bórtartalmakat a savanyú magmás kőzetek mutatják. Gránitokban főleg a szericitesedő földpátok a bór fő hordozói, ugyanakkor a legmagasabb bórkoncentrációk a turmalingránitokban mérhetők (akár > 2000 ppm). Itt is igaz, hogy a kiömlési kőzetek (riolitok) bórtartalma még magasabb, egyes savanyú vulkáni üvegek bórkoncentrációja pedig meghaladhatja a 6000 ppm-et (ilyen a macusani üveg vagy macusanit Peruból: London és társai, 1988).

Az üledékes kőzetek bórtartalma részben a jelenlévő agyagásványok mennyiségével és típusával van kapcsolatban. A két fő bórhordozó ásvány, az illit és a szmektit, a vízből köti meg a bórt felületi abszorpcióval vagy akár a kristályrácsukba építve. A tengeri üledékes kőzetek rendszerint több bórt tartalmaznak, mint a folyóvízi vagy tavi szedimentek, mivel maga a tengervíz is gazdagabb bórban a kontinentális vizeknél. Az agyagásványok csak 40 °C alatt adszorbeálják a bórt, 150 °C felett pedig felszabadul belőlük (Aggarwal, 1999).

Az üledékes kőzetek metamorfózisa során az adszorbeált bór nagy része a vízzel együtt felszabadul. Az erősödő metamorfózissal egy idő után a szerkezetileg kötött bór is eltávozik. A zöldpala- és amfibolitfáciesű metamorfizált szedimentek akár két nagyságrenddel kevesebb bórt tartalmazhatnak, mint a kiinduló metamorfizálatlan üledékek. Az erősen metamorfizált kőzetek mindig szegények bórban (Aggarwal, 1999).

2.7. A turmalin mint petrogenetikai indikátorásvány

Henry és Guidotti (1985) mérföldkőnek számító cikke után a turmalinok petrogenetikai jelentőségét több tanulmányban ecsetelték (Henry és Dutrow, 1996; Dutrow és Henry, 2011, 2018; van Hinsberg és társai, 2011). Ezek alapján foglalom össze ebben az alfejezetben a turmalinok kőzetgenetikai fontosságát.

A turmalinfőcsoport ásványai a leggyakoribb boroszilikátok a földkéregben, egyúttal jelentős bórrezervoárok és a bórciklus kulcsásványai is. A kőzetekben jellemzően csak járulékos alkotóként fordulnak elő, viszont számos földtani környezetben megjelennek: lehetnek diagenetikus ásványok eltemetett üledékes medencékben, meddőásványok érctelepekben, megjelenhetnek regionális- és kontaktmetamorf kőzetekben, képződhetnek metasomatózis útján, de frakcionált magmás testek kristályosodásakor is kialakulhatnak.

A turmalinok nagy elterjedtségüket a jelentős hőmérsékleti és nyomási stabilitási tartományuknak köszönhetik (2.7. ábra). Stabilitásuk alsó határa még nincs jól meghatározva, de 150 °C-nál és 100 MPa-nál alacsonyabban lehet, mivel megjelennek az üledékes medencék diagenetikus zónájában éppúgy, mint a felszínközeli hidrotermás érctelepekben. Felső termikus stabilitásukat a turmalin inkongruens olvadása kontrollálja, amely a kísérletek alapján – a nyomástól és az összetételüktől függően – 725 és 950 °C közé esik. A granulitfáciesű metamorfitekban megjelenő turmalinok is bizonyítékot szolgáltatnak az ásvány ellenállóságára magas hőmérsékleteken. Ultranagy nyomású metamorf környezetekben pedig K-gazdag formái jelennek meg (pl. Shimizu és Ogasawara, 2013).

A fluidumfázis összetétele jelentős hatást gyakorol a turmalin stabilitására a teljes P–T stabilitási tartományon belül. Vizes fluidumokban a turmalin az erősen savastól a neutrális oldatokig stabil (pl. Henry és Dutrow, 1996). Ez azért van így, mert a magas pH-jú oldatokban a bór jellemzően tetraéderesen koordinált $[B(OH)_4]^-$ komplexeket alkot, viszont neutrális vagy alacsony pH-k mellett a bórt háromszögesen koordinálják a hidroxidok egy $B(OH)_3$ komplexben, amely megegyezik a turmalinban lévő bór koordinációjával. A turmalin stabilizálásához szükséges bór mennyisége a növekvő pH-val tehát növekszik, ezért turmalint még nem sikerült szintetizálni lúgos feltételek alatt (Dutrow és Henry, 2011).

A turmalinok egyik jellemző tulajdonsága a szerkezetükben lévő fő- és nyomelemek elhanyagolhatóan kicsi diffúziós rátája, ami az egyes turmalinkristályokban megfigyelhető éles összetételi zónásságban nyilvánul meg. Emiatt az alacsony diffúziós ráta miatt őrzik meg oly kiválóan a turmalin a képződésekor kialakult összetételét, valamint izotópos jellemvonásait is.

A turmalinásványok széles összetételi tartománya a képződési környezetük összetételének érzékeny indikátorává teszi őket. Ezeket a kémiai jellemvonásokat fel lehet használni mind az üledékek származási helyének vizsgálatában (ún. provenienciavizsgálatok), mind pedig érctelepek kutatásában is. A turmalinok összetétele szisztematikus változást mutat a befogadó környezet változó hőmérséklet- és nyomásviszonyaival. Például a metapélitok turmalinjaiban a metamorfózis növekvő fokával az *X*-pozícióban a vakanciák mennyisége fokozatosan csökken, míg a Ca mennyisége növekszik.

A turmalinok összetételének megőrződése a mállás, erózió és egyéb üledékes folyamatok alatt – kiegészülve az összetételi diverzitásukkal – lehetővé teszi, hogy ez az ásványcsoport a provenienciavizsgálatok egyik fő céltáblája legyen. A törmelékes turmalinszemcséket tartalmazó kőzetek anyakőzetének típusát egyszerűen meg lehet határozni Henry és Guidotti (1985) Al-Fe-Mg (2.8. ábra) és Ca-Fe-Mg diagramjainak (2.9. ábra) segítségével.

A geotermobarometriai vizsgálatokban a turmalinok szerepe jelenleg még nagyon alárendelt. Próbálkoztak pl. turmalin-biotit geotermométerrel, amellyel az Mg és Fe eloszlását vizsgálták a két ásvány között, s ebből határozták meg a keletkezési hőmérsékletet (Colopietro és Friberg, 1987); a módszert később többen is átvették (pl. Blamart és társai, 1992; Bröcker és Franz, 2000). Ebből azonban nem lett széles körben elfogadott geotermométer, főleg amiatt, mert a turmalinban az Mg és Fe mind az *Y*-, mind a *Z*-pozícióban megjelenhet, így e két elem eloszlása a turmalin és a biotit között valószínűleg nemcsak a képződési hőmérséklettől, hanem a turmalin egyéb kristálykémiai viszonyaitól is függ. Ennél ígéretesebb a turmalin-plagioklász geotermométer, mely a Na és Ca két ásvány közötti megoszlását veszi alapul (van Hinsberg és Schumacher, 2009), hiszen mind a Na, mind pedig a Ca csak az *X*-pozícióba épül be a turmalinban. Ugyanígy ígéretes még a turmalin-egy kristálygeotermométer, mely a turmalinok poláros tulajdonságán alapul, és a *+c* és *-c* pólusok közti elemeloszlásokat (Ca és Ti eloszlása) veszi figyelembe (van Hinsberg és Schumacher, 2007).

A geokronológiában a turmalinok felhasználása még gyerekcipőben jár. Ennek fő oka, hogy a turmalinok *X*-pozíciójában a K mennyisége legtöbbször jelentéktelen, kivéve egyes ultranagy nyomáson keletkezett példányokat, illetve a magas povondraitartalmú turmalinokat. A másik probléma az, hogy egyéb gyűrűs szilikátokhoz hasonlóan a turmalin hajlamos megkötni az Ar-felesleget, s így anomálishan magas K/Ar koradatokat kapunk. Ez utóbbi problémaként jelentkezik a $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ koradatok értelmezésénél is (Henry és Dutrow, 1996).

3. Vizsgálati módszerek és számítási eljárások

3.1. Elektronmikroszondás elemzések

Dolgozatomban a turmalinok kristálykémiái vizsgálatához alapvetően elektronmikroszondás elemzéseket végeztem. Magának a módszernek a bemutatása nem képezi írásom tárgyát, e helyen csak az egyik legelismertebb (Goldstein és társai, 2003), a geológiai vizsgálatokban legfontosabb (Reed, 2005) és a legjelentősebb hazai irodalomra (Pozsgai, 1995, 2016) hivatkozom a téma iránt behatóan érdeklődők számára.

A mérések a Miskolci Egyetem Ásványtani-Földtani Intézetében készültek JEOL JXA-8600 Superprobe típusú elektronmikroszondával. Az elemzések döntő része hullámhosszdiszperzív spektrométerekkel készült, egyes ritka esetekben azonban – különböző okokból kifolyólag – energiadiszperzív spektrométeres mérések is történtek. Ez utóbbiakat a szövegben külön jeleztem, és a dolgozat mellékletében lévő elemzési táblázatok szövegében is feltüntettem.

A méréseket polírozott felületi csiszolatokon végeztem, vékonycsiszolatokat nem használtam. A vizsgálni kívánt mintákból egy-egy megfelelő kőzetdarabot levágtunk, amelyet ezután epoxigyantába öntöttük, majd egyre finomabb csiszolópapírokkal a mérendő felületeket simára csiszoltuk. Ezután egyre kisebb szemű gyémántpasztával (rendre 6 – 3 – 1 – 0,25 μm -es) történt a polírozás, így állt elő a mérésre alkalmas, sima felület. Ritkább esetekben nem kőzetmintából készült a csiszolat, hanem ásványszemcsék kerültek az epoxipogácsába. Ez alapvetően fenn-nőtt, üregekben lévő turmalinok esetén volt így. Végezetül a mintát szénrel gőzöltük azért, hogy mérés során ne töltődjön elektromosan a felülete.

A hullámhosszdiszperzív spektrométeres mérések 15 kV gyorsítófeszültség és 20 nA mintaáram mellett készültek. Az elektronnyaláb átmérője – melyet mindig a vizsgált minta elemezni kívánt területe határozott meg – 1 és 5 μm között mozgott. A detektálási idő az egyes elemekre általában 10 s volt a csúcson és 5–5 s a háttéren, ez alól csak a fluor mérés jelentett kivételt, melyet még részletezni fogok a 3.1.1. alfejezetben. Az egyes elemek mérésekor használt analizátorkristályokat és standardokat, valamint a mért vonalakat a 3.1. táblázat foglalja össze. A táblázatból látható, hogy egyes elemek méréséhez többféle standardot is használtam. Ennek oka, hogy az elemzések egy elég tág időintervallumban (kb. 4 év alatt) készültek, mialatt egyes standardok koszolódás, szénréteg lekopása (töltődést okoz) stb. miatt elhasználódtak.

A standardizálás pontosságát egy másodlagos standardként használt amfibolon (USNM 143965, Kakanui, Új-Zéland) ellenőriztem, melynek összetételében a fluoron kívül megtalálható minden, a turmalinban mért elem: SiO_2 40,37; TiO_2 4,72; Al_2O_3 14,9; Fe_2O_3 3,3; FeO 7,95; MnO 0,09; MgO 12,8; CaO 10,3; Na_2O 2,6; K_2O 2,05 és H_2O 0,94 t%. A nyers mérési adatokat PAP mátrix-korrekciónal korrigáltam (Pouchou és Pichoir, 1984).

A mikroszondás mérések elkészítése előtt a minta szövetét, ásványi alkotóit visszaszórtelektron-képeken tanulmányoztam, ennek során számos fotót készítettem. A turmalinban megfigyelhető kémiai inhomogenitások sok esetben nem jártak az átlagrendszenként történő változásával, így a mérés során alkalmazott 20 nA-es mintaáram mellett sokszor kontrasztot alig mutattak. Emiatt egyes mintáknál a visszaszórtelektron-képes észlelést 80 nA mintaáram mellett végeztem.

3.1.1. A könnyűelemek mérésének problémaköre

Köztudott, hogy a könnyűelemek ($\leq \text{Na}$) mérése elektronmikroszondával sokszor nehézségekbe ütközik, illetve bizonyos elemek esetében lehetetlen. Sajnos a turmalinokban ezek a könnyű elemek nagy jelentőséggel bírnak, hiszen szinte mindegyik gyakori fajban jelen van a hidrogén, a bór, az oxigén és a nátrium, de nagyon gyakori alkotó még a lítium és a fluor is.

A hidrogén és a lítium mikroszondával nem mérhető, a turmalinban lévő mennyiségüket számítással határoztam meg a 3.4. alfejezetben leírt módokon. A bór mérése elvileg lehetséges volna JEOL-mikroszondával, ha valamelyik WDS-spektrométerben lenne 98 Å rácssíktávolságú LDE2 vagy 145 Å rácssíktávolságú LDEB típusú analizátorkristály. Az utóbbi ad jobb statisztikát bórra, mivel ekkor a minta és az analizátorkristály távolsága csak 126 mm. Sajnos ezek egyike sincs a miskolci műszerben, így a bór mennyiségét is számítással határoztam meg a 3.4. alfejezetben leírt módon. Mint látni fogjuk, ez egyáltalán nem okoz problémát, mivel a turmalinban lévő bórt nagy pontossággal lehet számolni.

Az oxigén mérése elvileg már TAP analizátorkristállyal is lehetséges volna, azonban a minta-kristály távolságnak ekkor 256,77 mm-nek kellene lennie, ami nagyon magas, így elég kis beütésszámok várhatók. Ugyanakkor a miskolci műszernél is rendelkezésre álló LDE1 kristállyal már jobban mérhető lenne az oxigén. A mikroszondás gyakorlat azonban általában az, hogy a kationok vegyértékének ismeretében az oxigén mennyiségét számoljuk, mivel így pontosabb értékeket kaphatunk, mint mérés útján. Oxigént mérni egy ásványban pl. akkor van értelme, ha az alkotói közt van olyan kation, mely többféle vegyértékállapotban

is mutatkozhat. A turmalinban ilyen a vas, mely leginkább Fe^{2+} -ként van jelen, de olykor – akár jelentősebb mennyiségben is – megjelenhet benne a Fe^{3+} . A mért oxigénből akár lehetne számolni $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ arányt, azonban ennek pontosságát megkérdőjelezheti magának az oxigén mérésének a pontossága, illetve az, hogy bizonyos kationokat is számolás útján határoztunk meg (lásd feljebb).

A fluor mérése elég nagy jelentőségű a turmalinok esetében, mivel ez is meghatározza, hogy turmalinunk melyik nagy csoportba tartozik a hidroxid-, fluor- és oxiturmalinok közül, ezenkívül pedig a H_2O mennyiségének számolásához is kulcsfontosságú adatot szolgáltat (lásd még a 3.4. alfejezetet). Ennek ellenére nagyon sok publikációban nem közölnek adatot a turmalin F-tartalmára; számos ilyen példát lehetne említeni akár az utóbbi pár év tanulmányai közül, még a legnívósabb ásványtani folyóiratokból is.

Dolgozatomban a fluor a legkönnyebb elem azok közül, melyeket a turmalinok elemzése során megmértem. A legmegbízhatóbb eredmények elérése érdekében háromféle standarddal (fluorit, fluorapatit, LiF) és kétféle analizátorkristállyal (TAP, LDE1) is próbálkoztam, de a detektálási idő és egyéb mérési paraméterek (gyorsítófeszültség, mintaáram) változtatásával is kísérleteztem. Bár fluoritot gyakran használnak F-standardként elektronmikroszkopos elemzésekkel, vizsgálataim során egyértelművé vált, hogy erre a célra ez az ásvány nem megfelelő, mivel a standardizálás során folyamatosan veszti el F-tartalmát. Standardizáláskor minden elem esetében három mérést végeztem, s a fluorit esetében a folyamatosan csökkenő beütésszám miatt ezek egyre kisebb F-tartalmat mutattak. Így a fluorit-standard használatával az átlag beütésszám kisebb volt, mint a valós érték, ezért a turmalinokban a fluor mennyiségét túlmértem.

A fluorapatit-standard F-tartalma (3,53 t%) közelíti legjobban a turmalinok F-tartalmát (amely ritkán haladja meg az 1 t%-ot), ezért a legideálisabb választásnak ez tűnhet. TAP standard használata esetén azonban – a túl nagy L-érték (= 198,62 mm, az L-érték magyarázatát lásd a 3.1. ábra szövegében) és a kis F-tartalom miatt – nagyon kicsi beütésszámokat kaptam. Emiatt a turmalinokon mért F-tartalmak egy kristályon belül is hektikusan változtak, a mérések nem voltak reprodukálhatók. LDE1 kristállyal a beütésszám sokat nőtt, viszont ezzel párhuzamosan a csúcs/háttér arány romlott (3.1. ábra). Emiatt a fluorapatit standard használatát is elvettem.

Fluor méréséhez a legjobb megoldásnak a LiF analizátorkristályból készített standard bizonyult. Ennek összetétele ismert, hiszen analitikai tisztaságú lítium-fluoridról van szó, melynek a mérés alatti fluor-megtartása is tökéletes. Mellette analizátorkristálynak az LDE1-

et alkalmaztam, mivel TAP esetében jóval kisebbek voltak a beütésszámok, a WDS-spektrum lefutása miatt pedig a háttér aszimmetrikus volt. Mérés során megfelelő volt a többi elemre is alkalmazott 20 nA mintaáram, mivel annak növelése ugyan a beütésszámot növelte, de a csúcs/háttér arányt nem javította (3.1. ábra).

A könnyűelemek közül a leggyakrabban mért elem a *nátrium*. Sokféle ásványról leírták már, hogy a mikroszondás elemzések alatt a Na-megtartásuk nem jó, de ez szerencsére nem volt igaz sem a standardként használt anortoklászra, sem magára a turmalinra. Ez még akkor is így volt, ha fókuszált, 1 μm átmérőjű elektronnyalábot használtam. Ezt több turmalinmintán is leellenőriztem, mégpedig úgy, hogy defókuszált, 5 μm -es nyalábbal is reprodukálni tudtam az 1 μm -es nyalábbal kapott eredményeket. Hozzá kell azonban tenni, hogy elővigyázatosságból a TAP analizátorkristállyal (1. detektor) először mindig a nátriumot mértem, utána jött sorban a többi elem: Si, Al és Mg. Azt is ellenőriztem, hogy a turmalin Na-megtartása függ-e az analizált szemcse kristálytani orientációjától, vagy sem. Mivel a turmalin szerkezetében a Na-ionok a szilikátgyűrűk közti csatornáknak helyezkednek el a *c*-tengely mentén (lásd a 2.3. alfejezetet), az lenne várható, hogy a *c*-tengelyre merőleges metszetű kristályok Na-megtartása rosszabb, mint a ferde, vagy a *c*-vel párhuzamos metszetekben. Ilyen anomáliákat azonban nem tapasztaltam.

3.2. Röntgen-pordiffrakciós vizsgálatok

Néhány turmalinmintáról röntgen-pordiffrakciós felvétel is készült. A mérések egy részét Kristály Ferenc végezte el a Miskolci Egyetem Ásványtani-Földtani Intézetében egy Bruker D8 Advance típusú röntgendiffraktométerrel, Göbel-tükörrel előállított párhuzamos nyaláb geometriában, Vantec-1 helyzetérzékelő detektorral, $2\theta = 2\text{--}70^\circ$ mérési tartományban, $0,007^\circ$ lépésközzel, lépésenként 120 sec detektálási idővel. Egyéb mérési paraméterek: $\text{CuK}\alpha$ -sugárzás, 40 kV gyorsítófeszültség és 40 mA csőáram.

Azokban az esetekben, amikor tiszta mintát csak nagyon kis mennyiségben sikerült nyerni a turmalinból, 114,6 mm átmérőjű Gandolfi-kamerával készültek a felvételek, szintén a Miskolci Egyetem Ásványtani-Földtani Intézetében, egy Siemens Kristalloflex 710 típusú röntgengenerátor használatával. Egyéb mérési paraméterek: $\text{CuK}\alpha$ -sugárzás, Ni szűrő, 40 kV gyorsítófeszültség és 25, illetve 40 mA csőáram. Az expozíciós idő a hámosi mintánál 67,5 óra, a nagybörzsönyi mintánál pedig 46 óra volt. A röntgenfilmet hívás és fixálás után egy UMAX PowerLook 3000 típusú szkennelvel digitalizáltam, majd a QSpecr szoftverrel (Zelenszkij és társai, 2009) értékeltem ki.

Mindkét típusú mérésből számoltam rácsállandókat a UnitCell szoftver segítségével (Holland és Redfern, 1997).

3.3. Polarizációs mikroszkópi vizsgálatok

Általánosságban elmondható, hogy dolgozatomhoz polarizációs mikroszkópi vizsgálatok nem készültek. Bár elsősorban értékes közetszöveti információk nyerhetők belőle, a vékonycsiszolatok készítése meghaladta jelen munka anyagi lehetőségeit. Emellett a diszszertáció célkitűzéseinek eléréséhez a polarizációs mikroszkópi vizsgálatok nélkülözhetők voltak. Egyedül a bükkszentlászlói turmalinos mintákból készültek vékonycsiszolatok, melynek eredményei dolgozatomban szerepelnek. Az ott bemutatott vizsgálat a Miskolci Egyetem Ásványtani-Földtani Intézetében készült egy Zeiss AxioImager A2 típusú ásványtani polarizációs mikroszkóppal.

3.4. Képletszámítási eljárások

Az elektronmikroszondás mérések turmalinok esetében csak részleges kémiai analíziseknek tekinthetők, mivel a turmalin néhány lényeges alkotóját (hidrogén, lítium, bór) nem tudjuk mérni vele, és nem kapunk adatokat az átmeneti fémek (vas, mangán) vegyértékviszonyairól sem. Ezek miatt a turmalinok képletének számításához valamilyen normalizációs eljárást kell alkalmaznunk (Clark, 2007).

A fenti okokból a turmalinok szerkezeti képletének számításakor számos feltételezéssel élünk. Először is azt feltételezzük, hogy a bór sztöchiometrikus értéke 3 *apfu*. Ezzel lehetővé válik, hogy kiszámoljuk a három B-kationhoz szükséges B₂O₃ mennyiségét tömegszázalékban (ezek az értékek szerepelnek a dolgozat mellékletében található elemzési táblázatokban). Másodszer azt feltételezzük, hogy a négy *V + W* pozíciót OH és F tölti be, így OH + F = 4 *apfu*. Ez tulajdonképpen a 31 anionra (O, OH, F) történő normalizálást jelenti. Általában ez az eljárás jó közelítést ad, a dolgozat mellékletének elemzési táblázataiban is rendszerint az így kapott kationszámokat látjuk. Azonban ha az OH-t jelentősebb mennyiségű O²⁻ helyettesíti, akkor az oxigén normalizációs tényezőjét és így a kationok számát alábecsültük. Következésképpen ezt a közelítést csak azokra a turmalinokra lehet alkalmazni, amelyekben okkal feltételezhetjük, hogy az OH + F ≈ 4 *apfu*.

Azok a turmalinok, melyek Li-gazdag kőzetekből származnak és/vagy Fe- és Al-gazdagok, de az *Y*-pozíció kationjaiban hiány mutatkozik ($\Sigma Y < 3$ *apfu*), ott lehetséges, hogy

jelentősebb mennyiségű lítiumot tartalmaznak. Ilyenkor a Li mennyiségét iterálással határozzuk meg úgy, hogy a $T + Z + Y = 15$ *apfu* feltétel teljesüljön. Ez csak akkor ad jó eredményt, ha az $OH + F = 4$ *apfu* jó közelítésnek bizonyult, viszont ha az $OH + F < 4$ *apfu*, akkor a becsült Li-tartalom túl magas lesz (Clark, 2007). A dolgozatban Li-tartalmat egyedül a Velencei-hegység miarolitos üregeiben megjelenő turmalinokra számoltam.

Az is előfordulhat, hogy a 31 anionra normalizált képletben a ΣY mennyisége meghaladja az ideális 3 *apfu* értéket. Ez akkor fordulhat elő, ha az átmeneti fémeket (Fe, Mn) a valódinál kisebb vegyértékszámokkal vettük figyelembe. Általános esetben ugyanis mind a vasat, mind a mangánt kétvegyértékű ionnak feltételezzük. Ha azonban pl. a vas esetében a Fe^{3+} -tartalom is számottevő, akkor a $Fe_{tot} = Fe^{2+}$ feltételezéssel a valódinál kevesebb oxigént számoltunk a rendszerhez, így az összes kation mennyiségét túlbecsültük, ami a $\Sigma Y > 3$ *apfu*-ban fog megnyilvánulni. Ebben az esetben a Fe^{3+}/Fe^{2+} arányt iterációval állapítjuk meg, addig változtatva a FeO és Fe₂O₃ mennyiségét, míg a $\Sigma(T + Z + Y)$ mennyisége 15 *apfu* nem lesz (az X-kationt azért nem vesszük a számításnál figyelembe, mert ott jelentős mennyiségű betöltetlen pozíció is lehet).

Gyakori eljárás, hogy a képletszámítást $15(T + Z + Y)$ kationra végezzük. Ez azonban csak Li-mentes vagy nagyon alacsony Li-tartalmú turmalinokra alkalmazható, hiszen azt feltételezzük, hogy nincs vakancia (vagy nem mért elem) az Y-, Z- és T-pozíciókban. Ennek előnye, hogy a számításból kimarad az $OH + F = 4$ *apfu* normalizálás, így a V + W pozíciókban lévő oxigén mennyiségére is kapunk értéket. Nagyon sok publikációban találkozhatunk ezzel a módszerrel számolt kationszámokkal, dolgozatomban a nagybörzsönyi turmalin esetén számoltam képletet 15 kationra is, összehasonlítás végett.

A kationokon alapuló normalizációs eljárások gyakran nem megfelelőek, mivel a Li és a Fe^{3+} mennyisége a mikroszondás elemzésekből nem ismert. Azonban ha a T-pozíciót teljesen Si tölti be, akkor a képletet $Si = 6$ *apfu* alapra is számolhatjuk. Ez a módszer akkor javasolt, ha az összes Al mennyisége alacsony és feltehetően Li nincs jelen a turmalinban, illetve amikor egyéb normalizációs eljárásokkal a szilíciumra kapott kationszám valószínűleg magas ($Si \gg 6$ *apfu*) (Clark, 2007). Ezt a számítási eljárást a dolgozatomban nem alkalmaztam, itt csak azért említem, mert publikációkban sokszor találkozhatunk vele.

Miután kiválasztottuk a legmegfelelőbb normalizációs eljárást és kiszámoltuk a kationok mennyiségét, azokat el kell osztani a különböző kationpozíciók (X, Y, Z, B, T) között. Kristályszerkezeti finomításból közvetlenül meghatározott pozícióbetöltési adatok hiányában, pusztán a kémiai elemzésekből a szakirodalomból vett kristálykémiail adatok alapján (lásd a 2.4. alfejezetet) tudjuk a kationokat megfelelően elosztani (lásd pl. Clark, 2007). Az

általános eljárás a következő: 1. A Na, Ca és K kationok az X-pozícióba kerülnek, s ha ezek nem töltik ki teljesen a helyet (vagyis $\text{Na} + \text{Ca} + \text{K} < 1 \text{ apfu}$), akkor betöltetlen pozíciókat (vakanciákat, jele: \square) feltételezünk az X-ben. 2. A Si-t teljes egészében a T-pozícióba tesszük, $\text{Si} < 6 \text{ apfu}$ esetén pedig a kationhiányt Al-mal pótoljuk. 3. A B-pozícióba kerül az összes bór, melyet számítás útján határoztunk meg, tehát itt mindig teljesül a $\text{B} = 3 \text{ apfu}$ feltétel. 4. A legnagyobb bizonytalanság az Y- és Z-pozíciók közti kationelosztásnál van, hiszen mindkét hely koordinációja azonos (oktaéderes). Szerkezeti információk hiányában az általános eljárás az, hogy először az összes háromvegyértékű kationt a valamivel kisebb Z-pozícióba tesszük, az esetleges hiányt pedig Mg-mal pótoljuk. Gyakoribb azonban az az eset, hogy a háromvegyértékű kationok (alapvetően Al) mennyisége meghaladja a 6 apfu-t, így a feleslegüket az Y-pozícióba helyezzük. Ez az eljárás a két- és háromvegyértékű kationok (alapvetően az Mg^{2+} és az Al^{3+}) rendezett eloszlását feltételezi Y és Z között, s e feltételezés elfogadásával készültek a dolgozat mellékletében szereplő elemzési táblázatok is.

Kristályszerkezeti finomítások azonban arra utalnak, hogy az Mg és Al eloszlása az Y- és Z-pozíciók között általában rendezetlen (lásd pl. Grice és Ercit, 1993). Néhány tapasztalati egyenletet is publikáltak ennek az elemeloszlásnak a meghatározására. Ilyen pl. a Grice és Ercit (1993) által közölt képlet, amely a Z-ben lévő $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Al})$ arányt adja meg: $Z[\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Al})] = 0,0209 \cdot (e^{(V-1540)/40} - 1)$, ahol V az elemi cella térfogata. Ez utóbbi adat hiányában az Y-ban lévő Mg mennyisége a következő képletből számolható abban az esetben, ha a FeO mennyisége meghaladja a 7 t%-ot: ${}^Y\text{Mg} = 3[1 - \text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})]$. Henry és Dutrow (1996) azonban úgy véli, hogy ez az eljárás a gyakorlatban hajlamos túlbecsülni az Y-ban lévő Mg mennyiségét és gyakran azt eredményezi, hogy az összes Mg az Y-pozícióba kerül. A dolgozatban ezért ezeket a formulákat nem használtam.

Sokkal többen használják Bosi és Lucchesi (2004) közelítését az Mg-Al eloszlásának számításához, bár az csak a sörl-drávit sorozat turmalinjaira alkalmazható és a számoláshoz jó minőségű (rácsállandó számítására alkalmas) röntgen-pordiffrakciós felvétel is szükséges. Az eljárás abból indul ki, hogy az *a* rácsállandó közvetlen kapcsolatban áll az <Y-O> kötéshosszal, s ugyanígy a *c* rácsállandó a <Z-O> kötéshossz függvénye. A röntgen-pordiffrakciós felvételtől számolt rácsállandókból így a fenti kötéshosszak is kiszámíthatók az alábbi empirikus képletekkel: $a = 13,045 + 1,437\langle\text{Y-O}\rangle$ és $c = 0,886 + 3,272\langle\text{Z-O}\rangle$. Ez utóbbiból a Z-ben lévő Mg mennyisége a következő tapasztalati képlettel számolható: $Z\text{Mg} = 49,697\langle\text{Z-O}\rangle - 94,845$ (Ertl és társai, 2010). Ezt a módszert egyes bükki turmalinokra alkalmaztam a dolgozatomban.

3.5. Képletszámító programok

A szerkezeti képletek számítását természetesen nem manuálisan végeztem el, hiszen egy ilyen munka nagy adatmennyiség esetében igen hosszadalmas lenne és magában hordozná a számítási hibák lehetőségét is. Sokféle számítógépes program és Excel-táblázat létezik ásványok képletének számításához, több közülük kifejezetten a turmalinokra íródott. Ilyen például a CLASTOUR (Yavuz és társai, 2002), a WinClastour (Yavuz és társai, 2006) és a WinTcac (Yavuz és társai, 2014). Utóbbi kettőt Prof. Fuat Yavuz (Isztambuli Műszaki Egyetem, Törökország) szíveségéből magam is kipróbálhattam, illetve használhattam dolgozatom elkészítéséhez.

A *WinClastour* programba a következő oxidok/elemek tömegszázalékos értékeit lehet megadni bemenő adatokként: SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, V₂O₃, Cr₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MnO, NiO, CoO, ZnO, MgO, CaO, BaO, Na₂O, K₂O, Rb₂O, Cs₂O, Li₂O, F, Cl, H₂O és B₂O₃, tehát nem csak elektronmikroszondás elemzések adatai szerepelhetnek benne. Ha a B₂O₃, H₂O és/vagy Li₂O nincs mérve, akkor a program képes ezeket a sztöchiometrikus összetételből számítani. A programmal négyféle módon lehet a kationszámokat meghatározni: 24,5 oxigénre (vagyis a B-, V- és W-pozíciók figyelembevétele nélkül), 31 anionra, 6 szilíciumra és 15 T + Z + Y kationra. Meg lehet adni, hogy a program az OH + F + Cl = 4 *apfu* normalizálást végrehajtsa-e vagy sem. A 24,5 oxigénre való számolásnál külön lehet kérni a Fe³⁺-tartalom becslését is Lynch és Ortega (1997) egyenlete alapján: $Fe^{3+} = Fe_{tot} - (3 - Mg) - Ca$ (*apfu*). Azt is be lehet állítani, hogy a Li-tartalom becslésre kerüljön, vagy sem. Emellett az Y- és Z-pozíciók közti Al-Mg rendezetlenséget is számoltathatjuk vele Grice és Ercit (1993), Bloodaxe és társai (1999) vagy Bosi és Lucchesi (2004) módszerével. A táblázat végén a program megadja a turmalinfaj nevét is Hawthorne és Henry (1999) osztályozása alapján. A kapott eredmények Excel-táblázatba exportálhatók, illetve, ha rendelkezünk a Golden Software *Grapher* alkalmazásával, akkor néhány kattintással 13 féle, a turmalinok osztályozására szolgáló összetételi diagram is készíthető.

A *WinTcac* program a *WinClastour* továbbfejlesztett változata. A bevihető adatok a következő oxidokkal bővültek: SnO₂, Bi₂O₃, Mn₂O₃, CuO és PbO. A képletszámítást ugyanazokkal az eljárásokkal lehet elvégezni, mint a *WinClastour* esetében, viszont ebből a programból kimaradt az Al-Mg rendezetlenségének számítása, valószínűleg az eljárásokban rejlő nagy bizonytalanságok miatt. Két dologban fejlődött még a szoftver: 1.) a turmalinfajokat a legújabb, az IMA által is elfogadott nevezéktan alapján (Henry és társai, 2011) határozza

meg az elemzésekből; 2.) sokkal több (egészen pontosan 88 féle) grafikont képes előállítani az elemzési adatokból, szintén a *Grapher* szoftver segítségével.

A fenti programokon kívül érdemes még szót ejteni a Selway és Xiong (2002) által készített Excel-fájlról, mely az elemzésekből 31 anionra számol képletet, figyelembe véve az $OH + F + Cl = 4 \text{ apfu}$ és $B = 3 \text{ apfu}$ kritériumokat. Itt egyetlen beállítási lehetőség van csak: lehet választani, hogy az *Y*-pozícióban számoljon-e lítiummal vagy sem. A táblázatban a következő oxidok/elemek tömegszázalékos értékeit lehet megadni bemenő adatokként: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , V_2O_3 , Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , ZnO , MgO , CaO , BaO , Na_2O , K_2O , Rb_2O , Cs_2O , Li_2O , F , Cl , H_2O és B_2O_3 , tehát itt sem csak elektronmikroszondás elemzések adatai szerepelhetnek benne. Ha a B_2O_3 -ra, a Li_2O -ra vagy a H_2O -ra nem adunk meg értéket, akkor mennyiségüket a sztöchiometrikus mennyiségekből számolja.

Mivel dolgozatomban az elemzések döntő részét 31 (O, OH, F) anionra számoltam és az *Y*- és *Z*-pozíciók között az Mg és Al rendezett eloszlását feltételeztem, ezért a számításokat főleg Selway és Xiong (2002) Excel-táblázatával végeztem. A WinClastour és a WinTcac programokat csak ettől eltérő esetekben alkalmaztam.

3.6. „Turmalinmolekulák”

A közetani gyakorlatban egyes közetalkotó ásványcsoportoknál egy adott ásvány összetételét szeretik kifejezni az ún. szélső tagok molekuláris részarányával. A dolgozatomban is láthatunk példákat erre pl. a földpátoknál vagy a gránátoknál. Ezek viszonylag egyszerű kristálykémiájú ásványok, így esetükben a molekuláris részarány számítása nem ütközik nehézségekbe.

A turmalinok esetében is megfogalmazódott ilyen igény, hiszen járulékos alkotóként a turmalin is gyakori ásványnak tekinthető. Kristályszerkezetének, s így szélső tagjai kémiai összetételének bonyolultsága azonban nagyon megnehezíti egy ilyen típusú számítási eljárás kidolgozását. További probléma az ilyen számításoknál az, hogy a turmalinok szerkezeti képlete némileg függ az alkalmazott normalizációs eljárástól is (lásd a 3.4. alfejezetet).

A „turmalinmolekulák” részarányainak számítására íródott egyik program a TOUR-COMP (Pesquera és társai, 2008), mely 16 szélső tagot vesz számításba, ezek: elbait, sörl, drávit, Mn-drávit (értsd tsilaisit), olenit, króm-drávit, buergerit, povondrait, vanádium-drávit, liddicoatit, uvit, feruvit, rossmanit, foitit, magneziofoitit és Mn-foitit. Itt a bemenő adatok a turmalinban lévő elemek teljes mennyisége *apfu*-ban (akárhogy is lettek számolva), a kristályszerkezeti pozíciójuk feltüntetése nélkül. Tehát mondjuk az alumínium esetében a teljes

A mennyiségét kell megadni és azt nem kell felbontani a *T*-, *Z*- és *Y*-pozíciók között. A kimenő adatok pedig a fenti 16 szélsőtag-molekula részarányai. A program számolni tud a *W*-pozícióban esetlegesen megjelenő fluor jelenlétével is.

A legújabb ilyen próbálkozás a Morgan (2016) által készített Excel-táblázat, mely „csak” a Na-Ca-Li-Fe²⁺-Mg-Al-turmalinokra alkalmazható és nem számol pl. a Fe³⁺-, Cr- vagy V-tartalmú, viszonylag ritka szélsőtagokkal, de még az ún. oxiturmalinokkal sem. A táblázatban a mért elemek oxidos értékeit kell tömegszázalékban megadni, s ebből megkapjuk a turmalinmolekulák részarányát egyrészt Li-mentes, másrészt pedig Li-tartalmú összetételekre számolva. Az előbbi esetben a sörl, drávit, tsilaisit, uvit, feruvit, foitit, magneziofoitit és olenit részarányait, utóbbi esetben pedig a liddicoatit, elbait, rossmanit, tsilaisit, sörl, drávit, foitit, magneziofoitit és olenit móltörtjeit kapjuk meg eredményként.

Bár ezeknek a megoldásoknak vitathatatlan előnyük, hogy többet árul el egy adott turmalinminta kémijáról, mint egy fajnév, hiszen pontosabb kémiai leírását adja az összetételnek, azért hátrányai is vannak. Egyik legfőbb hátrányuk, hogy egy adott turmalin összetételének leírásához nagyon sok szélső tagot kell figyelembe venni, így a szélsőtag-molekulák által kifejezett összetétel leírása elég hosszadalmas lehet, még a korlátozott számú szélső tagot kezelő Morgan-féle Excel-tábla esetében is. Példaként írjuk fel egy soproni turmalin összetételét ez alapján (az elemzést az 5.8. táblázat 1. oszlopából vettem): Sch_{0,26}Drv_{0,18}Tsi_{0,00}Uvi_{0,02}Fuv_{0,03}Foi_{0,24}Mgf_{0,16}Ole_{0,11}. A módszer másik hátránya, hogy a turmalinok kristálykémiai bonyolultsága miatt egyik módszer sem elég egzakt, így pl. a fenti molekulaarányokból a turmalin összetétele nem következtethető vissza a számolás részletes ismerete nélkül. Emiatt a nemzetközi szakirodalomban szinte egyáltalán nem találunk példát arra, hogy a turmalinelemzésekből molekuláris összetételeket számoltak volna, így az ilyen jellegű adatok számítását a dolgozatomban én is mellőztem.

4. A Vilyvitányi Csillámpala Formáció turmalinja

4.1. Bevezetés

A Tokaji-hegységben harmadidőszaknál idősebb kőzetek csak az ÉK-i, Szlovákiával határos részen bukkannak a felszínre Felsőregmec és Vilyvitány között, alig 4 km²-es területen, és ennek csupán a fele tartozik Magyarországhoz. Ez a terület a földtani szakirodalomba „Zempléni-szerkezet” néven vonult be. A kis felszíni elterjedtség mellett jellemző még a nagyon rossz természetes feltártság és az erős mállékonyság (Pantó G., 1965; Kisházi és Ivancsics, 1988).

A Vilyvitányi Csillámpalában járulékos elegyrészként Kisházi és Ivancsics (1988) már megemlíti a turmalint, de azzal behatóbban sem ők, sem későbbi kutatók nem foglalkoztak. Így e fejezet új kristálykémiail adatokat szolgáltat erről a fontos boroszilikátról.

4.2. Földtani-kőzettani áttekintés

A „Zempléni-szerkezetet” a következő kőzetek építik fel: proterozoós vagy alsó paleozoós gneisz-csillámpala-sorozat; permokarbon homokkő, konglomerátum, agyagpala, metaantracit és mészkő; permi riolittufa (kvarcporfirtufa); permotriász palás vörösgyagy; triász dolomit, mészkő és homokkő (Kisházi és Ivancsics, 1988). Ezek közül részletesen csak az első képződménnyel foglalkozom, mivel a turmalin megjelenése ehhez kapcsolódik.

Az itteni kristályos palákat jelenleg a Vilyvitányi Csillámpala Formációba sorolják (Gyalog, 1996), melynek felszíni kiterjedését a 4.1. ábra mutatja. Kisházi és Ivancsics (1988) szerint a formációt a következő kőzettípusok építik fel: csillámpala, paragneisz, amfibolit és milonit-kataklázit. Közülük a turmalint hordozó csillámpalát mutatom be részletesebben szintén Kisházi és Ivancsics (1988) alapján. A csillámpalákban egyaránt megjelenik a sztaurolit, a kianit és a sillimanit, így az utóbbi alapján a progresszív metamorfózisuk maximális foka az amfibolitfácies aljára tehető. Emellett a földpátok összetétele (oligoklász és ortoklász) is magas fokú metamorfózisra utal. Progresszív metamorf ásványnak tekinthető még a kvarc, a biotit és a durvapikkelyes muszkovit, valamint a különböző járulékos ásványok (almandin, turmalin, apatit, cirkon, rutil). A későbbi retrográd hatások főleg szericitesedésben, majd pedig kloritosodásban nyilvánultak meg. E retrográd hatásokra szuperponálódnak rá a miocén vulkánossághoz köthető hidrotermás átalakulások (kaolinosodás, szericitesedés,

néha karbonátosodás), valamint a felszín közelében a felszíni mállással kapcsolatos elváltozások.

4.3. A turmalintartalmú csillámpala jellemzése

A Vilyvitányi Csillámpala Formáció kőzetei közül maga a csillámpala tartalmaz turmalint. A vizsgált mintát Nagy Mónika és Mesics Gábor gyűjtötték a Bükk-patak völgyében, 2012-ben. Itt a turmalin fekete színű, zömök oszlopos kristályokat alkot, melyek mérete a tized mm-től akár az 1 cm-t is meghaladó hosszúságig terjedhet. A vizsgált mintában megfigyelt társásványai: kvarc, muszkovit, albit, klorit, cirkon, xenotim-(Y), egy TiO_2 -módosulat (Kisházi és Ivancsics, 1988 szerint rutil) és Fe-oxid. Kisházi és Ivancsics (1988) még a következő fázisokat említi a csillámpalából: sztaurolit, kianit, sillimanit, oligoklász, ortoklász, biotit, almandin és apatit. A kőzetben a turmalinkristályok vagy magányosan, vagy több kristály által alkotott halmazokban jelennek meg. A turmalinnal érintkezésben kvarcot, albitot és muszkovitot egyaránt megfigyeltem. Egyes példányok teljesen kvarcba, míg mások teljesen muszkovitba vannak ágyazva.

Az albitokról készült kémiai elemzéseket a 4.1. táblázat mutatja. Átlagos összetételük: $\text{Ab}_{97,6}\text{An}_{1,9}\text{Or}_{0,5}$. Az oligoklász mezejébe eső plagioklásszal nem találkoztam.

A muszkovitok nagy, akár cm-es átmérőjű, gyöngyházfényű táblákat alkotnak. A róluk készült kémiai elemzések alapján (4.2. táblázat) a fengit felé való átmenet (vagyis a szeladonitkomponens részaránya) nem jelentős, viszont a Na-tartalmuk számottevő (0,11–0,14 *apfu*), ami 11,5–14,0% paragonitkomponenst jelent. Mivel magasabb metamorf fokon a muszkovit és paragonit az elegykristály helyett inkább doménszerkezetet képez (Livi és társai, 2008), így elképzelhető, hogy a vilyvitányi fehér csillám esetében is ez a helyzet. Ebben az esetben olyan domén-szerkezetű muszkovit/paragonittal állunk szemben, melyben átlagosan a muszkovitkomponens részaránya 87%, míg a paragonitkomponensé 13%. Ugyanakkor két kristálykémiai és egy genetikai okból nem zárható ki, hogy a mi esetünkben a jelentősebb mennyiségű Na a muszkovit alkotója legyen: 1.) Bár a muszkovitokban a Pa-komponens részaránya korlátozott, maximális mennyisége elérheti a 35 mol%-ot (Fleet, 2003), ez az általam számított maximumnál (14%) jóval magasabb érték. 2.) A szeladonitkomponens növekedésével a muszkovit és paragonit közti elegyedés mértéke csökken (Gui-dotti, 1984). Mivel a vilyvitányi mintában a szeladonitkomponens részaránya nem jelentős (5,9–7,0%), így a 0,11–0,14 *apfu* Na akár a muszkovitban is lehet. 3.) Ha a muszkovitban lévő nátrium csak utólag, fluidumok közvetítésével, Na-metaszomatózis útján épült

be a muszkovitba (lásd a 4.5. alfejezetet), akkor domén-szerkezet kialakulása nem valószínű (lásd Livi és társai, 2008). Mivel az ilyen domének mérete a 10 nm-es tartományba esik, precíz vizsgálatukhoz TEM- vagy STEM-vizsgálatok szükségesek, mikroszondával nem láthatók.

A mintában elvértve találkoztam klorittal, mely vagy csillámlemezek közé, azzal azonos orientációban beékelődve fordult elő, vagy pedig turmalin- és kvarckristályok között jelent meg leveles halmazokként. EDS-elemzéseit a 4.3. táblázat tartalmazza. Kémiai összetételük a klinoklor és a chamosit határán mozog, vagyis Fe-dús klinoklorok és Mg-dús chamositok, ahol a $Fe/(Fe + Mg)$ arány 0,45 és 0,52 között változik. Mivel az oktaédres pozícióban a kationszámok összege nem éri el az ideális 6 *apfu* értéket ($\Sigma O = 5,69-5,85$ *apfu*), ezért valószínűsíthető, hogy az összes vas kétvegyértékű formában van jelen.

4.4. A turmalin kristálykémiaja

A visszaszórtelektron-képek jól mutatják, hogy a vilyvitányi turmalinok kémiaileg homogénnek tekinthetők (4.2/A. ábra), csupán egyes kristályok szélén, illetve törésvonalak mentén figyelhetők meg átalakulási szegélyek legfeljebb 80 μm -es szélességben (4.2/B. ábra). Ilyen szegélyek mindig csak a fluidumokra permeábilisabb muszkovittal vagy albittal való érintkezéseknél jelennek meg, kvarccal való kontaktusoknál nem mutatkoznak. Az alábbi kristálykémiai összefoglalóban a turmalinkristályok fő tömegét Tur1-nek, az átalakulási szegélyeket pedig Tur2-nek fogom nevezni.

A turmalinokról készült kémiai elemzések a 4.4. táblázatban láthatók. Ezek alapján a Tur1 kristálykémiai viszonyairól a következő megállapítások tehetők. Az *X*-pozícióban a domináns kation a nátrium, mennyisége 0,53–0,61 *apfu* között változik. A vakanciák mennyisége is számottevő (0,28–0,37 *apfu*), ugyanakkor a Ca mennyisége alacsony (0,08–0,11 *apfu*), K pedig nincs jelen kimutatható mennyiségben. Ez alapján a Tur1 az alkáli turmalinok csoportjába tartozik (4.3. ábra).

A *T*-pozícióban a Si betöltöttsége magas (5,86–5,94 *apfu*), emiatt ide csak kis mennyiségű Al épül be (0,06–0,14 *apfu*). A *Z*-pozíciót teljes egészében Al tölti be, míg szokás szerint az *Y*-pozíció kationtartalma a legvegyesebb, bár az egyes kationok mennyisége itt is elég szűk határok között mozog. Itt dominál az Mg (1,39–1,54 *apfu*), de jelentős a Fe^{2+} (0,84–0,98 *apfu*), valamint az Al (0,31–0,47 *apfu*) mennyisége is. A Ti csak nagyon kis mennyiségben (0,08–0,12 *apfu*), az Mn pedig nyomokban (0–0,03 *apfu*) figyelhető meg. A

$V + W$ pozíciókat az OH dominálja, a F beépülése nem számottevő. Mindezek alapján a vilyvitányi csillámpala turmalinja a *drávit* ásványfajt képviseli (4.4. ábra).

Mint azt a 4.3. és 4.4. ábrák is érzékeltetik, az egyes turmalinkristályok szegélyén megfigyelhető átalakulási zónák (Tur2) kémiája némileg eltér a Tur1 összetételétől. Az X -pozícióban továbbra is a Na a domináns kation, mennyisége azonban jelentősebb, mint a Tur1-ben (0,65–0,74 *apfu*). A Na beépülése a vakanciák rovására történt (0,14–0,22 *apfu*), lényegében változatlan Ca-tartalom (0,12–0,13 *apfu*) mellett. Így a Tur2 is az alkáli turmalinok csoportjába tartozik (4.3. ábra).

Nem számottevő különbség, hogy a Tur2 T -pozíciójában kizárólag Si jelenik meg. Ennél sokkal érdekesebb a Tur2-ben mutatkozó Al-hiány, mivel az Al_{tot} értéke mindig az ideális 6 *apfu* alatt maradt (5,89–5,94 *apfu*). Tehát még úgy sem marad elég Al a Z -pozíció teljes betöltésére, hogy a magas Si-tartalom miatt a T -be nem történt Al-beépülés. A Z -ből hiányzó 0,11–0,06 *apfu* kationtartalmat Mg-mal töltöttük be, így az Y -pozícióban – a Tur1-től eltérően – egyáltalán nincs jelen Al. A domináns kation itt is az Mg, mennyisége a Tur1-ben mértekhez hasonló (1,39–1,46 *apfu*). A Fe^{2+} -tartalom azonban magasabb, mint a Tur1-ben, majdnem eléri az Mg mennyiségét (1,22–1,27 *apfu*), így ez a turmalin is a *drávit*-sörli sorozat tagja még a *drávit* mezejében, de némileg közelebb helyezkedik el a sörlihez, mint a Tur1 (4.4. ábra). A Ti-tartalom kicsit magasabb, mint a Tur1-ben (0,15–0,20 *apfu*), az Mn-tartalom viszont itt is jelentéktelen (0–0,01 *apfu*).

Ha a Tur1 és Tur2 között működő helyettesítési mechanizmusokat vizsgáljuk, akkor az a legfeltűnőbb, hogy a rendkívül gyakori homovalens $Fe^{2+} \leftrightarrow Mg$ helyettesítés nem figyelhető meg, hiszen mindkét zónában az Mg szintje hasonló, ugyanakkor a Fe^{2+} -tartalomban már jól mérhető különbségek mutatkoznak (4.5/A. ábra). Mivel az Al- és a Fe-tartalom közti negatív korreláció elég erős (4.5/B. ábra), ez felveti annak lehetőségét, hogy a vas egy része háromvegyértékű, és működik a homovalens $Al \leftrightarrow Fe^{3+}$ helyettesítési mechanizmus. Ennek azonban az Y -pozíció alacsony betöltöttsége mond ellent, amely mindkét zónát figyelembe véve 2,80 és 2,91 *apfu* között változik, vagyis nem éri el az ideális 3,00 *apfu* értéket. Bár elvileg lehetnek vakanciák az Y -pozícióban (lásd pl. Bosi, 2010), a Fe^{3+} -tartalom növekedésével ezeknek a vakanciáknak a száma is növekedne, ami elég valószínűtlen. Ezt a kérdést eldönteni csak olyan analitikai módszerrel lehetne, mely külön tudná elemezni a turmalinban a kétféle vegyértékállapotú vasat (pl. nedves kémiai módszer vagy Mössbauer-spektroszkópia).

Ami egyértelműnek tűnik, hogy a Tur1-hez képest a Tur2-ben az X -pozícióban lecsökkent vakanciák száma és a megemelkedett Na-tartalom, valamint az Y -ban a lecsökkent Al-

tartalom és a megemelkedett Fe^{2+} mennyisége a $\square^X + \text{Al}^Y \rightarrow \text{Na}^X + (\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})^Y$ heterovalens helyettesítéssel van kapcsolatban (4.5/C. ábra). Ennek az ún. alkálihiányos helyettesítésnek a dominanciáját az ún. protonhiányos helyettesítés felett jól illusztrálja a 4.5/D. ábra. Az utóbbi helyettesítési sémát az alábbi egyenlettel fejezhetjük ki (Foit és Rosenberg, 1977): $\text{O}^W + \text{Al}^Y \rightarrow (\text{OH})^W + (\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})^Y$.

4.5. Diskusszió

A vilyvitányi csillámpalák feltehetően proterozoós korú pélites üledékek metamorfózisával jöttek létre. A bennük megjelenő sillimanit alapján Kisházi és Ivancsics (1988) szerint metamorfózisuk maximális foka az amfibolitfácies aljára tehető. Ez az idősebb metamorf esemény a prekambrium vagy az ópaleozoikum során ment végbe, Pantó G. (1965) a folyamatot az assynti (rifei) orogenezishez köti. Az eredeti pélites üledék még nem tartalmazott turmalint. Ezt onnan lehet tudni, hogy a vizsgált mintában a turmalinkristályok belsejében törmelékes eredetű mag nem volt kimutatható. Márpedig a turmalin az amfibolitfácies hőmérséklet- és nyomásviszonyai között még stabil, így ha lettek volna törmelékes turmalinszemek a kőzetben, akkor a metamorfózis alatt képződött turmalinok nukleációja ezek felületén indult volna meg, és így a kristályok belsejében a törmelékes magok most is megfigyelhetők lennének.

Az idősebb, alsó amfibolitfáciesű metamorfózis során jöttek létre a csillámpala turmalinjai (Tur1). A turmalin képződéséhez szükséges bór a pélites kőzet agyagásványaiból származhatott, hiszen ezek nagy mennyiségű bórt képesek tárolni (lásd pl. Leeman és Sisson, 1996). A bór akkor szabadulhatott fel az agyagásványokból, amikor a metamorfózis hatására átalakultak muszkovittá, illetve egyéb szilikátokká. Ha a turmalin nem ebben a metamorf szakaszban képződött volna, akkor később már aligha lett volna rá lehetősége, mivel a metamorfózis során felszabaduló – és a turmalin képződéséhez elengedhetetlen – bór nem tudott volna más kristályos fázisban megkötődni, s így eltávozott volna a rendszerből. A turmalin képződéséhez szükséges Al is nagy mennyiségben rendelkezésre állt, hiszen a paragenézisében olyan Al-telített fázisok jelennek meg, mint a sztaurolit, kianit és sillimanit. Az alacsony Ca-tartalom minden bizonnyal annak tudható be, hogy az eredeti pélites kőzet kalcium-karbonát tartalma alacsony volt. Ugyanígy a Na-tartalma sem lehetett túl magas, ezért a képződő turmalin X-pozíciójában a vakanciák száma megemelkedett (lásd a 4.3. ábrát). Henry és Dutrow (1996) szerint a „legtípikusabb” metapélites kőzetek turmalinjaiban az $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}_{\text{tot}})$ arány 0,4 és 0,7 között mozog, a vilyvitányi turmalinokban ez az érték 0,60–

0,63. Összességében megállapítható, hogy a vilyvitányi turmalin kémiaileg megfelel a Henry és Dutrow (1996) által a közepes fokú metapéliterekre jellemzőnek tartott turmalinoknak (lásd a 4.4. ábrát). Mivel a Tur1 kémiai zónásságot nem mutat, képződése kémiaileg kvázi zárt rendszerben történhetett, amely valószínűtlenné teszi a cirkuláló fluidumok jelenlétét.

Ha a Tur1 összetételi pontjait ábrázoljuk a Henry és Guidotti (1985) által szerkesztett AFM-diagramon, akkor az elemzési pontok a 4. mezőbe esnek (4.6. ábra), amely az Al-telített fázissal koegzisztens metapélitereknek és metapszammitoknak felel meg, vagyis pontosan annak a közettípusnak, amelyben a turmalinok Vilyvitányban is megtalálhatók. Ez is egy bizonyíték arra, hogy a turmalin az eredeti pélités kőzet metamorfózisával, helyben képződött.

Kisházi és Ivancsics (1988) a Vilyvitányi Csillámpalát ért retrográd metamorf hatások közül a szericitesedést és a kloritosodást említették. Az általam vizsgált mintában azonban egy korábban innen nem említett folyamat, a Na-metaszomatózis eseményei rajzolódnak ki. Ennek legszembevetőbb megnyilvánulása a kőzet erős albitosodása. Míg Kisházi és Ivancsics (1988) a plagioklászok közül az oligoklászot említi innen, addig a turmalinos mintában csak albittal találkoztam, mely a turmalinnál egyértelműen későbbi képződésű. Erre utal a felnyílt turmalinkristályok közé beékelődő albit jelenléte, a tektonikus hatásra feldarabolódott turmalin-kristálytöredékek albitban való megjelenése, illetve az albittal határos turmalinok sok helyen megfigyelhető csipkézett szegélye (4.7. ábra). Elképzelhető, hogy a Na-metaszomatózis okozta a muszkovitok megemelkedett Na-tartalmát is.

Az egyes turmalinkristályok (Tur1) szélén megjelenő reakciószegélyeket (Tur2) is ennek a Na-metaszomatózisnak tulajdoníthatjuk. Először is, mivel a turmalinok nagyon stabil ásványok, bennük elemdiffúzió hőmérséklet- vagy nyomásváltozás hatására nem indul be, csak úgy, ha jelen van egy ezt megkönnyítő fluidum. Másodszor, Henry és Dutrow (1996) szerint a metamorfózis fokának növekedésével a turmalinok Na-tartalma is növekszik a vakanciák rovására, vagyis a $\square/(\square + \text{Na})$ arány csökken. Ez a trend tükröződik a 4.4. ábrán jelölt mezők elhelyezkedésében, amint az 1. mezőtől a 4. mező felé haladva a $\square/(\square + \text{Na})$ arány csökkenésével a metamorfózis foka nő. Ez a trend azonban a vilyvitányi turmalin esetében pont fordított, hiszen míg Tur1-ben a $\square/(\square + \text{Na}) = 0,31-0,41$, addig az alacsonyabb hőmérsékleten és nyomáson képződött Tur2-ben $0,16-0,25$. Ezt csak úgy lehet magyarázni, ha a Tur2 képződésekor a Na külső forrásból áramlott be, egy fluidum komponenseként.

4.6. Összegzés

A vilyvitányi turmalinról összegzőképpen a következő megállapítások tehetők:

1. Az ún. „Zempléni-szerkezetben” turmalinok az idős csillámpalákban (Vilyvitányi Csillámpala Formáció) fordulnak elő.

2. A kristályok nagy része kémiaileg egyveretű, zónásságot nem mutatnak. Összetételük a drávit mezejébe esik, bár jelentős Fe-tartalma (0,84–0,98 *apfu*), illetve az *X*-pozícióban lévő vakanciák miatt átmenetet képez a sörl, illetve a magneziofoitit ásványfajok felé (Tur1).

3. Azoknál a kristályoknál, melyek muszkovittal vagy albittal érintkeznek, a szegélyeken sokszor megfigyelhető a visszaszórtelektron-képeken egy világosabb átalakulási zóna (Tur2). Ez a zóna szintén a drávit összetételének felel meg, de a Tur1-hez képest megemelkedett Fe- és Na-tartalommal.

4. A Vilyvitányi Csillámpalában – a kristálykémiai viszonyok alapján – a turmalinképződésnek két szakasza különíthető el. Az első szakaszban az eredeti pélyites üledékek amfibolitfáciesű metamorfózisa során keletkezett turmalin az agyagásványokban lévő bór felszabadulása által, lényegében kémiaileg zárt rendszerben.

5. A második turmalinképződési szakasz a Zempléni-szerkezetből eddig nem megfigyelt Na-metaszomatózissal lehet kapcsolatban, ahol Na-ban és Fe-ban gazdag fluidumok hatására az első szakaszban képződött turmalinkristályok szegélye azokon a helyeken átalakult, ahol e fluidumokra nézve viszonylag permeábilis ásványok (muszkovit, albit) voltak a turmalin szomszédságában. Kvarc mellett ez a zóna nem fejlődött ki.

6. A Na-metaszomatózist bizonyítja a kései albitosodás, a muszkovitok megemelkedett Na-tartalma, illetve egyes turmalinkristályok szegélyén megjelenő, magasabb Na-tartalmú reakciószegély.

5. A Soproni-hegység turmalinjai

5.1. Bevezetés

A Keleti-Alpok központi kristályos vonulata kelet felé fiatal harmad- és negyedidőszaki üledékekkel kitöltött medencék környezetéből kiemelkedő elszórt rögök formájában végződik el a felszínen. Ilyen rög a Soproni-hegység központi magja, valamint a Fertőrákosi-palasziget is (5.1. ábra). E rögök a Keleti-Alpokban kimutatott nagy takarórendszerek tartozékai, azon belül is a soproni a durvagneisz (németül *Grobgneis*), a fertőrákosi pedig a Wechsel-sorozatba illeszthető (Kisházi, 1977; Kisházi és Ivancsics, 1985, 1987). Ettől némileg eltér Draganits (1998) véleménye, aki a Soproni-hegység idős közeteit két szerkezeti egységre osztotta: 1.) az *Óbrennberg-Kaltes Bründl-sorozatba* sorolja a zö-mében andaluzit-sillimanit-biotitpalából álló összeletet, s ezt a Középső-Ausztróalpi egység részének tekinti; 2.) a többi kristályos képződményt (retrográd csillámpala, gneisz, leukofillit, kvarcit) pedig a *Soproni-sorozatba* teszi, szerinte csupán ezek tartoznak az Alsó-Ausztróalpi rendszer *Grobgneis* egységébe. Ez utóbbi megközelítést Török (2003) cáfolni látszik.

A terület metamorfitjaiban számos helyen megjelenik a turmalin, s ide köthető a Magyarországon eddig leírt legnagyobb méretű, 7,5 cm hosszú turmalinkristály is (Fehér, 2014). Az utóbbi években főleg Nagy Mónika és Mesics Gábor soproni ásványgyűjtők jóvoltából sok, eddig még ismeretlen lelőhelyről került turmalin meghatározásra. E képződmények részletes kőzettani tanulmányozásával a közelmúltban Spránitz (2017), illetve Spránitz és társai (2017, 2018) is foglalkoztak. Az általam végzett vizsgálatok az előbb nevezett publikációktól függetlenül készültek és lényegesen pontosabb mérési eredményeket tartalmaznak. Spránitz és társai (2018) jelezték is, hogy a nátrium-méréseik nem pontosak, de a turmalinokra közölt kationszámokban a szilícium esetében is súlyos mérési pontatlanságok mutatkoznak. Ugyanez igaz a némileg több mérési adatot tartalmazó korábbi dolgozatra is (Spránitz, 2017). Fontos még megemlíteni, hogy a vizsgált lelőhelyek tekintetében is vannak különbségek. Az előbb idézett munkákban egy olyan lelőhely volt, ahonnan én nem vizsgáltam mintákat (ez pedig a Nagy Füzes csillámpalája), míg fordítva, jelen dolgozatban a következő előfordulások azok, melyek nem szerepelnek Spránitz munkáiban, így teljesen új adatoknak számítanak: gneisz (Kánya-szurdok, Muck), gneisz-csillámpala kontaktusa (Halászcsárda-rög), turmalinit (Kópháza, Kő-hegy), csillámpala (Nap-hegy, S-6. sz. fúrás) és a tiszta kvarcitok összes lelőhelye (Récényi úti kőfejtő, Vöröshídi-kőfejtő, Tövissüveg, mind Sopron, valamint Fertőrákos, Gödölye-bérc és Harka, Fillér-erdő). Különbség még, hogy

jelen dolgozat alapvetően a turmalinok kristálykémiájára koncentrált, míg a fenti irodalmak alapvetően kőzettani vonatkozásúak.

5.2. Földtani-kőzettani áttekintés

A Soproni-hegység kristályos kőzeteit a Soproni Kristályospala Formációcsoportba soroljuk (Gyalog, 1996). Uralkodó kőzetei a csillámpalák és gneiszek, de kisebb mennyiségben megjelennek kvarcitok és leukofillitek is. Egyes fúrásokból pedig amfibolitpala-nyomok kerültek elő (Kisházi és Ivancsics, 1987).

A különböző mértékű retrográd metamorfózison átesett *csillámpalák* kiinduló kőzetanyaga zömmel agyagos és homokos üledék lehetett, viszont mind a meszes, mind a szenes anyag lényegében hiányzott az üledékekből. Az üledékfelhalmozódás már a prekambriumban elkezdődhetett és az ópaleozoikum idején is folytatódhatott. A felhalmozódott üledékanyag lassú süllyedéssel fokozatosan nagyobb mélységbe (vagyis nagyobb hőmérséklet- és nyomásviszonyok közé) kerülve regionális metamorfózison esett át. A metamorfózis részben a variszkuszi orogenezis (329–320 millió éve: Balogh és Dunkl, 2005) idejére tehető, melyet felülbélyegzett a permotriász HT/LP metamorfózis (272–236 millió éve: Balogh és Dunkl, 2005). Ez utóbbi esemény becsült hőmérséklet- és nyomástartománya: 650 °C és 300–500 MPa (Draganits, 1998). Az így keletkezett és eredeti állapotukban többé-kevésbé megmaradt csillámpalák az *andaluzit-sillimanit-biotitpalák*, melyek a terület legerősebb metamorf fokú (amfibolitfáciesű) kőzetei (Kisházi és Ivancsics, 1987), bár a sillimanit + káli-földpát ásványegyüttes a granulitfácies kezdetére utal: 650–700 °C és 240–380 MPa (Török, 1999). A kőzet legnagyobb – közel összefüggő – előfordulása a magyar-osztrák határ mentén, Brennbergbánya és a Ház-hegy között található, de egy kis foltban a Fertő-tó nyugati partján, a Halászcsárda-rög területén is felszínre lép (lásd az 5.1. ábrát). Rétegtanilag az Óbrennbergi Csillámpala Formációba sorolják (Gyalog, 1996).

A középső-kréta folyamán a pennini szubdukció kezdeti szakaszán nedves üledékek kerültek a mélybe, a sorozat alá, s a belőlük felszálló, felhevült fluidumok helyenként megtorlódtak a tömör csillámpalákon. Új kőzettípus, a *kianit-kloritoid-muszkovitpala* alakult ki, mely részben retrográd amfibolit, részben retrográd zöldpalafáciesű. Ezeket „sávós csillámpalának” is szokták nevezni. Elsősorban az andaluzit-sillimanit-biotitpalák szomszédságában fordulnak elő, azzal gyakran váltakozva települnek (Kisházi és Ivancsics, 1987; Török, 2003). Az 5.1. ábrán külön nem jeleztük őket, mivel szintén az Óbrennbergi Csillámpala Formációba tartoznak.

Az alpi hegységképződés során (felső kréta–miocén) alakult ki a takarós szerkezet, mely jelentős, É-i irányú szubhorizontális mozgásokkal járt, miközben az egész sorozat közelebb került a felszínhez, az előbbi helyzetnél alacsonyabb hőmérsékleti viszonyok közé. Az erősen megnövekedett stressz miatt a paláság is sokkal kifejezettebbé vált, s a hidratációs folyamatok is folytatódtak. Mindez újabb retrográd metamorfózissal járt, így alakultak ki a magas nyomású amfibolitfáciesű, erősen fillonitos jellegű *klorit-muszkovitpalák* (szokás őket fillites vagy normál csillámpaláknak is nevezni; Kisházi és Ivancsics, 1987). A metamorfózisra vonatkozó radiometrikus koradatok (fengitek Ar/Ar korai) 76–71 millió év közé esnek (Balogh és Dunkl, 2005). A kőzeteket rétegtanilag a Vöröshídi Csillámpala Formációba soroljuk (Gyalog, 1996). A felszínen ezek a legelterjedtebb képződmények, mint azt az 5.1. ábra is szemlélteti.

A csillámpala-sorozat egyes szintjeiben néhány méter vastag, szabálytalan vagy lencse alakú, lapos *kvarcittestek* települnek. Fő ásványi alkotóik a kvarc, a kianit és az Mg-gazdag klorit („leuchtenbergit”), így kianitkvarcitoknak (régebben diszténkvarcitoknak) is nevezik őket. Két típusa különíthető el, a szürke- és a fehérkvarcit. A *szürkekvarcit* jelentős mennyiségű muszkovitot (szericitet) is tartalmaz az előbb említett három fő komponensen kívül és mindig kianit-kloritoid-muszkovitpalákkal fordul elő. A *fehérkvarcit* csak nagyon kevés muszkovitot tartalmaz, mindig normál csillámpalákkal (klorit-muszkovitpalákkal) társul, amelyek felé nincs közvetlen átmenete (Kisházi és Ivancsics, 1987). Ez utóbbiak gyakran tartalmaznak turmalint is. Rétegtanilag a Füzesárki Fehérpala Formáció Seprőkötőhegyi Kvarcit Tagozatába soroljuk őket (Gyalog, 1996).

A variszkuszi hegységképződés idején peralumíniumos, kétsillámú leukogránittestek nyomultak a már amfibolitfáciesű metamorfózison átesett csillámpalába, melyek az alpi hegységképződés nagy szubhorizontális mozgásaiban már a csillámpalákkal együtt vettek részt, s magas nyomású amfibolitfáciesű metamorfózist szenvedtek, mely metagránittá, illetve gyengébben-erősebben palásodott *gneisszé* változtatta azokat (Kisházi és Ivancsics, 1989). A metamorfózis csúcán uralkodó hőmérsékletet és nyomást 550–600 °C-nak és 1300–1400 MPa-nak határozta meg Török (1998). Rétegtanilag ezek a kőzettípusok a Sopronbánfalvi Gneisz Formációba tartoznak (Gyalog, 1996), felszíni elterjedésüket az 5.1. ábra mutatja.

A leggyengébben palásodott, leginkább gránitos szerkezetű és szövetű gneisztípus a *metagránit* vagy *kétsillámú gneisz*. A hegységben csak szórványosan jelenik meg, például a Várisi-domb köfajtájában. Esetenként kisebb pegmatoiderek és -zárványok is megfigyelhetők bennük. A gneiszek legnagyobb része a középszemű, kissé palás leukogneisz, melyet

„soproni típusú” gneisznek is szoktak nevezni. Színes elegyrész alig található benne. Nem ritka az *aprószemű muszkovitgneisz* sem. Ez is többé-kevésbé palásodott, erősen leukokrata jellegű kőzet, mely a paláság mentén gyakran tartalmaz kvarcbetelepüléseket. E kőzetet Lelkesné Felvári és társai (1986) savanyú metavulkanitnak, illetve metavulkanoklasztitnak tartották. Léteznek még az ún. *injekciós gneiszek*, melyek normál csillámpalák közé nyomult, 1–50 cm vastag erek, illetve telérek formájában jelennek meg, pl. a soproni Gloriette-kőfejtőben. Mivel a paláság után alakultak ki, anyaguk valószínűleg a kvarcbetelepülésekhez hasonlóan az átmozgások során mobilizálódott, majd vált ki a csillámpalák palásági síkjai mentén (Kisházi és Ivancsics, 1989).

A gneiszeket néha durvaszemcsés pegmatittelérek [Kisházi és Ivancsics (1989) szóhasználatával pegmatoidok] szelik át, melyek kvarcot, plagioklásztt, fehércsillámot, valamint kisebb mennyiségben káliföldpátot és ritkán gránátot tartalmaznak (Török, 1998). Pegmatitok azonban nemcsak a gneiszekben, hanem csillámpalák közé települve is megjelennek; ezek lényegében az előző bekezdésben ismertetett injekciós gneiszek durvább kristályos változatai (Kisházi és Ivancsics, 1989).

A Soproni-hegység jellegzetes kőzetei a fehér, vagy vas-oxidoktól sárgás színű *leukofillitek*. Ezek kitűnően palásodott, levelesen könnyen széthulló kőzetek, melyeket három fő ásvány, a kvarc, a muszkovit és a vasmentes klinoklor (leuchtenbergit) épít fel. Genetikájuk a mai napig vitatott (lásd pl. Lelkes-Felvári és társai, 1982; Demény és társai, 1997; Török, 2001, 2003), bár abban a legtöbb kutató egyetért, hogy az alpi metamorfózis során (annak *P-T*-csúcsán, vagy azt követően) alakultak ki a nyírási zónákban Mg-metaszomatózis révén. Rétegtanilag a Füzesárki Fehérpala Formáció Tolvajárki Leukofillit Tagozatába tartoznak (Gyalog, 1996).

Végezetül fontos megemlíteni egy olyan kőzetet, mely csak az utóbbi években vált ismertté. Mesics Gábor és Nagy Mónika soproni ásványgyűjtők 2008-ban az Ultra-hegy É-i oldalában, egy felhőszakadás során kimélyült vízmosásban fekete, turmalinban gazdag kőzetből álló rétegeket figyeltek meg. Ez a vízmosás aztán rövid időn belül betemetődött. Ezt a turmalinban gazdag kőzetet a továbbiakban Spránitz (2017), illetve Spránitz és társai (2018) alapján *turmalinitnek* fogom nevezni. Turmalinitek egyébként számos lelőhelyről ismertek a *Grobgneisz* komplexum ausztriai részének metapélitjeiből (Göd és társai, 2010), bár azok finomszemcsés megjelenésük miatt különböznek a soproni kőzettől.

5.3. A gneiszek és pegmatitok turmalinjai

Turmalintartalmú gneiszekből és pegmatitokból négy minta vizsgálatát végeztem el. Ezek a következők (a gyűjtési helyeket lásd az 5.1. ábrán):

- **S6 minta:** Sopron, Kánya-szurdok. Ásványtársulás: kvarc, turmalin, muszkovit, klorit, fluorapatit, TiO_2 -fázis, cirkon.
- **S8 minta:** turmalintartalmú gneisz a Muckról. A turmalinon kívül megfigyelt ásványai: kvarc, perthites káliföldpát, albit, apatit és muszkovit.
- **S14 minta:** turmalintartalmú gneisz az előbbi minta gyűjtési helyének közeléből, a Bükkfafürés-árokából. Ásványtársulásában az előző mintától alapvetően a gránátartalma miatt tér el. Megfigyelt ásványai: turmalin, kvarc, gyengén perthites káliföldpát, albit, apatit, muszkovit, gránát és monacit.
- **S18 minta:** pegmatit a soproni Tövisüvegről. Megfigyelt ásványai: turmalin, kvarc, muszkovit, klorit, cirkon és kolumbit. Utóbbi két lelőhelyről szerepelnek minták Spránitz (2017) dolgozatában is.

5.3.1. Az egyes minták ásványtársulásának leírása

Az **S6 mintában** (Sopron, Kánya-szurdok) max. 5 mm-es, fekete, zömök oszlopos turmalinkristályok találhatóak a kőzetben, egymással nem érintkezve (5.2. ábra). A muszkovit és a klorit a turmalinkristályok között, vagy a széttört turmalinok közti repedéseket kitöltő kvarcban jelennek meg. WDS-elemzések alapján a képletük: muszkovit = $(\text{K}_{0,73}\text{Na}_{0,19}\text{Ca}_{0,01})_{\Sigma=0,93} (\text{Al}_{1,90}\text{Mg}_{0,14}\text{Fe}_{0,01}\text{Ti}_{0,01})_{\Sigma=2,06} (\text{Si}_{3,06}\text{Al}_{0,94})_{\Sigma=4,00} \text{O}_{10} (\text{OH})_2$; klorit = $(\text{Mg}_{3,69}\text{Fe}_{0,77}\text{Al}_{0,46}\text{Ca}_{0,01}\text{Na}_{0,01})_{\Sigma=4,94} \text{Al}_{1,00} (\text{Si}_{2,66}\text{Al}_{1,34})_{\Sigma=4,00} \text{O}_{10} (\text{OH})_8$. Az S18 mintához hasonlóan sem földpátot, sem gránátot nem tartalmaz. Az apatitok magas F-tartalmúak ($F = 3,65 \text{ t\%}$), és több tized mm-es, idioblasztos vagy hipidioblasztos kristályokat formáznak. A cirkonok zónásak és idioblasztosak, méretük elérheti a 0,1 mm-t.

Az **S8 minta** (Sopron, Muck) az osztrák határ közelében egy vízmósásból került elő, mégpedig szálkőzetből. Fő kőzetalkotói a kvarc, a földpátok és a muszkovit. Ez utóbbi akár 1 cm-es átmérőnél is nagyobb pikkelyeket alkothat. Máskor káliföldpát átalakulási terméke albittal együtt repedések mentén. A kőzet káliföldpátjai több mm-esek, erősen perthitesek, összetételük szűk határok között mozog: Or = 88,6–90,2; Ab = 9,2–10,6; An = 0,4–0,8 mol%. Az albit nemcsak a káliföldpátban szételegyedésként, de önállóan is megjelenik,

legtöbbször káliföldpát helyettesítőjeként repedések menti kitöltéseket alkot (5.3. ábra). Összetétele közelíti az albit szélső tagét: Or = 0,5–2,3; Ab = 95,0–98,2; An = 1,1–3,6 mol% (5.1. táblázat). Az apatit néhány tized mm-es önálló kristályokként figyelhető meg, leginkább kvarcban. A turmalin max. 5 mm hosszú, de rendszerint kisebb, fekete, oszlopos kristályokat alkot. A kristályok magányosan, vagy legfeljebb néhány egyed által alkotott összenövésben jelennek meg a kőzetben.

Az **S14 minta** (Sopron, Bükkfaforrás-árok) egy turmalin- és gránáttartalmú pegmatit. Fő kőzetalkotó ásványai – mint az előző mintánál is – a kvarc, a földpátok és a muszkovit. A kvarckristályok legfeljebb 1 mm-es, xenoblasztos szemcséket formáznak. A földpátok valamivel nagyobb, akár 2 mm-es kristályokként jelennek meg; ezek egy része káliföldpát, másik részük albit. A káliföldpátok enyhén perthitesek, bennük az albit rendszerint néhány-szor 10 μ m-es foszlányokként van jelen. Kémiai összetételük nem túl változatos: Or = 90,2–93,4; Ab = 6,0–8,9; An = 0,2–1,0 mol%. Az albit a káliföldpátokban szételegyedésként, illetve önállóan, gyakran perthites káliföldpáttal érintkezve jelenik meg. Bennük bőségesen mutatkoznak tized mm alatti, lemezes muszkovitzárványok (5.4. ábra). E zárványok orientációja teljesen véletlenszerű és az albitkristályok egészében, viszonylag egyenletes eloszlásban jelennek meg. Egyes káliföldpátokban a repedések mentén albitosodás figyelhető meg. Az albitok kémiai összetételét közelíti: Or = 0,7–0,9; Ab = 98,4–99,1; An = 0,3–0,7 mol% (5.1. táblázat). A Cl-tartalmú fluorapatit a földpátokban (a káliföldpátban és az albitban egyaránt) legfeljebb 30 μ m-es, idiomorf zárványokat alkot. A vizsgált mintában a muszkovit mennyisége nem számottevő, főleg albitban és káliföldpátban alkot legfeljebb néhány tized mm-es zárványokat, de olykor a földpátok között önálló lemezekben is megjelenik. Kémiai összetétele csak kissé fengites jellegű és Na-tartalma sem számottevő (5.2. táblázat). A rózsaszín gránátok átmérője akár a 3 mm-t is elérheti. A kristályok erősen repedezettek, illetve feldarabolódtak, a köztük lévő repedéseket kvarc és földpát tölti ki. A jelentős tektonikai igénybevétel miatt alakjuk gyakran megnyúlt (5.5. ábra). A kristályok kémiai összetételük a prealpi magmás gránátokra jellemző értékeket mutatja (lásd Török, 1998; Spránitz, 2017): Alm = 67,2–67,8; Sps = 29,2–31,2; Prp = 1,3–2,7; Grs = 0,2–0,3 mol% (5.3. táblázat). A turmalin 1–2 mm hosszú (egy mintában 1 cm-t meghaladó), fekete, oszlopos kristályokat formáz, melyek elszórva, esetleg két egyed által alkotott összenövésben találhatók a kőzetben. A kristályok belseje sokszor kvarccá és káliföldpáttá alakult át (5.8/C. ábra). A monacit legfeljebb 0,1 mm-es xenomorf szemcsékként nagyon ritkán mutatkozik.

Az **S18 minta** (Sopron, Tövisüveg) egy turmalintartalmú pegmatit földpátok és gránátok nélkül. Fő közetalkotói a kvarc, a muszkovit és a klorit. A turmalin akár 3 cm-t meghaladó méretű, fekete, erősen repedezett, oszlopos kristályokban fordul elő, melyek elszórva jelennek meg a kőzetben (5.6. ábra). A kvarc max. 1 cm-es, szürkés színű kristályokat alkot, a nagy turmalinokat is ez veszi körül. A muszkovit és a klorit a kvarckristályok közötti terekben található leveles halmazokként. E két ásvány gyakran egymással váltakozó rétegekben jelenik meg (5.7. ábra). A muszkovit összetételében kissé fengites jellegű, Na-tartalma is számottevő (5.2. táblázat). A klorit egy vasszegény klinoklor, ahol a $Fe/(Fe + Mg)$ arány mindössze 0,03 (5.4. táblázat). A kőzet egykori földpátjait muszkovit és klorit helyettesíti. A cirkon apró, néhány μm -es kristályokként jelenik meg.

A kőzet tartalmaz egy jellegzetes pegmatitásványt, a kolumbitot. A kolumbit legfeljebb 0,2 mm-es, fekete, idiomorf vagy részlegesen visszaoldódott kristályokat képez, főleg kvarcban. Kémiája még egy kristályon belül is rendkívül változó. Ha a kolumbitcsoport AB_2O_6 általános képletéből indulunk ki, ahol $A = Fe^{2+}, Mn^{2+}, Mg$, míg $B = Nb, Ta, W$, akkor mind az A -pozícióban a $Fe:Mn:Mg$ arány, mind a B -pozícióban a $Nb:Ta:W$ arány tág határok között mozog a vizsgált mintában (5.5. táblázat). Mivel a B -pozícióban a domináns kation mindig a Nb, ezért kolumbittal van dolgunk, az A -pozícióban viszont a négy pontelemzésből háromban az Mg, egyben pedig a Fe volt a domináns kation, így a kolumbit-(Mg) és a kolumbit-(Fe) egyaránt kimutatásra került. Megjegyzendő, hogy a kolumbit-(Mg) (korábbi néven magnokolumbit, illetve magneziokolumbit) világviszonylatban is ritka ásvány és valószínűleg a kőzetet ért Mg-metaszomatózis útján képződött kolumbit-(Fe)-ből.

5.3.2. A gneiszek és pegmatitok turmalinjainak kristálykémiája

A gneiszek és pegmatitok turmalinjainak kémiája a különböző lelőhelyeken különböző eltéréseket nem mutat, ezért összevontan tárgyalhatjuk őket. A visszaszórtelektron-képeken jól látszik (5.8. ábra), hogy a kristályok fő tömege kémiailag homogén (Tur1 zóna), melyet csak itt-ott szegélyez egy vasban gazdagabb, a visszaszórtelektron-képeken világosabb árnyalattal jelentkező szegély (Tur2 zóna). Egyedül az S6 mintában jelenik meg egy harmadik, Mg-gazdag turmalinnal jellemezhető zóna (Tur3), mely analóg néhány kvarcintában megfigyelhető turmalinos ránövekedéssel, illetve érkitöltéssel.

A gneiszek és pegmatitok turmalinjairól készült kémiai elemzések az 5.6–5.9. táblázatokban láthatók. A kristályok fő tömegét alkotó Tur1 zónában az X -pozícióban a Na a legnagyobb mennyiségű kation (0,39–0,61 *apfu*), de a vakanciák száma is jelentős (0,32–

0,57 *apfu*), olykor dominánssá is válik. Az elemzések kb. kétharmada így az alkáliturmalinok, míg egyharmada az *X*-kationban hiányos turmalinok mezejébe esik (5.9. ábra). A Ca-tartalom nem jelentős, a kálium mennyisége pedig a kimutatási határ alatt maradt.

Egyes elemzésekben a képletegységre jutó hat *T*-pozíciót a Si teljesen kitölti, gyakoribb azonban az 5,8–5,9 *apfu* körüli érték, így némi Al beépülése gyakran megfigyelhető. A *Z*-pozíciót az Al mindig teljesen betölti. Elmondhatjuk, hogy a soproni gneiszek és pegmatitok turmalinjai alumíniumban gazdagok, az összes Al mennyisége 6,52–6,88 *apfu* között mozog. Ez nagyban köszönhető a $\text{Na}^X + (\text{Fe}, \text{Mg})^Y \rightarrow \square^X + \text{Al}^Y$ helyettesítéssel az *Y*-pozícióba is jelentős mennyiségben megjelenő Al-nak.

Az *Y*-pozíció szokás szerint vegyes betöltésű, változó Fe- és Mg-tartalommal. A Tur1-zónában két elemzés kivételével azonban mindig a vas dominált a magnézium felett, melyet jól szemléltet az 5.10. ábra. A Fe mennyisége 1,05–1,55 *apfu*, míg az Mg 0,53–1,06 *apfu* közötti értékeket mutatott. Az Al mennyisége néhány tized *apfu*, a Ti max. 0,16 *apfu*, az Mn pedig legfeljebb néhány század *apfu* mennyiségben van jelen.

A fluor-tartalom rendszerint a detektálási küszöb alatt maradt, csak néhány mintában volt kimutatható ez az elem. Így az itteni turmalinok mind a hidroxil-sorozatba sorolhatók. Ha mindezeket összevetjük, akkor az látható, hogy a gneiszek és pegmatitok turmalinjai a *sörl-foitit* elegysorba tartoznak, jelentősnek mondható Mg-tartalommal (5.10. ábra).

A vasban gazdagabb szegélyzóna (Tur2) mind a négy vizsgált minta turmalinjainál megjelenik, de nem minden kristályon, és azok nem teljes kerületén. Ha megnézzük az 5.6.–5.9. táblázatokat, illetve az 5.10. ábrát, láthatjuk, hogy kémiaiilag a Tur1-től igazából csak a Fe/(Fe + Mg) arányban térnek el: Tur1-nél ez az érték 0,50–0,74, míg Tur2-nél 0,63–0,90 között mozgott. Így ez a zóna is a *sörl-foitit* sorozatba tartozik, de a Tur1-hez képest kisebb Mg- és nagyobb Fe-tartalommal (5.10. ábra).

Egyedül az S6 mintában volt megfigyelhető egyes kristályok szegélyén, illetve nagyon vékony erecskék formájában egy harmadik turmalin-generáció (Tur3), mely az eddigieknél jóval magasabb Mg- és alacsonyabb Fe-tartalmával tűnt ki. Ezeknél a Fe/(Fe + Mg) arány 0,08–0,10 között mozgott, viszont Na-ban ez volt a leggazdagabb ebben a köztípusban (0,62–0,78 *apfu*). Így ez a generáció vasszegény drávitnak bizonyult (5.10. ábra).

5.4. A gneiszek és csillámpalák kontaktusán képződött turmalinok

Már Spránitz (2017) is megfigyelte, hogy a turmalinok előszeretettel dúsulnak a csillámpalákban a gneisszel való kontaktusok közvetlen közelében. Ezek a turmalinok mind

megjelenésüket, mind kristálykémiájukat tekintve eltérnek a gneiszekben (5.3. alfejezet) és a csillámpalák belsejében (5.5. alfejezet) kifejlődött turmalinoktól, ezért indokolt külön alfejezetben történő tárgyalásuk.

Gneisz-csillámpala kontaktusból két turmalinos mintát vizsgáltam (a gyűjtési helyeket lásd az 5.1. ábrán):

- **S15 minta** (Sopron, Bükkfafürás-árok): a lelőhely ugyanaz, mint az S14 minta esetében, csak itt a turmalin a gneisszel érintkező csillámpalából származik. A turmalin mellett megfigyelt ásványok: kvarc, muszkovit, biotit, klorit, gránát, ilmenit, cirkon, apatit. Innen származó minta szerepel Spránitz (2017) dolgozatában is.
- **HOM16030 minta** (Sopron, Halászcserda-rög): a Fertő-tó Ny-i partján lévő gneisz-kibukkanásból gyűjtött minta, ahol a turmalin a gneiszet övező csillámpalában található. A kőzet ásványtársulása: turmalin, kvarc, muszkovit, paragonit, biotit, gránát, fluorapatit, ilmenit, cirkon.

5.4.1. Az egyes minták ásványtársulásának leírása

Az **S15 minta** (Sopron, Bükkfafürás-árok) esetében a turmalin befogadó kőzete egy gránáttartalmú csillámpala, gneisszel érintkezésben. A kőzet fő ásványai a kvarc és a muszkovit. Az utóbbiról készült kémiai elemzések az 5.10. táblázatban láthatók, mely alapján az ásvány két generációja különíthető el. Az idősebb fengitesebb ($Si = 3,07\text{--}3,16$ apfu), helyenként biotittal közberétegzett muszkovit, és a fiatalabb, normál Si-tartalmú ($Si = 2,96\text{--}2,99$ apfu) muszkovit (5.11. ábra). A gránátok rendszerint tized mm-es, hipidioblasztos kristályokat alkotnak, bennük sokszor megfigyelhetők ilmenit orientáltan elhelyezkedő, lemezes zárványai, melyek átmérője néhány μm -tól néhány 10 μm -ig terjed (5.12. ábra). A gránátok kémiai viszonylag egyveretű (5.11. táblázat), az almandin-molekula dominanciája jellemzi: Alm = 65,9–76,2; Grs = 13,1–15,1; Sps = 2,5–13,5; Prp = 5,7–7,8 mol%. Ami megfigyelhető, hogy a kristályok magjától a szélek felé az Alm-tartalom nő, míg nagyjából állandó Grs-tartalom mellett a Sps-tartalom csökken. A Prp-tartalom a szegélyek felé kicsi növekedést mutat. Ilmenit nemcsak a gránátban zárványként, hanem a kőzetben elszórtan is megjelenhet; ilyenkor mérete is sokkal nagyobb, bőven elérheti az 1 mm-t. Kémiai állandó, három EDS-elemzés alapján a képlete: $(\text{Fe}_{0,93}\text{Mn}_{0,03})_{\Sigma=0,96}(\text{Ti}_{1,01}\text{Si}_{0,01})_{\Sigma=1,02}\text{O}_3$. Az ásványtársulás érdekessége, hogy a fengitesebb muszkovitlemezek között max. 10 μm -es vastagságban biotitlemezek is megjelennek. A Fe/(Fe + Mg) arány 0,50–0,51 között változik, így az annit-

flogopit-sor közbülső tagjának tekinthető. A biotit kémiájára a szokatlanul magas Al-tartalom jellemző: $Al_{tot} = 1,71-1,77 \text{ apfu}$. Ennek eredményeként az oktaéderes rétegben is jelentős az Al-beépülés mértéke ($0,63-0,67 \text{ apfu}$), vagyis az ásvány átmenetet képez a sziderofil-lit-eastonit-sorozatba (5.12. táblázat). Az apatitok akár 1 mm-es, xenoblasztos vagy hipidoblasztos kristályokat formáznak a kőzetben elszórtan, kvarc és muszkovit társaságában. Ftartalmuk mellett ($3,69-3,76 \text{ t\%}$) Cl-tartalmuk is jól mérhető ($0,14-0,21 \text{ t\%}$), vagyis fluorapatitokról van szó.

A **HOM16030 minta** (Sopron, Halászcserda-rög) egy világosszürke gneisz, amely a makroszkópos megfigyelések szerint kvarcból, földpátból és helyenként nagy méretű (akár 1 cm átmérőjű) muszkovitlemezekből áll. Ez a kőzet turmalint nem tartalmaz. A gneisszel kontaktusban lévő csillámpala azonban bővelkedik max. 2 mm hosszú, fekete, oszlopos turmalinkristályokban (5.13. ábra). A kőzetben háromféle csillám (muszkovit, paragonit, biotit) is megjelenik sokszor együtt, kaotikus elrendeződésben. Mennyiségüket tekintve messze a muszkovit a legfontosabb csillám, jóval kevesebb paragonittal és még kevesebb biotittal. Bár a biotit a legkisebb mennyiségű csillám, részaránya mégis sokkal jelentősebb, mint az S15 mintában volt. Kémiai összetételüket az 5.10. és 5.12. táblázatokban közlöm. Ebből látható, hogy a muszkovit Si-tartalma némileg meghaladja az ideális 3 apfu értéket ($3,11-3,14 \text{ apfu}$) és Na-tartalma is elég jelentős ($0,12-0,13 \text{ apfu}$). A paragonit Si-tartalma a muszkoviténál kisebb ($3,05-3,06 \text{ apfu}$), K-tartalma viszont nagyjából akkora, mint a muszkovit Na-tartalma volt ($K = 0,10-0,15 \text{ apfu}$). A biotit – az S15 mintához hasonlóan – Al-ban gazdag ($Al_{tot} = 1,49-1,60 \text{ apfu}$), a $Fe/(Fe + Mg)$ arány pedig $0,46-0,51$ közötti. Így ez is egy annit-flogopit határán mozgó elegykristály, de a magas Al-tartalom miatt átmenetet képez a sziderofil-lit-eastonit-sorozat felé. A gránátok néhány tized mm-es, barna színű kristályokat képeznek, melyek egy része idioblasztos, másik részük hipidio- vagy xenoblasztos és összetöredezett (5.14. ábra). Velük összenövésben gyakran jelenik meg apatit és ilmenit. A gránátok összetétele kissé különbözik az S15 mintától (5.11. táblázat): $Alm = 73,2-75,4$; $Sps = 8,0-11,9$; $Grs = 4,1-7,1$; $Adr = 3,0-5,6$; $Prp = 5,7-6,6 \text{ mol\%}$, vagyis itt van számított Fe^{3+} -tartalom. Ugyanakkor az orientált ilmenitzárványok egyes gránátokban itt is megjelennek. Ezen túlmenően az ilmenitek a kőzetben, gyakran gránátokkal összenövésben is mutatkoznak, néhány tized mm-es átmérővel. Jellemző a kristályok repedezettsége és a repedések, illetve szegélyek mentén valamilyen TiO_2 -ásvánnyá alakulása. Tíz WDS-elemzésből az átlagos összetétele: $(Fe_{1,02}Mn_{0,02})_{\Sigma=1,04}Ti_{0,98}O_3$.

5.4.2. A gneisz-csillámpala kontaktusokon képződött turmalinok kristálykémiája

Az ide tartozó turmalinok visszászórtelektron-képein kémiaiilag viszonylag homogén kristályok látszódnak. Az S15 mintában néhány kristály közepén néhányszor 10 μm -es mag is megfigyelhető (5.15/A. ábra), melyet két zónára oszthatunk (Tur1 és Tur2). Ezek közül a csiszolatban a Tur1 zóna csak egy kristályban jelent meg, a Tur2 is csak néhány másikon. Ennek oka minden bizonnyal a magzóna kis mérete, amely így sok kristálymetszetben nem került felszínre. Az S15 mintában a turmalinok fő tömegét a Tur3 zóna teszi ki, a kristályok szegélyén enyhén mutatkozó Tur4 zóna nagy kontrasztot nem mutat vele (5.15/A és B. ábra). A HOM16030 mintában annyival egyszerűbb a helyzet, hogy a kristályok fő tömegét kitevő Tur1 zónán kívül csak egy, a BSE-képeken sötétebb szegély (Tur2) volt megfigyelhető (5.15/C. ábra). E Tur2 zóna viszont kizárólag muszkovittal érintkezésben, illetve a turmalinkristályok repedései mentén volt megfigyelhető, kvarccal érintkezésben sohasem. Jellemző még, hogy a turmalinok nagy mennyiségben tartalmaznak akár több tized mm-es apatitzárványokat, illetve kisebb ilmeniteket.

Az S15 minta belső magját alkotó Tur1 zóna különlegessége a magas Ca-tartalma (0,24 *apfu*) (5.13. táblázat). Ugyanakkor az X-pozícióban a domináns kation itt is és a többi zónában is a Na, ezért mindegyik zóna az alkáliturmalinok csoportját képviseli (5.16. ábra). A T-pozícióban a Si mennyisége közelíti vagy eléri az ideális 6 *apfu* értéket, úgyhogy itt az Al beépülése nem számottevő (max. 0,18 *apfu*). A Z-pozíciót lényegében teljes egészében Al tölti be, egy mérési pontban jelent csak meg a Mg 0,03 *apfu* mennyiségben. Az Y-pozícióban az egyes zónák között a Fe- és Mg-tartalomban, s így a Fe/(Fe + Mg) arányban mutatkoznak különbségek. Ez utóbbi értékei: Tur1 = 0,15; Tur2 = 0,47–0,51; Tur3 = 0,32–0,46 és Tur4 = 0,40. Mindezek alapján az összes elemzési pont a drávit mezejébe, illetve a Tur2 zóna két pontja a drávit-sörl határra esik (5.17. ábra).

A HOM16030 minta esetében az összes elemzési pont az alkáliturmalinok mezejébe esik, ami az X-pozícióban lévő Na-dominanciára utal (5.16. ábra, 5.14. táblázat). A $\square/(\square + \text{Na})$ arány a Tur1-ben viszonylag stabil (0,29–0,42), azonban a Tur2-ben már jelentősebb ingadozást mutat: a kristályok szegélyzónájaként megjelenő Tur2-ben 0,03–0,15, míg a repedések mentén mutatkozó Tur2-ben 0,38–0,39 ez az érték, vagyis az utóbbiak közelebb állnak a Tur1-ben mért számokhoz. A T-pozíciót – az S15 mintához hasonlóan – itt is többnyire teljesen Si tölti be. A Z-pozíció betöltésében viszont a két zóna között különbség mutatkozik: míg Tur1-ben itt csak Al található, addig Tur2-ben 0,24 *apfu* mértékig a Mg is megjelenik. Az Y-pozíciót illetően a Fe/(Fe + Mg) arány a Tur1-ben erős ingadozást mutat

(0,48–0,76), köszönhetően a foltos kémiai zónásságának. Így ennek a zónának az összetételi tartománya a sörl/drávit határtól indul, de az elemzési pontok többsége a *sörl* mezejébe esik (5.17. ábra). A fenti arány a Tur2-ben szűk tartományban mozog (0,38–0,45), így ezek a turmalinok a *drávit* ásványfajt képviselik (5.17. ábra).

5.5. A turmalinitek turmalinjai

Definíció szerint turmaliniteknek olyan rétegszinthez kötött (sztratiform) kőzeteket nevezünk, melyek turmalin-tartalma meghaladja a 20 tf%-ot (Slack és társai, 1984; Slack, 1996). A Soproni-hegységben az Ultra-hegy É-i lábánál találkozhatunk ilyen kőzetekkel. Az itteni turmalinitek különböző típusait és azok részletes petrográfiai jellemzését Spránitz (2017) ismerteti.

Ebből a kőzetből – Mesics Gábor és Nagy Mónika gyűjtéséből – két típust vizsgáltam (a gyűjtési helyeket lásd az 5.1. ábrán):

- **S3 minta:** a turmalin breccsásodott kvarcitban fekete, néhol barnásan áttetsző, max. 3 mm-es oszlopokat alkot, kaotikus elrendeződésben. Sok a vas-oxid, illetve karbonátok (vagy markazit?) utáni Fe-oxidos átalakok is megfigyelhetők.
- **S4 minta:** barnásfekete, akár 2 cm hosszú turmalinoszlopokból álló sugaras halmozokat tartalmazó szemcsés-rudas tömeg. A kőzet kb. 80 tf%-ban turmalinból áll, ezen kívül még kvarc, muszkovit, klorit, fluorapatit és cirkon jelenik meg.

A vizsgált minták törmelékből lettek begyűjtve, szálaban álló kőzet nem volt megfigyelhető. Mesics G. és Nagy M. véleménye szerint (szóbeli közlés) a turmaliniteket tartalmazó törmelék felett lévő aszfaltos út építésekor átvághatták a csillámpala és gneisz határát, s onnan származhattak a gyűjtött darabok. Az előkerült minták alapján a turmalinit-réteg(ek) vastagsága 10–15 cm lehet, laterális kiterjedésük ismeretlen.

Turmalinitnek tartható kőzet került még elő a kópházai Kő-hegyről 2008 májusában, a Magyar Minerofil Társaság által szervezett ásványgyűjtő táborban. Bár ez a példány egy köfajtából származik, a minta törmelékből lett gyűjtve, szálaban a turmalinitet nem sikerült megfigyelni, így e kőzet kiterjedéséről és rétegtani helyzetéről nincsenek információink. Innen a Herman Ottó Múzeum gyűjteményébe került példányt vizsgáltam:

- **HOM2008.241 minta:** a kőzet max. 5 cm vastag, kiékelődő erekben jelenik meg. A fekete, akár több mm hosszú, oszlopos turmalinkristályok a kőzet kb. 50 tf%-át teszik ki. Egyéb kőzetalkotók: kvarc, muszkovit, klorit, gránát, albit, ilmenit, fluorapatit és cirkon.

5.5.1. Az egyes minták ásványtársulásának leírása

Az **S3 minta** ásványtársulása nagyon egyszerű. Fő ásványa a kvarc, melyben a turmalin barnás, szürkés színű, max. 3 mm hosszú, oszlopos kristályai úsznak (5.18/A. ábra). A kvarcítarabok között vas-oxidok jelennek meg, egyes esetekben jól látható pszeuromorfózakként.

Az **S4 minta** egy tömör, döntő részben turmalinból álló, sötét színű kőzet, melyben helyenként jól megfigyelhetőek az egyes turmalinoszlopok, illetve a tús turmalinkristályokból álló, sugaras halmazok (5.18/B. ábra). Gyakori még a kvarc, mely szintelen ereket alkot a kőzetben. A turmalinkristályok között gyakran jelenik meg a klorit leveles halmazok formájában. EDS-elemzések alapján az átlagos összetétele: $(\text{Mg}_{3,46}\text{Fe}_{1,08}\text{Al}_{0,39})_{\Sigma=4,93} \text{Al}_{1,00} (\text{Si}_{2,76}\text{Al}_{1,24})_{\Sigma=4,00} \text{O}_{10} (\text{OH})_8$, vagyis Fe- és Al-gazdag klinoklorról van szó, bár a csillámpalák kloritjaihoz képest jóval alacsonyabb $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+}+\text{Mg})$ aránnyal. A fluorapatit akár mm-es kristályokat vagy szemcsehalmazokat is alkothat, bennük max. 30 μm -es, saját alakú cirkonokkal.

A **HOM2008.241 minta** felerészben turmalinból, felerészben egyéb alkotókból (főleg kvarcból, muszkovitból, kloritból, albitból és gránátból) álló kőzet (5.18/C. ábra). A muszkovit és a klorit gyakran egymással összenövésben, a turmalin- és kvarckristályok között alkotnak lemezes halmazokat. Máskor kvarcban fordulnak elő egymástól elkülönülve, max. néhány tized mm-es lemezeket alkotva. A muszkovit összetétele kissé fengites ($\text{Si} = 3,12\text{--}3,16 \text{ apfu}$), a Na-tartalma is számottevő ($0,11\text{--}0,16 \text{ apfu}$). A klorit Al- és Mg-gazdag chamosit némi számított Fe^{3+} -tartalommal, ahol $\text{Al}_{\text{tot}} = 2,65\text{--}2,78 \text{ apfu}$, $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg}) = 0,57\text{--}0,58$. A gránát összetöredezett, xenoblasztos szemcséket formál, ahol az egyes fragmentumok mérete elérheti az 1 mm-t, így az eredeti kristályok több mm-esek lehetnek. Összetételük szűk határok között mozog: $\text{Alm} = 68,0\text{--}70,5$; $\text{Grs} = 18,8\text{--}21,2$; $\text{Sps} = 3,2\text{--}4,7$; $\text{Adr} = 4,0\text{--}4,6$; $\text{Prp} = 2,2\text{--}3,0 \text{ mol}\%$. A kőzet tartalmaz még xenoblasztos szemcsékké szétesett, részlegesen felemésztdött albitokat, melyek összetétele: $\text{Ab} = 96,7\text{--}98,5$; $\text{An} = 1,3\text{--}3,2$; $\text{Or} = 0,1\text{--}0,2 \text{ mol}\%$. Az ilmenit tized mm-nél kisebb zárványokat alkot turmalinokban. Három WDS-elemzés alapján átlagos összetételük közelíti az ideális formulát: $(\text{Fe}_{0,98}\text{Mn}_{0,03})_{\Sigma=1,01} \text{Ti}_{0,99} \text{O}_3$.

5.5.2. A turmalinitek turmalinjainak kristálykémiaja

A soproni-hegységi turmalinok közül ezeknek van a legváltozatosabb felépítésük. Különösen az S3 minta turmalinja mutat mozgalmass előéletet, rendkívül bonyolult szövetet,

melynek értelmezése nem egyszerű. A kémiai táblázatban (5.15. táblázat) és az összetételi ábrákon négy zóna szerint vannak elkülönítve az elemzések. Az 1. zónát képviselik a kristályok belső magjai, melyek önmagukban is rendkívül kacifántos szöveti képet mutatnak (Tur1). Ezek a belső magok nemcsak kémiailag, de valószínűleg genetikailag sem egységesek. Egyes részeiről még az is elképzelhető, hogy az eredeti üledékes kőzetből öröklődött törmelékeny magról van szó, mint azt az 5.19/A. ábrán is jelöltem. Más részük esetleg megfelelhet a Tur2-4 zónák beszűremkedéseinek.

A Tur2 zóna egy sűrű oszcillációs zónássággal jellemezhető, a Tur1 körül kialakult köpeny. Jellemző, hogy ennek szegélye vasban gazdagabb, a visszaszórtelektron-képeken világos sávként jelenik meg. Bár látszólag a Tur2 zónából folyamatosan fejlődött ki, annak legutolsó képződési szakaszát képviseli, egyes törött kristályokon a törési felületek mentén is megjelenik (5.19/B. és C. ábra), így indokolt külön zónaként kezelni (Tur3). Végül a vékony repedések mentén beszűremkedéseként, illetve törött kristályok repedései mentén fejlődött ki a Mg-ban gazdag Tur4 zóna, mely a visszaszórtelektron-képeken a kvarccal azonos színárnyalatban jelenik meg (5.19/D. ábra).

Az S4 minta lelőhelye az előzőével megegyezik, fő különbség közöttük ez utóbbi kőzet sokkal magasabb turmalin- és kisebb kvarctartalma. A turmalinkristályok szövetében hasonlóságok és eltérések egyaránt megfigyelhetők. A különbség, hogy itt az S3-ban megfigyelt Tur1 zóna nem fejlődött ki. Az S4-ben a kristály fő tömegét egyes kristályokban kémiailag viszonylag homogén, más kristályokban sűrű, de gyenge oszcillációs zónásságot mutató zóna képviseli (Tur1). Ezután következik itt is a vasban gazdag szegély (Tur2), ami nemcsak a kristályok peremén, hanem sokszor a kristályokon belüli repedések mentén is megjelenik. Végül a legfiatalabb, a Tur2 zónát is átszelő, Mg-ban gazdagabb (a visszaszórtelektron-képeken a legsötétebb árnyalatú) beszűremkedések zárják a sort (Tur3) (5.20/A. ábra).

A HOM2008.241 minta ezektől teljesen eltér. Itt a turmalinkristályok többnyire xenoblasztosak, a szegélyükön sokszor muszkovit jelenik meg. A kristályok belseje szabálytalan, foltos zónásságot mutat, keletkezésük idejében eltérő turmalin-generációkat nem tudtam elkülöníteni. A kristályokon belül zárványként megjelenik az albit, a klorit, a muszkovit, a gránát, az apatit, a kvarc és a cirkon (5.20/B. ábra).

A turmalinitek turmalinjairól készült kémiai elemzések az 5.15.–5.17. táblázatokban találhatóak. Mint az az 5.21. ábrából is látszik, az elemzések zöme az alkáliturmalinok mezejébe esik, bár viszonylag sok elemzés az X-kationban hiányos turmalinzónák jelenlétére utal. Ha az egyes mintáknak nézzük az összetételeket, akkor látható, hogy az S3 minta bonyolult magzónáját (Tur1) kémiailag két turmalinpopuláció képezi: az egyik (a visszaszórtelektron-

képeken a sötétebb foltok) a drávit mezejébe, míg a másik (világosabb részek a BSE-képeken) a foitit-magneziofoitit határára esik (5.22. ábra).

Az utána következő, oszcillációs zónásságot mutató köpeny (Tur2) részben átfed a Tur1 zóna foitites részével, mivel ezek a Na-szegény sörl-drávit sorozatba tartoznak, de a legtöbb elemzés már a foitit mezejébe esik. Az ebből kifejlődött, vasgazdag szegély (Tur3 zóna) megtartotta a Tur2-re jellemző Na-szegénységet, az alapvető különbség a megemelkedett $Fe/(Fe + Mg)$ arány. Így ezek a turmalinok a Na-szegény sörl és a foitit fajokat képviselik. Végül a Mg-gazdag beszüremkedések (Tur4) egyben Na-ban is gazdagabbak az előző zónához képest, és némileg átfedésben vannak a Tur1 zóna Mg-gazdag elemzéseivel, bár ezek $Fe/(Fe + Mg)$ aránya azoknál valamivel magasabb, tehát vasban némileg gazdagabb drávitok (5.22. ábra).

Az S4 minta Tur1 zónája nagyjából megfelel az S3 minta Tur2 zónájának, csak ez kémiaailag homogénebb, így az elemzési pontok is kisebb szórást mutatnak, és a sörl-drávit kettős határára esnek. A X-pozíció Na-szegénysége itt is megfigyelhető, ugyanakkor a domináns X-kation mindig a Na marad, tehát az elemzési pontok nem esnek át az X-hiányos fajok (foitit-magneziofoitit) mezejébe. A Fe-gazdag turmalinból álló szegélyek és érkitöltések (Tur2) kémiája kb. megfelel az S3 minta vasas zónájának (Tur3), vagyis Na-ban viszonylag szegény sörlről van szó. Ugyanez elmondható a Mg-gazdag turmalinos erekről is (Tur3), mely szintén analóg az S3 minta megfelelő zónáival (Tur4) (5.22. ábra).

Mivel a HOM2008.241 minta lelőhelye más, mint az előző kettőé, itt párhuzamosításra nincs lehetőség. E kőzet turmalinjai teljesen szabálytalan, foltos zónásságot mutatnak, az egyes „zónák” genetikai sorrendje nehezen nyomozható. Az 5.21. és 5.22. ábrákban az elemzések így egyféle jellel kerültek fel, ennek köszönhetően ezek nagy összetételi tartományt fednek le. A kristályok fő tömegét kitevő zónák összetétele lényegében megegyezik az S4 minta fő tömegét alkotó Tur1 zónáéval, vagyis a Na-szegény sörl-drávit határának közelében csoportosulnak. Az elemzések egy másik populációja vasban lényegesen gazdagabb és Na-ban még szegényebb, így ezek a sörl-foitit mezők határának közelébe esnek. Ez utóbbi zónák a BSE-képeken világosabb foltokként jelennek meg (lásd az 5.20/B. ábrát).

5.6. A csillámpalák turmalinjai

Munkám során a csillámpalákból három turmalintartalmú mintát tudtam vizsgálni, ezek mindegyike a klorit-muszkovitpalák (vagyis a normál csillámpalák) közé tartozik (Vö-

röshídi Csillámpala Formáció). Bár a szakirodalom alapján a magasabb metamorf fokú csillámpalákban is megjelenik a turmalin (lásd pl. Draganits, 1998, 1. táblázat), ilyen példányok nem álltak rendelkezésemre, de a jövőbeli kutatásokat ez irányban majd mindenképpen ki kell terjeszteni.

A vizsgált mintáim a következők voltak (a gyűjtési helyeket lásd az 5.1. ábrán):

- **S2 minta:** turmalin- és gránáttartalmú csillámpala a soproni Ház-hegyről. A turmalinon kívül megfigyelt ásványai: muszkovit, kevés paragonit, kvarc, gránát (almandin), klorit, ilmenit, TiO₂-fázis, cirkon és Fe-oxidok. Spránitz (2017) is vizsgált innen példányokat.
- **S5 minta:** turmalintartalmú csillámpala a soproni Nap-hegyről. A minta a hegy ÉNy-i oldalán található kutatóárok széléről lett begyűjtve (Mesics G. és Nagy M. szóbeli közlése). A turmalinon kívül megfigyelt ásványai: muszkovit, kvarc, klorit, albit, klinozoisit/zoisit, ilmenit, TiO₂-fázis, cirkon, fluorapatit és monacit.
- **S11 minta:** ún. paragonitpala az S-6. számú fúrás 246,5–247,2 méteréből (5.23. ábra). A kőzet kb. 2/3 részben fehércsillámokból áll, ezen belül a muszkovit- és paragonittartalom kb. 50–50 tf%. A kőzet maradék 1/3-át a következő ásványok építik fel: turmalin, gránát, klorit, kvarc, biotit, ilmenit, pirit és fluorapatit.

5.6.1. Az egyes minták ásványtársulásának leírása

Az **S2 minta** (Sopron, Ház-hegy) gránátokkal sűrűn teleszórt csillámpala (5.24. ábra). Fő ásványai a fehércsillámok, melyek túlnyomó részt muszkovitok, de paragonit is előfordul benne. Nagyobb mennyiségben még szintelen kvarcot tartalmaz. A kőzet vas-oxidokkal át van itatva; a barna elszíneződés nemcsak a kőzet felületén, hanem a hasadási síkokban is megfigyelhető.

A fehércsillámok legfeljebb néhány mm átmérőjű, fehér pikkelyeket alkotnak. Kémiai elemzésük az 5.18. táblázatban látható. A muszkovitokban az aluminosziladonit-komponens részaránya nem különösebben számottevő (4,2–9,4%), azonban a paragonitkomponens mennyisége figyelemre méltó (13,5–18,8%). Ritkán, a muszkovittáblák között, általában 10 µm-nél kisebb méretben paragonithalmazok is megfigyelhetők (Pa = 66,6–87,9%, Mu = 6,0–29,5%). Az a vizsgálatokból nem tisztázható, hogy a fehércsillámokban a kálium és a nátrium a réteggkomplexumok közti teret vegyesen töltik-e be, vagy esetleg közberétegzett muszkovit/paragonitról van szó, s így e két elem diszkrét kationsíkokban fordul elő. Mivel a muszkovit és a paragonit közti elegyképződés elég korlátozott (Guidotti, 1984), ezért a

második eset tűnik valószínűbbnek. Mindkét ásvány közvetlen kontaktusban lehet a turmalinnal.

A kőzet másik rétegszilikátja a klorit, mely zöld színű, legfeljebb tized mm-es táblákat alkot, gyakran muszkovittal váltakozva. Kémiai elemzéseit az 5.19. táblázatban láthatjuk. A $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+}+\text{Mg})$ arány 0,56 és 0,61 közé esik, így a klorit oktaéderes pozíciója vasdomináns, vagyis az ásvány chamositnak felel meg.

A gránátok átmérője legfeljebb 1,5 mm, barnás rózsaszínek, általában lekerekítettek, csak néhány példányon lehet megfigyelni az eredeti rombdodekaéderes formát. Emellett a kristályok repedezettek, sok kristály pedig szétvált, egyes esetekben egészen szétaprózódott. A kristálydarabok közti hézagokat általában kvarc, muszkovit és klorit tölti ki. A szétaprózódott gránátok rotációs mozgást is végeztek, melyre a körülöttük elhelyezkedő, táblás habitusú rétegszilikátok szöveti képe utal (5.25. ábra). A gránátkristályok szegélyének kémiai összetétele kissé eltér a kristály belsejétől, ami alapvetően a Mn-tartalom csökkenésében nyilvánul meg. Ugyanakkor a kristály legkülső, néhány μm vastagságú szegélye újra a kristály belsejére jellemző, mangánban gazdagabb összetételt mutatja (5.26. ábra). A gránátok összességében Alm-molekulában gazdagok (5.20. táblázat), a belső rész összetétele: Alm = 74,6–77,2; Grs = 10,9–14,7; Sps = 5,4–8,1 és Prp = 4,6–5,3 mol%. A szegélyrész összetétele nem sokban különbözik: Alm = 75,7–77,8; Grs = 14,0–14,9; Sps = 1,9–3,8 és Prp = 5,7–6,4 mol%. A gránátkristályokban, főleg a szegélyzónában, sok apró ($< 10 \mu\text{m}$) ilmenitzárvány figyelhető meg. A gránátok soha nem érintkeznek a turmalinokkal.

A járulékos ásványok közül megfigyelhető az ilmenit, egy TiO_2 -módosulat (rutil?) és a cirkon. Az ilmenit legfeljebb 0,1–0,2 mm átmérőjű lemezeket alkot, sokszor a gránátban zárványként fordul elő. Kémiaileg homogén, összetétele az ideális $\text{Fe}^{2+}\text{TiO}_3$ képletet közelíti (5.21. táblázat). A rutil és a cirkon nagyon gyéren, 0,1 mm alatti szemcsékben jelenik meg.

A turmalinok max. 6 mm hosszú, fekete, hipidioblasztos oszlopos kristályokat alkotnak, ahol a tetőző lapok rendszerint hiányoznak. A kristályok a kőzet palássági síkjában fekszenek, de azon belül nem orientáltak. Gyakran repedezettek, főleg a megnyúlásra merőlegesen. A repedéseket rendszerint klorit vagy kvarc, illetve vas-oxidok töltik ki.

Az **S5 minta** (Sopron, Nap-hegy) csillámpalájának fő komponense a muszkovit, mely helyenként kloritos közbetelepüléseket tartalmaz. Kémiaileg a muszkovitnak két változata különíthető el: egy aluminoszeladonit-komponensben dúsabb (fengitesebb) és egy szegényebb (5.18. táblázat). A fengitesebb változat Pa-tartalma alacsonyabb, mint a kevésbé fengítésé. A klorit összetétele a klinoklor és a chamosit határán billeg (5.19. táblázat): a három elemzésből kettő a chamosit, míg egy a klinoklor mezejébe esik. A csillám és a klorit

hasadási síkjai mentén ilmenit és TiO_2 -ásvány (rutil?) összenövéséből álló szemcsék is megjelennek. Ezek főleg a kloritok környezetében mutatkoznak. Gyakori még a nagyméretű (több mm-es, akár cm-es), Ab_{98-99} összetételű albit (3 db WDS-elemzés alapján). Járulékos komponensként néhányszor 10 μm -es cirkont és fluorapatitot is tartalmaz a kőzet (5.27. ábra). Hasonló méreteken figyelhető meg nagyon ritkán a klinozoisit/zoisit (EDS-elemzések alapján).

A turmalin max. 4 mm hosszú, fekete, karcsú oszlopos kristályokat képez, melyek vékony darabokban barna színben áttetszőek (5.28. ábra). A kristályok jórészt a csillámpala palássági síkjában fekszenek, de ott további irányítottságot nem mutatnak. A turmalinban megfigyelt zárványok: cirkon, kvarc, monacit, klorit, fluorapatit, ilmenit/rutil.

Az **S11 minta** (Sopron, S-6. sz. fúrás) „paragonitpala” megjelöléssel került hozzám. A kőzet zömében (kb. 2/3 részben) valóban fehércsillámokból áll, ahol a muszkovit és a paragonit részaránya nagyjából megegyezik. A két csillám a kőzetben nem különül el egymástól, hanem mm alatti pikkelyekből álló szövedéket alkotnak (5.29. ábra). Kémiai elemzésük az 5.18. táblázatban látható, melyből látszik, hogy a muszkovitok Pa-tartalma – akár csak az előző két minta esetében – meghaladja a 10 mol%-ot. Egy harmadik csillám, a biotit is előfordul a kőzetben, azonban ezt az ásványt kizárólag kettétört turmalinoszlopok között sikerült megfigyelni, nemegyszer jól látható kristálylapokkal határolva (5.30. ábra). Ezeknek a biotitoknak az Al-tartalma jelentősen megemelkedett a K-tartalom rovására (5.22. táblázat), ami talán kezdődő kloritosodásuknak tudható be. Az $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ arány némileg 0,5 felett van, így az ásvány vasdús flogopitnak minősül.

A klorit kétféle módon jelenik meg a kőzetben: egyszer muszkovitok (és paragonitok) közé ékelődött pikkelyek formájában, másszor pedig biotit mellett, a széttört oszlopos turmalinok között. Kémiája hasonló az előző két mintában lévőhöz, bár azoknál némileg magnéziumosabb. Az elemzések alapján Al- és Fe-gazdag klinoklornak nevezhető (5.19. táblázat).

A gránát viszonylag ritka alkotó, 0,5 mm-nél kisebb, hipidioblasztos vagy xenoblasztos szemcséket formáz. Általában csillámok közé települ, de kvarc szomszédságában is megfigyelhető, ugyanakkor turmalinnal sosem érintkezik. Zárványként ilmenitet, kvarcot és muszkovitet tartalmazhat. Kémiai zónásságot nem mutat, három WDS-elemzés alapján összetétele a következő: Alm = 80,7–83,7; Grs = 5,8–9,0; Sps = 1,3–1,5; Prp = 8,7–9,2 mol%. A kvarckristályok is a tized mm-es mérettartományban mozognak, az 1 mm-es méretet csak ritkán haladják meg. Az ilmenit tized mm alatti foszlányokat alkot. Akcesszórius elegyrészként még fluorapatitot és piritet azonosítottam.

A turmalin megjelenésében az előző két mintához hasonlít; fekete, mikroszkóp alatt barnásan áttetsző, különálló, 1–3 mm hosszú, oszlopos kristályokat alkot a csillámokból és kloritból álló mátrixban. Némelyszer kloritpikkelyekből álló kéreg burkolja őket. A turmalin oszlopos kristályai hipidioblasztosak, a tetőző lapok szinte mindig hiányoznak. Gyakran megfigyelhetők a kristályokban a megnyúlásra merőleges repedések, s e repedések mentén sokszor a turmalinoszlopok teljesen elváltak. A köztük lévő hézagokat – sokszor nagy kuszaságban – fehércsillámok, biotit, klorit és kvarc töltik ki (5.30. ábra), a vékonyabb repedéseket főleg klorit uralja.

5.6.2. A csillámpalák turmalinjainak kristálykémiája

Mindhárom lelőhely turmalinjára jellemző, hogy *különálló*, makroszkóposan fekete színű, oszlopos kristályokat alkot a csillámpalák palássági síkjában. Az egyes kristályok kémiai zónássága mintánként eltérő: az S2 és S11 minták magja (Tur1) kémiaileg meglehetősen homogén, melyet az előzőtől nem túlságosan elütő zóna (Tur2) szegélyez (5.31/A. és C. ábrák). Ezzel szemben az S5 minta turmalinjának belső része (Tur1) is szembetűnő, foltos kémiai zónásságot mutat, s a kristályok szegélyén megjelenő Tur2 generáció pedig markánsan elkülönül a központi résztől (5.31/B. ábra). Ezen túlmenően az S2 mintában egy kloritzárványt övezve vasdús turmalinzóna figyelhető meg.

A csillámpalák turmalinjairól készült elektronmikroszondás elemzések az 5.23.–5.25. táblázatokban találhatók. Kristálykémiái viszonyait az alábbiak jellemzik. Az *X*-pozícióban a domináns kation a Na, mennyisége a belső zónákban (Tur1) 0,65 és 0,91 *apfu* között, míg a szegélyzónákban (Tur2) 0,64 és 0,77 *apfu* között változik. Ezekről az adatokról csak az S2 minta kloritzárványa körüli turmalinzóna tér el lényegesen (S2-Tur3), ahol a Na mennyisége kisebb (0,40–0,54 *apfu*), egy mérési pontban pedig már a vakanciák dominálnak (0,52 *apfu*), így az az elemzés az *X*-hiányos turmalinok mezejébe esik. (5.32. ábra). A Na után egyébként mennyiségileg a többi turmalinban is a vakanciák következnek. A Ca-tartalom viszonylag alacsony, az S2 és S5 minták Tur1 és Tur2 zónáiban 0,04–0,15 *apfu*, míg az S11 mintában még kevesebb: 0–0,04 *apfu*. Ezekről magasabb Ca-tartalom csak az S2-Tur3 zónában volt mérhető (max. 0,23 *apfu*). Mindezek alapján megállapítható, hogy a Soproni-hegység csillámpaláinak turmalinjai – egy mérési pont kivételével – az alkálituralinok csoportjába tartoznak (5.32. ábra).

A 6 db *T*-pozíciót a legtöbb mérési pontban majdnem teljes egészében Si tölti be, az Al-helyettesítés mértéke így minimális (0–0,18 *apfu*). Ugyanígy a 6 db *Z*-pozíciót az Al

uralja, mennyisége csak néhány mérési pontban nem érte el az ideális 6 *apfu* értéket. Ezekben az esetekben némi Mg-beépülést lehet feltételezni (néhány század *apfu* mértékig).

Az *Y*-pozícióban a fő kationok a mennyiség csökkenő sorrendjében a magnézium, a vas és az alumínium. A Mg mennyisége a kristályok fő tömegében (Tur1 zóna) 1,28–1,73 *apfu*, míg a szegélyi részeken (Tur2 zóna) 1,64–1,88 *apfu* között változik. Ehhez képest a vas valamivel kisebb mennyiséget képvisel: 0,99–1,45 *apfu* Tur1-ben és 0,83–1,11 *apfu* Tur2-ben. Így a csillámpalák turmalinjai a drávit-sörl sorozat tagjai a két szélső tag közötti összetétellel. Mivel a $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$ arány az *Y*-pozícióban szinte mindig kisebb 0,5-nél (csak néhány pontban lépi túl a 0,5-ös értéket), az elemzési pontok döntő része a drávit mezejébe, kisebb része a drávit-sörl határra esik (5.33. ábra). Az *Y*-ban az Al-tartalmat leginkább az ${}^X\text{Na} + {}^Y(\text{Mg}, \text{Fe}) \rightarrow {}^X\Box + {}^Y\text{Al}$ helyettesítés révén az *X*-ben található vakanciák mennyisége szabja meg, azaz minél több *X*-ben a vakanciák száma, annál nagyobb mennyiségben található *Y*-ban az Al: 0–0,28 *apfu* Tur1-ben és 0,01–0,27 *apfu* Tur2-ben. A fenti fő elemeken kívül az *Y*-ban a Mn mennyisége jelentéktelen, viszont a Ti-tartalom viszonylag állandóan 0,1 *apfu* körül mozog.

Az S2 minta Tur3 zónájában az *Y*-pozíció betöltöttsége eltér az előzőekben leírtaktól, ott ugyanis mindegyik pontban a Fe dominál 1,34–1,53 *apfu*-val a Mg felett (1,06–1,39 *apfu*). Így ez a zóna a sörl fajt képviseli, kivéve azt az elemzési pontot, ahol a $\Box/(\Box + \text{Na}) > 0,5$, mert az már a foitit mezejébe esik.

Összességében megállapítható, hogy a csillámpalák turmalinjainak belső zónája (Tur1) a sörl-drávit sorozat drávitos felébe esik. Az ezt övező szegélyzóna (Tur2) a Tur1-nél Mg-ban valamivel gazdagabb, tehát még drávitosabb, ezzel együtt pedig a vakanciák mennyisége is kisebb növekedést mutat a Na rovására (5.33. ábra).

5.7. A kvarcitok turmalinjai

A Soproni-hegység turmalintartalmú fehérkvarcitjait közzétanilag két csoportra lehet osztani. Az elsőbe tartoznak a *tiszta kvarcitok*, melyek kvarctartalma definíció szerint meghaladja a 80%-ot (lásd pl. Bucher és Grapes, 2011). Másik csoportjuk a *kianit-klinoklormuszkovit-kvarcitok*, melyekben a kvarc mellett jelentős mennyiségben van jelen a közetnévben felsorolt három ásvány is. Ez utóbbi a Seprőkötői Kvarcit Tagozat típusos kőzete, s ezt vizsgálta részletesen Spránitz (2017) is, aki kianit-leuchtenbergit±muszkovit kvarcitnak nevezte őket.

A munkám során vizsgált tiszta kvarcitok (a gyűjtési helyeket lásd az 5.1. ábrán):

- **HOM22030 minta:** Sopron, Récényi úti kőfejtő. Ásványtársulás: kvarc, turmalin, muszkovit, TiO_2 -fázis, monacit.
- **HOM24008 minta:** gránáttartalmú csillámpalába ékelődött kvarcit a Vöröshídi-kőfejtőből (Sopron). Ez a Herman Ottó Múzeum egy régebbi gyűjteményi példánya volt, melyből a darab jelentős roncsolása nélkül csiszolatot nem lehetett készíteni. Így a darabról csak néhány turmalinkristály lett lepreparálva, s ezekről készültek elektronmikroszondás elemzések. Az ásványtársulása emiatt tovább nem lett vizsgálva, a környező csillámpalában sztereómikroszkóppal muszkovit, klorit, kvarc és gránát (almandin), valamint vas-oxid volt azonosítható.
- **S1 minta:** Fertőrákos, Gödölye-bérc. Kvarckavics, melyben elhintve jelennek meg a turmalinkristályok. A turmalin zárványai: kvarc, muszkovit, biotit, Fe-oxid.
- **S12 minta:** Sopron, Tövissüveg. Ásványtársulás: kvarc, turmalin, muszkovit, klorit, fluorapatit, ilmenit, TiO_2 -fázis, cirkon.
- **S17 minta:** Harka, Fillér-erdő. Ásványtársulás: kvarc, turmalin, klorit, ilmenit, TiO_2 -fázis, cirkon, pirit.

A turmalintartalmú kianit-klinoklor-muszkovit-kvarcitokat a következő lelőhelyekről tanulmányoztam [innen szerepelnek minták Spránitz (2017) dolgozatában is]:

- **S9 és S10 minta:** Sopron, Seprőkötő-hegy. Ásványtársulás: kvarc, turmalin, kianit, muszkovit, klorit, TiO_2 -fázis.
- **S16 minta:** Sopron, Récényi úti kőfejtő. Ásványtársulás: kvarc, turmalin, kianit, muszkovit, klorit, TiO_2 -fázis.

5.7.1. Az egyes minták ásványtársulásának leírása

A **HOM22030 minta** (Sopron, Récényi úti kőfejtő) egy átkristályosodás alatt álló kvarcit, amely két, szabad szemmel is jól elkülöníthető (egy finomabban és egy durvábban kristályos) részből áll. A két szektor a kvarckristályok szemnagyságában és az ásványtársulásukban tér el egymástól. A durvábban kristályos rész csak fehér kvarcból áll (mérete több tized mm lehet), a finomabban kristályosban a kvarc ($< 0,1$ mm) mellett megtalálható még a fekete turmalin és néhány akcesszória (muszkovit, TiO_2 -fázis, monacit) (5.34/A. ábra).

A **HOM24008 mintát** (Sopron, Vöröshídi kőfejtő) – mint fentebb jeleztem – részleteiben nem tudtam vizsgálni. Benne a turmalin néhány mm hosszú, barnásfekete színű, vékonyoszlopos-tűs kristályokból álló nyalábokat formáz hol kusza, hol szubparallel, hol pedig sugaras elrendezésben.

Az **S1 mintában** (Fertőrákos, Gödölye-bérc) a fekete, max. 2 mm hosszú, oszlopos turmalinok magányosan, vagy néhány kristály alkotta összenövésben „úsznak” a kvarcos mátrixban. Az egyéb ásványok (muszkovit, biotit, Fe-oxid) a turmalin zárvényaiként jelennek meg jelentéktelen mennyiségben. A két csillámról 1–1 EDS-elemzés készült. Ezek alapján a képletük: muszkovit = $(K_{0,76}Na_{0,08}Ca_{0,01})_{\Sigma=0,85} (Al_{1,72}Mg_{0,23}Fe_{0,11}Ti_{0,01})_{\Sigma=2,07} (Si_{3,23}Al_{0,77})_{\Sigma=4,00} O_{10} (OH)_2$; biotit = $(K_{0,87}Na_{0,05} Ca_{0,03})_{\Sigma=0,95} (Fe_{1,63}Mg_{0,86}Al_{0,44})_{\Sigma=2,93} (Si_{2,70}Al_{1,30})_{\Sigma=4,00} O_{10} (OH)_2$.

Az **S12 minta** (Sopron, Tövissüveg) egy olyan kvarcit, melyben a fekete, aprószemcsés turmalinhalmazok akár 1 cm-t meghaladó vastagságú sávokban vagy fészkekben fordulnak elő (5.34/B. ábra). A kőzetben irányítottság is megfigyelhető, melyet az oszlopos turmalinok, valamint a lemezes muszkovitok és kloritok elrendeződése jelez. E két rétegszilikát összetételét az 5.26. és az 5.27. táblázatok mutatják. Figyelemre méltó a muszkovitok magas Na-tartalma (0,15–0,20 *apfu*). A kloritokban mért Fe/(Fe + Mg) arány (0,49–0,51) és a magas Al-tartalom (2,88–2,96 *apfu*) alapján az ásvány egy Al-gazdag klinoklor/chamosit közép-kristály. Az ilmenitek több tized mm átmérőjű lemezeket alkothatnak, három EDS-elemzés átlagából az összetételük: $(Fe_{0,93}Mn_{0,02})_{\Sigma=0,95} Ti_{1,02} O_3$. Az ilmenitek a repedések mentén és a szegélyeken TiO_2 -ásvánnyá alakulnak át. Az apatitok nagyon gyéren, a turmalinkristályok között fordulnak elő 10–20 μm -es szemcsékként. Fluortartalmuk jelentős, 3 t% körül mozog.

Az **S17 minta** (Harka, Fillér-erdő) egy max. 3–4 mm hosszú, fekete, zömök oszlopos turmalinkristályokkal sűrűn telepakolt kvarcit (5.34/C. ábra), melyben e két ásványon kívül még klorit, ilmenit, TiO_2 -fázis, cirkon és pirit volt megfigyelhető. A kloritok a turmalinkristályok közötti, legfeljebb néhány tized mm-es tereket tölti ki. Összetételük az 5.27. táblázatban látható: az $Al_{tot} = 2,86–2,90$ *apfu*, míg a Fe/(Fe + Mg) arány $\leq 0,5$, így ez a klorit is egy Al- és Fe-gazdag klinoklor. Az ilmenittáblák átmérője a 0,5 mm-t is meghaladhatja. A kristályok erősen repedezettek és nagymértékben TiO_2 -ásvánnyá alakultak át. Átlagos összetételük három EDS-elemzés alapján: $(Fe_{0,92}Mn_{0,03})_{\Sigma=0,95} Ti_{1,02} O_3$.

Az **S9 és S10 minta** (Sopron, Seprőkötő-hegy) vas-oxidoktól kissé narancssárgás színű, palás szerkezetű kőzet, melyben a fekete turmalinok vékony ereket alkotnak (5.34/D.

ábra). A kvarc mellett gyakori ásvány még a leveles halmazokat alkotó muszkovit és a színtelen klorit. WDS-elemzések alapján az átlagos összetételük: muszkovit = $(K_{0,68}Na_{0,06})_{\Sigma=0,74} (Al_{1,99}Mg_{0,07}Fe_{0,01}Ti_{0,01})_{\Sigma=2,08} (Si_{3,11}Al_{0,89})_{\Sigma=4,00} O_{10} (OH)_2$; klorit = $(Mg_{4,28}Fe_{0,16}Al_{0,44}Mn_{0,01}Ca_{0,01}Na_{0,01})_{\Sigma=4,91} Al_{1,00} (Si_{2,77}Al_{1,23})_{\Sigma=4,00} O_{10} (OH)_8$. Látható, hogy a muszkovitból a mérés során a kálium egy része eltávozott, így a rétegeközi kationtartalom elég alacsonynak adódott. A klorit a Fe-szegény klinoklor-változatot („leuchtenbergit”) képviseli.

Az **S16 minta** ismét a Récényi úti kőfejtőből származik, de a HOM22030 mintához képest a kvarcitban a kvarc mellett már jelentősebb mennyiségben megjelenik a kianit, a muszkovit és a klorit. A turmalin fekete, max. 5 mm vastag, hullámos (gyúrt) sávban mutatkozik a kőzetben (5.34/E. ábra). A muszkovit és klorit gyakran egymással összenövésben alkotnak leveles halmazokat. A muszkovit elemzési adatai az 5.26., míg a klorité az 5.27. táblázatban láthatók. A muszkovitok kémiai kémiája az ideális összetételt közelíti, attól komolyabb eltérés csak a rétegeközi kationpozícióban van, ahol a káliumot jelentősebb mennyiségű Na (0,14–0,16 *apfu*) helyettesíti. A kloritok lényegében vasmentesek (Fe = 0,01–0,02 *apfu*), viszont jelentős Al-tartalommal bírnak (2,78–2,88 *apfu*), így ezek Al-gazdag klinoklorok („leuchtenbergit”).

5.7.2. A kvarcitok turmalinjainak kristálykémiája

A vizsgált kvarcitok turmalinjainak majdnem mindegyikére jellemző, hogy fekete színűek, illetve szorosan egymás mellé nőtt, oszlopos kristályokat alkotnak. Kivétel ez alól az S1 minta, ahol a turmalinoszlopok magányosan is megjelennek a kvarcitban. A kristályok mérete rendszerint mm alatti, de három mintában (HOM24008, S1 és S17) ennél nagyobb egyedek is előfordulnak.

Tiszta kvarcitok. A HOM22030 mintában (Sopron, Récényi úti kőfejtő) a turmalinkristályok oszcillációs zónásságot mutatnak. A visszaszórtelektron-képen jól látható, hogy az átkristályosodási front közelében a kvarcos alapanyag kiszorítja, felemészti a turmalinokat, melyekből már csak foszlányok maradtak meg (5.35/A. ábra). A fronttól távolabb még viszonylag ép turmalinkristályok figyelhetők meg. A HOM24088 mintán is a turmalinkristályok oszcillációs zónássága látható (5.35/B. ábra). Az S1 minta az előző kettőtől eltér. Egyrészt itt két, jól körülhatárolható turmalin generáció figyelhető meg: a kristályok fő tömegét adó Tur1, és a körülöttük szegélyként, illetve bennük vékony erekként megjelenő Tur2 (5.35/C. ábra). Megjegyzendő, hogy a Tur1 generáció kémiaiailag elég heterogén a foltos zónássága miatt. Az S12 minta (Sopron, Tövisüveg) turmalinjában foltos zónásság látható

(5.35/D. ábra). Az S17 minta (Harka, Fillér-erdő) turmalinjában az oszcillációs zónásság gyenge, alig észrevehető (Tur1). Egyes kristályok szegélyén azonban kétféle átalakulás is megfigyelhető: egy vasban dús (Tur2) és egy magnéziumban dús (Tur3) (5.35/E. ábra).

Kianit-klinoklor-muszkovit-kvarcitok. Az S9 és S10 minta (Sopron, Seprőkötő-hegy) turmalinjai sűrű oszcillációs zónásságot mutatnak és nagyon gyakori, hogy az ilyen turmalinokra (Tur1) egy új, Mg-gazdag, kémiailag viszonylag homogén generáció nő rá, mely a visszaszórtelektron-képeken sötétebb szürke árnyalatban jelenik meg (5.36. ábra). Ezek a turmalinok erősen töredezték, sokszor teljesen felaprózódtak. A Tur2 képződése már a széttöredezett kristályokon indult el, illetve vékony erei gyakran teljesen átszövik a Tur1 kristályokat. Az S16 minta (Sopron, Récényi úti kőfejtő) turmalinja főként a Seprőkötő-hegyi mintákéra (S9 és S10) emlékeztet: oszcillációs zónásságú, töredezett kristályok (Tur1), a szegélyükön kémiailag homogén, Mg-gazdag turmalinos ránövedésekkel (Tur2). Emellett számos Tur1 belsejében megfigyelhető a BSE-képeken egy világos, vasban gazdag zóna is. A Soproni-hegység vizsgált turmalinjai között ezek voltak tektonikailag a leginkább igénybevett példányok.

A kvarcitokban megjelenő turmalinokról készült elektronmikroszondás elemzések az 5.28–5.35. táblázatokban találhatóak. Az eredmények grafikus ábrázolása az 5.37. és 5.38. ábrákon látható. Ezeken az ábrákon a turmalinok fő tömegét (magját, 1. generációját) piros jelek mutatják. Ez a Tur1 zóna a legtöbb minta esetében (talán csak az S17 a kivétel) az erős oszcillációs vagy foltos zónásság miatt széles összetételi tartományt fed le. Az elemzések zöme a sörl-drávit határ közelében csoportosul, de számos elemzés már a foitit mezejébe esik. A vasban dúsabb sörl, a magnéziumban dúsabb drávit és a magneziofoitit csak néhány pontban volt mérhető.

Az S1, S9, S10, S16 és S17 mintáknál a Tur1-nél magnéziumosabb szegélyzóna volt megfigyelhető (kék jelek az 5.37. és 5.38. ábrákon). Ezeket a zónákat a Mg-tartalmuk alapján két csoportra oszthatjuk (e két csoport megfelel a kőzettani bontásnak is): a tiszta kvarcitok turmalinjában a $Fe/(Fe + Mg)$ arány nem sokkal kisebb, mint a Tur1 zónákban, vagyis S1-ben 0,35–0,39, míg S17-ben 0,31–0,36. A kianit-klinoklor-muszkovit-kvarcitok csoportjában a Tur2 $Fe/(Fe + Mg)$ aránya rendkívül alacsony ($< 0,04$). Ezeknél a mintáknál a Tur1 és Tur2 zóna élesen elkülönül a BSE-képeken, és a Fe és Mg eloszlását mutató röntgenképen is jelentős kontraszt figyelhető meg (5.39. ábra). Érdekes, hogy e második csoport Tur2 zónáinak Na-tartalmában viszont már jelentős különbségek mutatkoznak.

Végezetül érdemes megemlíteni az S17 mintában egyes turmalinok szegélyén megjelenő, a BSE-képeken a Tur1-nél világosabb árnyalatú, így vasban gazdagabb zónát, mely a

kémiai elemzések alapján kis Na-tartalmú (0,24–0,31 *apfu*), tehát a foitit mezejébe esik (S17-Tur2 pontok). Ezek képviselik a kvarcitokban lévő turmalinok vasban leggazdagabb, viszont nátriumban majdnem legszegényebb típusát.

5.8. Diskusszió

A turmalinok összetétele nagyon érzékeny a befogadó kőzet összetételére, a koegzisztens ásványokra és ezen ásványok kémiájára (ezt hívják kőzet-pufferált visszahatásnak), s a turmalinok képesek arra, hogy a kémiai jellemvonásukat megőrizzék a geológiai idők folyamán. Emellett azonban a turmalinok erősen érzékenyek a földtani környezetükben kifejlődött fluidumok összetételére is, legyenek azok akár a rendszeren belülről származó fluidumok, akár kívülről infiltrálódott fluidumok (ezt hívják fluidum-pufferált visszahatásnak) (Dutrow és Henry, 2016, 2018). Az, hogy a kifejlődött turmalin összetételét e két tényező közül melyik befolyásolja jobban, azt a rendszer kőzet/fluidum aránya határozza meg. Magas kőzet/fluidum aránnyal rendelkező környezeteket kvázi zárt rendszereknek tekinthetünk, ahol a kifejlődött turmalinok kémiai zónássága általában nem számottevő, míg alacsony kőzet/fluidum arányú környezeteknél fordított a helyzet, vagyis nyílt rendszerek, mely a turmalin kémiai zónásságában is megnyilvánul (Dutrow és Henry, 2018)

A Soproni-hegység turmalinjait a befogadó kőzet típusa alapján az előzőekben öt részre bontottam: 1.) gneiszek és pegmatitok; 2.) gneisz és csillámpala határa; 3.) turmalinitek; 4.) csillámpalák és 5.) kvarcitok turmalinjai. Ezt az ötös felosztást a turmalinok morfológiája szerint két nagy csoportra lehet egyszerűsíteni: a.) oszlopos, egymással nem, vagy csak véletlenül érintkező egykristályok; b.) kötegelt vékony oszlopok, tűk (aggregátumok). Az „a” csoportba tartoznak a gneiszekben (pegmatitokban) és csillámpalákban megjelenő, míg a „b” csoportba a gneisz-csillámpala határán, a kvarcitokban és a turmalinitekben előforduló turmalinok. Az „a” csoport turmalinjaira (pontosabban e turmalinok belső, Tur1 zónájára) jellemző még, hogy kémiailag viszonylag homogének, így kvázi zárt rendszerben, magas kőzet/fluidum arány mellett képződtek, míg a „b” csoport turmalinjaira ennek ellenkezője igaz, ebből kifolyólag keletkezésük nyílt rendszerben, alacsony kőzet/fluidum arány mellett történt.

Amikor a turmalinok képződési viszonyait akarjuk tisztázni, első kérdésként mindig azt kell feltennünk, hogy vajon honnan származott az ásvány létrejöttéhez elengedhetetlenül szükséges bór. Bár konkrét adatokkal erről értelemszerűen nem rendelkezünk, a Soproni-

hegységben két forrást lehet megjelölni: 1.) a csillámpalák eredeti pélites kiinduló kőzetét és 2.) a gneisz peraluminiumos gránitos anyakőzetét.

Ha időrendben akarjuk áttekinteni a Soproni-hegység turmalinképződési folyamatait, akkor a legidősebb turmalinok a csillámpalák kiinduló agyagos-homokos kőzeteiben megjelenő törmelékes turmalinszemcsék lehetnének. Bizonyítottan ilyen törmelékes szemcséket nem ismerünk. Az első turmalinképződési esemény az agyagos-homokos kőzeteket ért variszkuszi metamorfózis lehetett, ugyanis az üledékes kőzetek közül a tengeri agyagok rendelkeznek átlagosan a legmagasabb B-tartalommal, amely elérheti a 100–1000 ppm-et is (London és társai, 1996). Ezeken belül a fő bórhordozó ásvány az illit, illetve a muszkovit finomkristályos változata, a szericit 200–2000 ppm közötti B-tartalommal, a szalinitástól függően, de a montmorillonit és a közberétegzett illit/montmorillonit is jelentős B-hordozó lehet (Christ és Harder, 1978). Mivel agyagos üledékekben a bórtartalom a szemcseméret csökkenésével nő, ezért ez az elem legnagyobb mennyiségben a fenti agyagásványokhoz adszorbeáltan kötve van jelen, ugyanakkor a B a dioktaéderes csillámok szerkezetébe, a tetraéderes rétegbe is beépülhet. Ennek legékesebb bizonyítéka a $KAl_2(Si_3B)O_{10}(OH)_2$ ideális összetételű boromuszkovit (Foord és társai, 1991).

A fentiek alapján a soproni csillámpalák kiinduló agyagos üledéke is jelentős bórtartalommal rendelkezhetett, ugyanis e kőzetek szöveti képe magas kőzet/fluidum arányú képződési környezetre, vagyis zárt rendszerre utal, mivel a turmalinok a csillámpalában elsősorban helyezkednek el, tehát a turmalin képződéséhez szükséges bór nem jöhetett külső fluidumokból. Ilyen zárt rendszerekben a turmalin képződhet folytonos reakciókon keresztül, amennyiben a bór folytonosan pótlódik a rendszerbe, vagy képződhet epizodikusan, a bórt felszabadító diszkontinuális reakcióknak köszönhetően (Henry és Dutrow, 1996).

Az így képződött turmalinok (S2, S5 és S11 minták Tur1-generációi) elemzési pontjainak döntő része az AFM-diagram 5. mezejébe, vagyis a koegzisztens Al-telített fázis nélküli metapélitek és metapszammitok közé esik (5.40. ábra). Így a turmalinok kristálykémiai viszonyai is teljesen alátámasztják a fenti keletkezési elméletet egyszersmind azt is jelezve, hogy Al-telített fázis (pl. kianit) nincs jelen a kőzetben. Érdeemes még megjegyezni, hogy a Soproni-hegység kőzetei közül a csillámpalákban lévő turmalinoknak a legmagasabb az átlagos Na-tartalma.

Mivel az agyagásványokból az adszorbeált bór 150 °C-on felszabadul (Aggarwal, 1999), a variszkuszi metamorfózis után a csillámpalák teljes bórtartalma – nem számolva az esetlegesen az agyagásványok szerkezetében, a tetraéderes pozícióban lévő bórral – a tur-

malinokban volt megkötve. Emiatt ilyen zárt rendszerű metamorf turmalinképződésre a későbbiekben már nem volt lehetőség, mivel a turmalin stabilitási mezejét (lásd a 2.7. ábrát) meghaladó metamorf eseményre a későbbiekben nem került sor, tehát ebből az ásványból kizárólag a megemelkedett hőmérséklet + nyomás hatására bór már nem tudott felszabadulni.

A Soproni-hegység második turmalinképződési eseménye a gránitos magmatizmushoz köthető, ugyanis a bór olyan inkompatibilis elem, amely a magmás kristályosodás kései szakaszaiban halmozódik fel, így elsősorban az erősen differenciált, gránitos olvadékokban dúsul. Mivel könnyen mobilizálódik az elkülönült vizes fluidumokba, a gránitos olvadékok eredeti bórtartalma részben elveszik, esetleg pegmatitos testekben, illetve a gránit körüli metasztatikus övekben koncentrálnak (Leeman és Sisson, 1996).

Mint az 5.3. alfejezetből kiderül, a gneiszek (és metagránitok) valamint a pegmatitos testek több lelőhelyen tartalmazzak fekete, sokszor nagyméretű (> 1 cm), hintett oszlopos kristályokat. Először ezeknél a mintáknál is az 1. generációt (Tur1 zónák) vizsgáljuk, mely kifejezett kémiai zónásságot nem mutat. E két tényező, vagyis a hintett jelleg és a zónásság hiánya ismét zárt, magas kőzet/fluidum arányú, de – a csillámpaláktól eltérően – magmás képződési környezetet jelez, másként szólva a turmalin kristályosodása olvadékból történhetett (lásd pl. London és Manning, 1995). Ha ennek a Tur1 generációnak az elemzéseit ábrázoljuk az AFM diagramban, akkor látható, hogy a pontok a 2. mezőbe esnek¹, amely a Li-szegény granitoidokat és pegmatitjaikat jelenti, tehát megfelelnek az általunk vázolt keletkezési feltételeknek (5.41. ábra).

Bár az elemzési pontok az AFM-diagram gránitos mezejébe esnek, feltűnő a gneiszekben és pegmatitokban lévő turmalinok szokatlanul magas Mg- és alacsony Na-tartalma, ha a gránitok tipikus magmás turmalinjaihoz hasonlítjuk őket. Mivel gránitos olvadékokban a differenciációs trend együtt jár az Mg/(Mg + Fe + Mn) arány csökkenésével (Pesquera és társai, 2013), a soproni minták viszonylag magas Mg-tartalma utalhat egy kevésbé differenciált magmából való kristályosodásra, aminek ellentmond, hogy ilyen magmák bórtartalma is viszonylag alacsony és nem biztos, hogy eléri a turmalin telítéséhez szükséges értéket (2 t% B₂O₃: London, 1999). Mivel a Soproni-hegységben a gneiszek szegélyzónájában, illetve kisebb pegmatittestekben jelenik meg a turmalin, az sem zárható ki, hogy a gránitos

¹ Egyes pontok a 2. mező fölé, az összetételi hézagba kerülnek, de ez most számunkra indifferens, mivel az újabb AFM-diagramok már kiterjesztik ezt a mezőt a foitit-magneziofoitit pontok összekötő vonaláig (lásd pl. Bačík és társai, 2008).

magma asszimilálta a környezetében lévő, már a variszkuszi metamorfózison átesett csillámpalákat, s ebből a hibrid kőzetből kristályosodott ki a turmalin. Ez szintén magyarázattal szolgálna a megemelkedett Mg-tartalmat illetően, ugyanakkor itt is felmerül az a kérdés, hogy ennek a keverékkőzetnek volt-e elegendő bórtartalma a turmalin kristályosodásához. Elvileg lehetett, hiszen ebben a tekintetben a csillámpala nem biztos, hogy „hígította” a gránitos olvadék bórtartalmát, ha turmalin-tartalma miatt maga is relatíve gazdag volt ebben az elemben.

A gneiszek és pegmatitok turmalinjainak magmás úton képződött Tur1 zónája elég szegény nátriumban, számos elemzési pontban a vakanciák válnak uralkodóvá az X-pozícióban, vagyis a turmalin foitites összetételt mutat (lásd az 5.10. ábrát).

A Soproni-hegységben a turmalinképződés harmadik szakasza a gránitos olvadékból elkülönült, bórban gazdag fluidumoknak köszönhető. Ezekből az oldatokból – nyílt kémiai rendszer, alacsony kőzet/fluidum arányú környezet – válhattak ki a gneisz és csillámpala határán megjelenő zónás turmalinok, de ezekhez köthető a turmalinitek turmalinja is (e két típus között valószínűleg genetikai különbség nincs, csak a turmalin-felhalmozódás mértéke eltérő). Ugyanígy ebbe a genetikai csoportba tartozhatnak a kvarcitok turmalinjai is. Ezeknél a turmalinoknál a fluidumból történt kiválásra és a nyílt kémiai rendszerre bizonyíték a turmalinkristályok aggregátumokba rendeződése, valamint a kémiai – oszcillációs vagy foltos – zónásság.

Kémiaiilag az így képződött turmalinok – a zónásság miatt – nagy összetételi tartományt lefednek, általában a sörl-drávit sorozat közbülső, de Na-ban viszonylag szegény tagjait reprezentálják. Valahol a gneiszek és a csillámpalák turmalinjainak összetétele között mozognak, ami logikus is, hiszen alapvetően e két rendszer keveredésének termékei. Az AFM-diagramokban (5.42.–5.44. ábrák) az elemzési pontok zöme még mindig a 2. mezőbe esik (Li-szegény granitoidok), de már a gneiszekhez képest eltolódva a 4. és 5. mezők felé (metapelitek és metapszammitok). Mindez arra utal, hogy a gneisz-csillámpala kontaktusok, a turmalinitek és a kvarcitok turmalinjai a gneisz gránitos protolitjából elkülönült, B-gazdag hidrotermás oldatokból váltak ki, de a mellékkőzetekkel való elemkeveredés következtében összetételük a csillámpalák turmalinjai felé tolódott el.

Eleddig a fő turmalinképző folyamatok során létrejött turmalinok genetikai viszonyait tekintettük át, ugyanakkor alig volt olyan soproni-hegységi minta, amely utólagos átalakulásból következő kémiai zónásságot, újabb turmalin generációk létrejöttét ne mutatta volna. Ezeket az átalakulásokat az újonnan képződött turmalinok kémiája alapján két fő típusra

oszthatjuk: 1.) vasban gazdag átalakulási zónák és 2.) magnéziumban gazdag átalakulási zónák. Itt a gazdagságot elsősorban az 1. generáció turmalinjaihoz viszonyítva értem, bár a Mg-dús turmalinok közül vannak olyanok is, melyek abszolút értelemben is Mg-gazdagok, lévén vasat alig tartalmaznak.

A Soproni-hegység turmalinjainak szinte minden mintában megfigyelhető, bár eltérő mértékű töredezettsége valószínűleg az alpi nagy nyomású metamorfózishoz köthető. Mivel mind a vasas, mind pedig a magnéziumos átalakulás nemcsak a kristályok eredeti felületén, hanem ezen törési felületek mentén is megjelenhet, úgy gondolom, hogy mindkét metasomatikus folyamat az alpi HP metamorfózis csúcsát követően játszódott le. Ha olyan mintákat nézünk, melyeken a Fe- és a Mg-gazdag turmalinzónák egyaránt megfigyelhetők (S3, S4, S6, S17), akkor egyértelműen látszik, hogy a vasas átalakulás az idősebb (lásd pl. az 5.20/A. ábrát).

Ezek a vasas zónák különféle kőzettípusok (gneisz, pegmatit, turmalinit, kvarcit) turmalinjain is megjelennek és kristálykémiailag sem egységesek, mintáról mintára némileg más összetételt mutatnak, ezért vasban való gazdagodásuk a kristályok magját alkotó turmalinok összetételéhez képest értendő. Ez nem zárja ki genetikai rokonságukat, csupán arra utal, hogy a hidrotermás oldat forrásától való eltérő távolság, valamint a különböző kiválási környezetek (eltérő típusú kőzetek, eltérő összetételű gazdaásványok) is hatást gyakorolhattak a kémiai viszonyokra. Érdekesség, hogy a vizsgált csillámpalák turmalinjain (S2, S5, S11) ilyen vasban dúsabb szegélyzóna nem jelent meg.

A Fe-gazdag turmalinzónákat létrehozó Fe-metaszomatózis ideje és kiváltó oka egyelőre nem ismert. Idejét mindenesetre az alpi HP metamorfózis csúcsa és az Mg-metaszomatózis közé teszem a szöveti bélyegek alapján, mivel ilyen vasas átalakulási zónák olykor az alpi metamorfózis során szétört turmalinkristályok törési felületein is megjelennek (lásd az 5.19/C. ábrát). Vasasodás egyébként, mint kései felszíni, vagy felszínközeli folyamat a Soproni-hegységben általánosan elterjedt, amely különböző kőzettípusok vas-oxidos átítatódásában nyilvánul meg. Ilyen kőzetpéldányok jelen vizsgálatban is szerepeltek (pl. S3 vagy S10 minták), ahol a Fe-oxid képződése minden bizonnyal vas-szulfidok bomlásával van kapcsolatban. Ezek a folyamatok azonban jóval későbbiek a Fe-gazdag turmalinos szegélyeket létrehozó eseménynél, bár az nem zárható ki, hogy ez utóbbi esetében is pirit bomlásából került sok vas a metaszomatizáló fluidumokba.

A legutolsó turmalinképződési szakaszt a Mg-ban gazdag turmalinszegélyek reprezentálják. Az ezt létrehozó Mg-metaszomatózist a leukofillitek képződésének vizsgálata során jól dokumentálták (Demény és társai, 1997; Török, 2001, 2003). Demény és társai (1997)

szerint e Mg-dús fluidumok lehetséges forrása a Pennini-egység szerpentinit-gabbró-bazalt öszslete, amely az Ausztróalpi-takarók alá települ. Eme ofiolit-sorozatból felszabaduló illók szolgáltathatták a metasomatizáló Mg-gazdag fluidumokat.

A leukofillitekben, de a többi Mg-metasomatózist szenvedett kőzetben is ezen átalakulási folyamatot a klorit kémiája jelzi leginkább: minél erősebb volt a Mg-metasomatózis hatása, a kloritban mérhető $Fe/(Fe + Mg)$ arány annál alacsonyabb volt, s ez az érték a leukofillitekben és a kianit-klinoklor-muszkovit-kvarcitokban megközelítette a nullát (ezeket a lényegében vasmentes klinoklorokat szokás leuchtenbergitnek is nevezni). A Mg-metasomatózis az érintett turmalinok kémiájára is hatással volt, mivel azonban a kloritoknál sokkal ellenállóbb ásványról van szó, a magnéziumos átalakulás általában nem terjedt ki az egész kristályra, hanem annak csak a szegélyén, illetve repedések mentén hozott létre ilyen Mg-ban gazdagabb zónákat (bár egyes nagyon kicsi darabokra szétesett turmalinoknál akár az egész szemcsére is kiterjedt az átalakulás). Azt, hogy e két ásvány átalakulása összefügg, jól szemlélteti az 5.45. ábra, ahol a klorittartalmú kőzetekben megjelenő kloritok, illetve turmalinok legkülső zónájában mért átlagos $Fe/(Fe + Mg)$ arányt hasonlítottam össze. A korreláció szembetűnő, egyedül az S18 minta lóg ki erősen a sorból. Ez utóbbi egy olyan klorittartalmú pegmatitos kőzet, ahol a klorit erős Mg-metasomatózis hatását mutatja [$Fe/(Fe + Mg) = 0,032$], ugyanakkor a turmalinokon magnéziumos szegély nem, csak vasas átalakulás volt megfigyelhető. Ennek okára magyarázatot nem sikerült találnom.

5.9. Összegzés

Összegzésképpen a Soproni-hegység turmalinjairól a következő megállapítások tehetők:

1. Az összes vizsgált turmalin kristálykémiai szempontból a sörl-drávit-foitit-magnéziofoitit ásványfajok által meghatározott összetételi mezőben helyezkedik el.

2. A turmalinok fluorban szegények, így valószínűleg a hidroxil-sorozatba tartoznak, bár teljesen nem zárható ki oxiturmalinok jelenléte sem, melynek eldöntéséhez a hidrogént is mérő elemzési eljárás alkalmazására lenne szükség. Úgy tűnik, hogy a soproni-hegységi magmás-metamorf rendszerekben a fluor az apatitot preferálta, hiszen a számos mintában megjelenő apatitok mindegyike fluorapatit volt.

3. Ha a három fő turmalincsoportot nézzük, akkor a Soproni-hegység példányai döntően az alkáliturmalinok csoportjába tartoznak, de általános az X-pozícióban a több-keve-

sebb kationhiány (vakancia), így az X-hiányos turmalinok is gyakorinak mondhatók. Jellemző továbbá a turmalinok kis Ca-tartalma, a kalciumos csoport tagjainak teljes hiánya, ami minden bizonnyal azzal függ össze, hogy a hegységben Ca-gazdag kőzetek (itt elsősorban a Ca-karbonátos kőzetekre gondolok) nem találhatók.

4. Ugyancsak jellemző, hogy a turmalinokban a kálium mennyisége szinte mindig a kimutatási határ alatt volt. Ennek alapvetően két oka lehet: a.) genetikai; b.) kristálykémiailag. A genetikai ok annyit tesz, hogy a K-gazdag turmalinok elsősorban ultranagy nyomású (UHP) környezetekben otthonosak (lásd pl. a Kokcsetav-masszívumot, Kazahsztán, ahonnan a K-domináns maruyamait került leírásra: Lussier és társai, 2016), illetve Barryman és társai (2014) 700 °C-on és 4 GPa nyomáson szintetizáltak K-drávitot. A Soproni-hegységben még a legmagasabb nyomású alpi metamorfózis sem közelítette meg ezt az értéket: 1,3–1,4 GPa (Török, 1998). A fenti adatok az ún. Al-turmalinokra vonatkoznak, vagyis ahol Z = Al. Azonban ha a Z-pozíciót az Al-nál nagyobb Fe³⁺ töltéssel be, mint a povondraitban, akkor az megnövelné a rácsállandókat, így az X-pozíció méretét is, s ezáltal a nátriumnál kb. 25%-kal nagyobb kálium is beférne az adott helyre a turmalin képződésekor uralkodó nyomástól függetlenül (Grice és társai, 1993). Ez jelenti azt a kristálykémiailag okot, ami miatt a soproni turmalinokban nincs kimutatható mennyiségű K, hiszen itt a Z-pozíciót szinte kizárólag – esetleg némi Mg beépülése mellett – Al tölti be.

5. Genetikától függetlenül a Soproni-hegység turmalinjaira jellemző, hogy az Y-pozícióban a Fe/(Fe + Mg) arány a 0,5 érték körül szór, tehát a hegység jellegzetes turmalinjai a Mg-gazdag sörl és a Fe-gazdag drávit. Szélsőségesen vasas vagy szélsőségesen magnéziumos turmalinok ritkák, kis mennyiségűek és soha nem alkotják a turmalinkristályok fő tömegét, hanem mindig csak szegélyekként, repedéskitöltéseként vagy apró foltokban fordulnak elő. Kivételt talán csak a kianit-klinoklor-muszkovit-kvarcitok turmalinjai képeznek, ahol a metasomatikus Mg-turmalinok (drávit, magneziofoitit) mennyisége jelentős lehet.

6. A turmalinelemzések zömében az Y-pozícióban némi kationhiány tapasztalható, ha a képletszámítást 31 anionra végezzük. Ezt a kationhiányt számolással lítiummal is ki lehetne tölteni, ahogy azt tette Spránitz (2017) a dolgozatában. Én úgy vélem, hogy ez sem geokémiailag, sem kristálykémiailag nem indokolt. Genetikailag legfeljebb a gneiszekben és pegmatitjaiban tételezhetnénk fel némi Li-t a turmalinokban, de az a kristálykémiailag megfigyelés ellentmond ennek, hogy a kb. 0,02 *apfu*-nál több Mg-ot tartalmazó turmalinokban nincs jelen lítium (Henry és Dutrow, 1996). Spránitz (2017) munkájában, a turmalinok kémiai elemzési táblázatában (2. melléklet) a Bükkfafürés-árok metagránitjában még elbairól

is említést tesz, bár a szövegben ehhez nem fűz magyarázatot. Minden bizonnyal itt elemzési hibáról és téves kristálykémiái értelmezésről van szó.

7. A Soproni-hegység turmalinjainak képződése *legalább* öt, időben és jellegében is eltérő szakaszra bontható: a.) a variszkuszi metamorfózis hatására a csillámpalákban képződött turmalinok (*metamorf turmalinok*); b.) az ortogneiszek eredeti gránitos olvadékából kiváló turmalinok (*magmás és pegmatitos turmalinok*); c.) a gránitos olvadékból elkülönült, bógazdag hidrotermás oldatokból a mellékkőzetben kiváló turmalinok (*hidrotermás turmalinok*); d.) valószínűleg az alpi HP metamorfózis után, vasgazdag oldatok hatására az idősebb turmalinok szegélyén és repedéseiben kialakult reakciószegélyek (*metaszomatikus Fe-turmalinok*); e.) a leukofillit-képződést is magában foglaló Mg-metaszomatózis hatására kialakult reakciószegélyek, illetve a visszaoldódott idősebb kristályokból újrakristályosodott fiatal turmalinok (*metaszomatikus Mg-turmalinok*).

8. A 7. pontban tett megállapítások nagyrészt összhangban vannak Spránitz (2017), illetve Spránitz és társai (2018) következtetéseivel. Két különbség emelhető ki: Spránitz (2017) kérdőjelesen a permotriász HT metamorfózishoz köti a Fe-gazdag turmalinzónák kialakulását (később áteszik az alpi HP metamorfózishoz: Spránitz és társai, 2018), valamint a csillámpalákban az alpi HP metamorfózishoz kapcsolódóan szintén kérdőjelesen egy 2. turmalin-generáció képződését is megemlítik.

6. A Velencei Gránit és a környező kontaktpala turmalinjai

6.1. Bevezetés

A Velencei-hegység földtani kutatásával behatóbban a 19. század második felétől kezdtek el foglalkozni. Az azóta eltelt idő alatt számos kutatógeneráció tanulmányozta a területet, a hegység földtanáról három monográfia született; az első 1914-ben (Vendl A., 1914), a második 1957-ben (Jantsky, 1957), a legutolsó pedig 2004-ben (Gyalog és Horváth, 2004). A hegység fő tömegét alkotó gránit ásvány-kőzettani, illetve geokémiai vizsgálatairól is számos publikációban olvashatunk, ugyanakkor maradtak még feldolgozatlan „fehér foltjai” is a területnek. Ilyen a turmalin is, hiszen alig találhatunk olyan szakcikket a Velencei Gránitról, melyben a turmalin jelenlétéről ne emlékeznének meg, ugyanakkor az optikai vizsgálatokon túlmutató tanulmányok – saját kutatásainkat leszámítva (Fehér, 2018; Fehér és Zajzon, 2021) – még nem születtek erről az ásványcsoportról. Az eddigi ismereteink hiányosságát jól szemlélteti, hogy az előbb említett tanulmányokig egyetlen kémiai elemzést sem publikáltak velencei-hegységi turmalinokról.

6.2. Földtani áttekintés

A Velencei-hegység fő tömegét posztvariszkuszi biotitos monzogranit alkotja (6.1. ábra), mely a székesfehérvári Rác-hegytől ÉK-i irányban húzódik Nadap, illetve Velence községeig. Délkelet, illetve dél felől a Velencei-tó határolja, míg ÉNy felől a csákvári depresszió választja el a Vértestől. Észak felől a Lovasberény környéki, löszből és pannóniai képződményekből álló vidék képezi a határát (Vendl A., 1914). A gránitos magmatizmus korára több adat is rendelkezésünkre áll: $274 \pm 1,7$ millió év (U/Pb), 280 millió év (Sr/Rb), 271–291 millió év (K/Ar) (Buda és társai, 2004b), 282 ± 3 millió év (U/Pb) (Uher és Ondrejka, 2009), mindez kora-perm kort (270–290 millió év) valószínűsít, ellentétben a korábbi vélekedéssel, mely a formációt a karbonba helyezi (lásd pl. Jantsky, 1957; Gyalog és Horváth, 2004).

A Velencei-hegység gránitját és telérközeteit a Velencei Gránit Formációba sorolják (Gyalog és Horváth, 2004). Vendl A. (1914) még bizonytalan volt azt illetően, hogy a gránittest vajon lakkolitot vagy batolitot alkot. Gyalog és Horváth (2004) már egyértelműen gránitbatolitról beszélnek, melynek keletkezését három fázisra osztották. A *korai fázist* a

gránitban lévő idősebb, dm-es átmérőjű, kerekded mikrodiorit-zárványok képviselik. A fő fázisban, hipabisszikus mélységben (3–7 km) képződött maga a biotitos gránit. A főkristályosodás befejező szakaszához kötik a magmadifferenciáció termékeként megjelenő, teléres jellegű, valódi (dilatációs) aplitokat, valamint a kisebb pegmatitfészkek megjelenését is. Végül a harmadik, *telérképződési fázisban* a gránitot különböző korú telérsorozat töri át. Ide tartoznak a szemcsés aplitok, a kvarcosodott intruzív breccsák, a mikrogránittelérek, valamint a gránitporfir-telérek. Ez utóbbiakat a Pákozdi Gránitporfir Tagozatba különítik el, melynek két típusa ismert: az idősebb (sukorói) típus, melyek keletkezése még a gránittömeg kihülése előtt történt és a fiatalabb (pátkai) típus, mely már egy alacsonyabb hőmérsékletű batolit repedéseibe nyomult be (Embey-Isztin, 1974, 1975). Turmalinképződés a korai fázis kőzeteihez nem kapcsolódik.

A Velencei Gránit az ópaleozoós Lovasi Agyagpala Formáció kőzeteibe nyomult be. Ezek eredetileg törmelékes, egyes szintjeiben tufákat tartalmazó, agyagos, aleuritos, homokos üledékek voltak (Gyalog és Horváth, 2004). Maga a gránit már gyűrődésen és anchizónás regionális metamorfózison átesett palába nyomult be, melyet széles sávban kontaktizált. Vendl A. (1914) ezeknek a kontaktpaláknak két típusát különítette el: a magasabb hőmérsékletű metamorfózison (hornblende-szaruszirtfácies) átesett andaluzitos szaruszirteket és az alacsonyabb hőmérsékleten metamorfizálódott (albit-epidot-szaruszirtfácies) csomós palákat. Ezek a kőzetek a gránit benyomulásakor a gránit felszínét mindenütt beborították, mára azonban csak foszlányaik maradtak meg a gránitterület É-i és K-i oldalán (6.1. ábra, 30. sz. képződmény). A Velencei-hegységben a turmalin legnagyobb mennyiségű megjelenése ezekhez a csomós palákhoz kötődik. A palákban a turmalin apró, fekete csomókban vagy erekben mutatkozik, egyes helyeken azonban a palák döntően turmalinból álló szirtekké alakultak át. Vendl A. (1914) a kontaktpalák turmalinosodását még nem kötötte a gránit-hoz, mivel a gránittal kapcsolatban turmalint sehol sem talált, így szerinte a turmalin már az eredeti agyagpalában előfordult.

Benkó és társai (2014) szerint a gránitban több helyen megfigyelhető kvarc-fluorit-színesfém-telérek és a körülöttük megjelenő agyagásványos (illit, kaolinit, szmektit) átalakulási zónák egy középső-késő triász hidrotermás aktivitás termékei. Mivel triász korú magmás kőzetek a Velencei-hegységben nem, csak a közeli Szababattyáni-rögben ismertek (andezittelérek devon korú mészkőben), Benkó és társai (2014) lehetségesnek tartják, hogy ezek a hidrotermás fluidumok nem kapcsolódnak magmás aktivitáshoz.

A felső kréta magmatizmus kőzeteit a Budakeszi Pikrit Formációba sorolják (6.1. ábra, 24. képződmény). Ezek gránitba települt telérek formájában jelennek meg, és háromféle

kőzettípust képviselnek: spesszartit, moncsikit és beforszit. Horváth és társai (1989) a fluoritok RFF-tartalma alapján a kvarc-fluorit-színesfém-telérek képződését e kréta korú magmatizmushoz kötik.

Az eocén andezitvulkanizmushoz kapcsolódó kőzetek a hegység keleti részén találhatók (6.1. ábra, 22–23. képződmények) és együttesen a Nadapi Andezit Formációba tartoznak (Gyalog és Horváth, 2004). Képződményei a gránitba és a kontakt palába települt kisebb szubvulkáni testekként is megjelennek. A paleogén vulkanizmushoz kapcsolódó fluidumáramlások térben magára a paleogén vulkáni egységre, illetve a gránit legkeletibb részére korlátozódnak (Benkó és társai, 2014). A gránitban nyomozható paleogén fluidumáramlás határvonalát a 6.1. ábrán pontozott vonal mutatja.

6.3. A gránit és telérkőzeteinek ásvány-kőzettani jellemzése

A Velencei Gránit kőzettani viszonyairól már Vendl A. (1914) is részletesen beszámolt. Megállapította, hogy a *gránit* fő kőzetalkotó ásványai a rózsaszín ortoklász, a fehér plagioklász, a szürke kvarc és a barnásfekete biotit. A járulékos ásványok közül az apatitot, a cirkont, az epidotot és a piritet említette.

A gránit fő tömege biotitos monzogránit, kevesebb granodiorittal, bár egyes minták alkáliföldpát-gránitoknak felelnek meg. A gránitos kőzetekre jellemző a megemelkedett SiO_2 -tartalom, valamint a redukált Al_2O_3 -, MgO -, CaO - és P_2O_5 -tartalom. A K_2O -tartalom is nagyinak mondható (> 4 t%). Járulékos ásványegyüttese szegényes, leggyakoribb akceszorikus fázisok a cirkon és az apatit (Uher és Broska, 1994). A gránit átlagos modális összetétele: 34% kvarc, 28% káliföldpát, 31% plagioklász és 6% mafikus elegyrészek. A magmás test alacsony hőmérsékletű, illókbán telített eutektikus olvadékból kristályosodott ki, kb. 2 kbar nyomáson (Buda, 1985).

Chappell és White (1974) a gránitokat geológiai, geokémiai és izotópos jellemvonásuk alapján S- és I-típusokra osztotta. Az S-típusú gránitoknak kéregeredetű, üledékes protolitjuk (S = sedimentary = üledékes), míg az I-típusúak szintén kéregeredetű, de magmás protolitjuk van (I = igneous = magmás), így a forrásrégió összetétele tükröződik a gránit összetételében. Később Loiselle és Wones (1979) bevezette az A-típusú gránitokat, melyet anorogén törésekkel vagy riftesedéssel hoztak kapcsolatba (A = anorogén). Castro és társai (1991) a kevert (hibrid) eredetű magmákból származó gránitokra a H-típus megjelölést alkalmazták. Pitcher (1993) tovább bővítette a listát, bevezetve az M-típusú, köpenyeredetű protolittal rendelkező gránitokat (M = mantle = köpeny). A velencei gránit besorolása ebbe

a rendszerbe nem egyértelmű: írták már le I-típusú (Pantó Gy. és társai, 1988), S-típusú (pl. Buda, 1985) és A-típusú (Uher és Broska, 1994) gránitként egyaránt. Jelen dolgozatban Uher és Broska (1996) meghatározását alkalmazom, mely szerint a velencei gránit tipikus szubszolvus, posztorogén, posztkollíziós, felzikus plutoni kőzet, enyhén A-típusú karakterrel.

A gránit kőzetalkotóival Nagy (1967b) is foglalkozott, aki szerint az ortoklász rendszerint rózsaszín vagy halványsárga, ritkábban színtelen. A kristályok többsége idiomorf, méretük gyakran a 2 cm-t is eléri. Szövetük perthites, mikroperthites. A gránit földpátjait Buda (1969, 1974) vizsgálta részletesen. A káliföldpátoknak két típusát különböztette meg: a perthitmentes és a finom perthites földpátot. A röntgenvizsgálatok alapján szerkezetileg majdnem mindig monoklinok, tehát ortoklászok. A karlsbadi ikrei nagyon gyakoriak, míg a bavenoi ikrek ritkábbak. Ritkán plagioklász-zárványokat tartalmaznak, melyek erősen szericitesedtek. Mind az optikai tulajdonságai (2V közepes, vagyis ún. közbülső ortoklászról van szó), mind a kémiai összetétele (átlagosan: $Or_{70,2}Ab_{27,7}An_{2,1}$) magas képződési hőmérsékletre és viszonylag gyors hűlési sebességre utal. A káliföldpátok képződési hőmérsékletét Buda (1969, 1981, 1993) 600–680 °C-ra teszi.

A plagioklászok Nagy (1967b) szerint fehérek, néha szürkés-zöldes színűek, melyek az 1 cm-es nagyságot is elérhetik. Alakjuk táblás; leginkább az albit vagy a karlsbadi, ritkábban a periklin törvény szerint ikresedtek. Buda (1969) szerint leggyakoribb az ikresedett, kissé szericitesedett típus, de vannak zónás plagioklászok, illetve káliföldpátban perthitesen szételegyedett alakok is. Az első típus $Ab_{70}An_{30}$ összetételű, átlagos képződési hőmérsékletük 520°C, így a káliföldpátok után jöttek létre.

A kvarc alakja többnyire xenomorf. Színe makroszkóposan szürke, vékonycsiszolatban színtelen. A szemcsék erősen repedezettek és gyakran unduláló kioltásúak (Nagy, 1967b). Morfológiájából Buda (1969) azt a következtetést vonta le, hogy 573 °C feletti hőmérsékleten képződhetett.

Az üde biotitok barnásfekete színűek, a kristályok mérete néha eléri a 0,5 cm-t. Nagy (1967b) szerint az ásvány összetétele területenként változó, részletesebb vizsgálatokkal Buda és társai (2004a) foglalkoztak. A biotitok alacsony $Mg/(Mg + Fe^{2+})$ aránya, mely 0,11 és 0,33 között mozgott (vagyis minden esetben annitról volt szó), jól tükrözi a gránitos olvadék alacsony Mg-tartalmát.

A ritka *pegmatitok* lencse alakú vagy fészekszerű testeket formálnak 1–2 m³-es térfogatig. Szerkezetük egyszerű: a szegélyzónák általában finomszemcsések, melyeket durvaszemcsés, írásos szövetű kvarc-káliföldpát zóna követ. Központi részüket hipidiomorf vagy xenomorf kvarckristályok, ritkábban káliföldpátok töltik ki. Plagioklász és biotit csak kis

mennyiségben fordul elő bennük (Molnár és társai, 1995). Káliföldpátjaik nagyméretűek, durván perthitesek, mely a lassú hűlés jelzője. Átlagos összetételük: $\text{Or}_{77,5}\text{Ab}_{21,0}\text{An}_{1,0}$ (Buda, 1969). A pegmatitok képződési hőmérséklete 500–600 °C környékén lehetett (Buda, 1969, 1993; Molnár és társai, 1995). A velencei-hegységi pegmatitokat Wise (1999), Szakáll és társai (2014) és Zajzon és társai (2015) a nehéz ritkaföldfémek, az urán és a tórium dúsulása, az $\text{Nb} > \text{Ta}$ viszony, az allanit-(Ce), keralit és xenotim-(Y) gyakorisága, a gadolinit-(Y) jelenléte, valamint a turmalinok hiánya, illetve minimális mennyisége miatt a NYF-családba sorolták (a gránitpegmatitok osztályozását részletesen lásd: Černý és Ercit, 2005).

Az *aplitok* közettani viszonyaival Embey-Isztin (1974, 1975) foglalkozott részletesen, melyeknek két típusát különböztette meg: 1.) dilatációs-injekciós típusú aplitok; 2.) helyettesítéses aplitok. E két típus megfeleltethető Vendl A. (1914) porfíros és szemcsés aplitjának. A dilatációs-injekciós (porfíros) aplitok mindig teléreket alkotnak, melyek vastagsága 1–10 m, hosszúságuk pedig legfeljebb néhány 100 m. A gránitporfír-telérekhez hasonlóan dilatációval és az olvadék benyomulásával keletkeztek. Földpátjaik perthitmentesek. A helyettesítéses (szemcsés) aplitok is alkothatnak teléreket, emellett még fészkes, slíres, tömzsős alakúak is lehetnek. Ezek a gránit fejlődésének szubsolidusz szakaszában, dilatáció nélkül, kizorítással autometamorf, autometaszomatikus módon jöttek létre. Káliföldpátjaik mikroperthitesek, így jó részük valószínűleg az aplitosodás előtt képződött, más szóval a gránit reliktumának tekinthető. Turmalinképződés ez utóbbi, szemcsés aplitokhoz kötődik.

Az apró *miarolitos üregek* legfeljebb 0,001 m³-esek, melyeket az idiomorf kvarc (egyes helyeken ametiszt), káliföldpát és albit jelenléte jellemzi. Ritkán biotit, illetve turmalin és gránát is megfigyelhető bennük. Ásványainak képződési hőmérséklete a 310–400 °C-os tartományba esik (Molnár és társai, 1995).

A *gránitporfírok* jellemzésétől most eltekintek, mert azokhoz turmalinképződés nem kapcsolódik.

A Velencei Gránithoz kötődő turmalint az említés szintjénél kissé részletesebben bemutató egyetlen tanulmány a székesfehérvári országút déli oldalán, a Kisfaludy-major közelében, még az I. világháború folyamán megnyitott aplitbányából származó mintán készült (Vendl M., 1923). A turmalinos aplit elegyrészei a turmalinon kívül: ortoklász, plagioklász, kvarc, kevés biotit, apatit, cirkon és magnetit. A turmalin a kőzetben apró, az 1 cm-t alig meghaladó fészkekben fordult elő. A kristályokon a prizmazóna részben felismerhető, színük fekete. Erős pleokroizmust mutat: ω = sötét barnáskék, ε = világosbarna (Vendl M., 1923).

6.4. Az intragránitos turmalinok

A Velencei-hegység turmalinjait három paragenetikai típusra lehet osztani: turmalin-I vagy intragránitos turmalin, turmalin-II vagy miarolitos turmalin és turmalin-III vagy metasomatikus turmalin. Az intragránitos (magyarul grániton belüli) turmalinok a befogadó közettípus szerint három további alcsoportra oszthatók: a gránit, a pegmatitok és az aplitok turmalinjaira.

6.4.1. A gránit turmalinjai

Magában a gránitban viszonylag ritkán találkozhatunk turmalinnal, akkor is csak kis mennyiségben fordul elő. Dolgozatomban egyetlen lelőhelyről sikerült gránitban lévő turmalint vizsgálnom, mégpedig a velencei Bence-hegyről. A mintát Jantsky Béla gyűjtötte még az 1950-es években és a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (Budapest) gyűjteményében található meg 5307 leltári szám alatt.

Az itteni turmalin legfeljebb 2 cm-es, szurokfekete, benn-nőtt kristályokat alkot (6.2/A. ábra). A visszaszórtelektron-kép tanúsága szerint (6.2/B. ábra) kémiai zónásságot nem mutat. A turmalinról készült kémiai elemzések a 6.1. táblázatban láthatók. A méréskor az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe. Ha így számolunk képletet az ásványra, akkor 31 (O, OH, F) anionra a $T + Z + Y$ kationok száma egy elemzés (7. oszlop) kivételével meghaladja az elméleti maximumot, vagyis a 15 *apfu*-t (pontosabban 15,03 és 15,13 *apfu* közé esik). Mivel ez nem lehetséges, ezért a kationszámot az anionokhoz viszonyítva csökkentenünk kell. Ez egyedül úgy lehetséges, ha feltételezzük, hogy a turmalinban a Fe^{2+} egy része helyett Fe^{3+} van jelen, mivel így némileg több oxigén adódik a rendszerhez. Így a 6.1. táblázatban a FeO_{tot} úgy lett átszámolva FeO-ra és Fe_2O_3 -ra, hogy a $T + Z + Y = 15 \text{ apfu}$ egyenlet teljesüljön. Meg kell jegyezzük, hogy ezzel ez eljárással a minimális Fe^{3+} -tartalmakat számoltuk ki, amit mindenképpen tartalmaz az ásvány. A Fe^{3+} -tartalom ennél nagyobb is lehet, mégpedig akkor, ha a $V + W$ pozíciókban az $(\text{OH})^-$ egy részét O^{2-} helyettesíti. Elméletileg (viszonylag kis valószínűséggel) még az növelhetné a Fe^{3+} -tartalmat, ha az Y -ban lenne némi Li-beépülés vagy vakancia, hiszen az tovább emelné a $T + Z + Y$ értékét, erről azonban nincsenek információink.

Az X -pozícióban az alkálifémek dominálnak, hiszen a Na mennyisége 0,71 és 0,82 *apfu* között változik. Így ez a turmalin az alkálicsoportba tartozik (6.3. ábra). A Ca

mennyisége mérhető, de nem jelentős (0,08–0,11 *apfu*), s a betöltetlen kationpozíciók száma sem túl nagy (0,09–0,21 *apfu*).

A *W*-pozícióban fluor nem lett kimutatva, így az OH minden esetben 1 *apfu*-nak lett számolva. Emiatt ez a turmalin a hidroxil-sorozat tagja, bár az esetleges oxigén-helyettesítés mértékéről nincsenek adataink. Jelentősebb O-tartalommal azonban nem számolhatunk, mivel a *T* + *Z* + *Y* pozíciók kationtartalma magas (lásd fentebb).

A *T*-pozícióban a Si mennyisége az ideális 6 *apfu*-tól alig tér el (5,83–6,00 *apfu*), így ide csak kis mértékben épül be az Al. Érdekes viszont a meglehetősen alacsony teljes Al-tartalom, mely 5,87 és 5,96 *apfu* között mozgott. Ez azt jelenti, hogyha az Al egyáltalán nem épülne be a *T*-pozícióba, még akkor sem lenne elegendő mennyiség belőle ahhoz, hogy a *Z*-pozíciót teljesen betöltse. De mivel egy elemzési pont kivételével mindenhol számolhatunk tetraédres koordinációjú alumíniummal, a *Z*-pozícióban kationhiány lép fel, melyet első körben magnéziummal, s ha még így sem érné el a 6 *apfu*-t, akkor a továbbiakban Fe^{3+} -mal töltöttük be. Így tehát a *Z*-ben az Al-tartalom 5,74–5,94 *apfu*, az Mg-tartalom 0,06–0,14 *apfu*, a Fe^{3+} -tartalom pedig 0–0,12 *apfu* között mozgott.

A legvegyesebb kationbetöltés szokás szerint az *Y*-pozícióban van, ahol egyértelműen a Fe^{2+} a domináns ion (2,54–2,78 *apfu*). Az alacsony teljes Al-tartalom miatt Al ide már nem tud beépülni, de az Mg, Mn és Ti mennyisége is jelentéktelen. Egyedül a Fe^{3+} lehet még komolyabb mértékben jelen (0,11–0,31 *apfu*).

Mindezek alapján a Bence-hegy gránitjának turmalinja a *sörl* fajt képviseli, melynek érdekessége, hogy valójában nem a drávit felé mutat átmenetet, hanem az *X*-ben mérhető kationhiány miatt a foitit felé (6.4. ábra), illetve a megemelkedett Fe^{3+} -tartalma miatt némi povondraitkomponenst is tartalmaz.

6.4.2. A pegmatitok turmalinjai

A Velencei-hegység gránitjában ritkán található pegmatitok, melyek lencseszerű vagy fészkes, lekerekített-megnyúlt testeket alkotnak, s térfogatuk legfeljebb 1–2 m³. A lencseszerű pegmatitok szerkezete nagyon egyszerű. A szegélyzónájuk általában finomszemcsés, majd ezt követi egy durvaszemcsés, írásos szövetű kvarc-káliföldpát zóna. A lencsék központi részeit hipidiomorf vagy xenomorf kvarckristályok, ritkábban káliföldpát tölti ki (Molnár és társai, 1995).

A pegmatitok ásványtana is rendkívül egyszerű, mivel alapvetően csak a gránit három fő közetalkotó ásványa, vagyis a kvarc, a káliföldpát és jóval kisebb mennyiségben a biotit

építi fel őket. A velencei-hegységi pegmatitok járulékos ásványokban rendkívül szegényesek, így turmalint is csak elvétve tartalmaznak. Dolgozatomban csak egy lelőhelyről, az egykori sukorói murvafejtő pegmatitjából előkerült turmalinokat tudtam vizsgálni, melyeket Nagy Béla gyűjtött 1965-ben és 1974-ben. A vizsgált három minta a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (Budapest) gyűjteményében található meg 11138, 11144 és 11149 leltári számok alatt, mely utóbbi az I. számú árkolásból származik. Megjegyzem, hogy most csak a pegmatit járulékos kőzetalkotójaként megjelenő turmalint írom le, a miarolitos üregek turmalinjait ugyanis – eltérő genetikájuk miatt – majd a 6.5. alfejezetben fogom tárgyalni.

A sukorói turmalintartalmú pegmatitot Nagy (1967a) írta le részletesen. Eszerint a pegmatitos képződmény biotitos aplittelérhez kapcsolódik, melyben aszimmetrikus elrendezésben lencse alakú pegmatitos képződmények fejlődtek ki (6.5. ábra). Nagyságuk az aplittelér vastagságától függ. Fő ásványaik a kvarc, az alkáliföldpát (ortoklász és anortoklász), a plagioklász (albittól andezinig), a biotit és az amfibol. A vizsgált turmalinok szurokfekete színű, háromszög keresztmetszertű, zömök oszlopos kristályokat alkotnak, melyek akár 1,5–2 cm-es méretet is elérhetnek (6.6/A. ábra). A kristályok töredezetek, repedéseiket kvarc és kaolinosodott földpát együttese tölti ki (6.6/B. ábra). A példányok a 6.5. ábra 5. számú képződményéből kerültek elő.

Kémiaiailag a sukorói pegmatit turmalinja nagyon hasonlít az előző alfejezetben tárgyalt velencei gránit turmalinjához. Ez is – mint látni fogjuk – egy vasban gazdag és alumíniumban viszonylag szegény *sörl*, mely kémiaiailag nagyon homogén (6.6/B. ábra), csupán egyes szemcsék körül figyelhető meg a visszaszórtelektron-képen Mg-ban gazdagabb, legfeljebb 3 μm vastagságú reakciószegély.

A három vizsgált turmalinmintáról készült kémiai elemzések a 6.2–6.4. táblázatokban láthatók. Mivel a három minta összetétele lényeges különbséget nem mutat, ezért együtt fogom tárgyalni őket.

Az *X*-pozíció betöltöttsége nagyon magas, a betöltetlen pozíciók száma csupán 0–0,13 *apfu* között mozgott. A Ca-tartalom még jelentéktelenebb, a gránit turmalinjánál is kisebb mennyiségű (0–0,02 *apfu*). A K-tartalom nem mérhető, így a domináns kation a nátrium, melynek mennyisége 0,85 és 0,93 *apfu* közötti érték. A dolgozatomban vizsgált összes turmalint beleszámítva ennek volt a legnagyobb a Na-tartalma. Így a sukorói turmalin az alkáliturmalinok csoportjába tartozik (6.3. ábra).

A *T*-pozíciót az elemzési pontok nagy részében teljesen, vagy majdnem teljesen betölti a Si, így itt az Al-helyettesítés mértéke minimális (max. 0,15 *apfu*). Mivel a sukorói turmalin Al-ban nagyon szegény (a teljes Al-tartalom egyik elemzési helyen sem érte el a 6 *apfu*-t!),

ezért a Z-pozíciót nem tudja teljes egészében kitölteni. Így itt némi Mg, Fe³⁺, sőt egyes pontokban Fe²⁺ beépülésével is számolhatunk.

Ha az összes vasat kétvegyértékűnek számoltuk volna, akkor – akárcsak a velencei gránit turmalinjának esetében – az Y-pozíció teljes kationtartalma jelentősen meghaladta volna a maximális 3 *apfu* értéket. Mivel ez nem lehetséges, ezért a kationszámot úgy tudtam csökkenteni, hogy feltételeztem: a vas egy része Fe³⁺ formában van jelen. A ferrivas mennyiségére itt is a minimális becsléssel éltem és úgy számoltam ki, hogy a Z- és Y-pozíciók teljes kationtartalma pontosan 9 *apfu* legyen (lásd még az előző alfejezetet). Ez alapján az Y-pozíciót magasan domináló kation a Fe²⁺ (2,69–2,89 *apfu*), alárendelt mennyiségben jelen van még a Fe³⁺ (0–0,19 *apfu*), az Mn (0,01–0,14 *apfu*) és a Ti (0,02–0,07 *apfu*). Mivel az összes Al és Mg a Z-pozícióba került, ezért az Y-ban ezek az elemek nem jelennek meg. Szeretném kihangsúlyozni, hogy emiatt a sukorói sörl egyáltalán nem képez elegykristályt a drávit felé, mint azt a 6.4. ábra is szemlélteti.

A 6.2–6.4. táblázatokban látható, hogy a turmalin fluortartalma a mikroszondával mérhető detektálási küszöb alatt van. Mivel az V- és W-pozíciók oxigén-tartalmát nem lehet becsülni, ezért azt feltételeztem, hogy mindkét pozíciót teljes egészében OH tölti be. Ezért a sukorói turmalin a hidrox-turmalinok sorozatába tartozik.

Az egyes turmalinfragmentumok szélén megjelenő reakciószegélyek nagyon vékonyak (legfeljebb 3 μm vastagságúak), így pontos WDS-elemzéseket nem tudtam készíteni róluk (6.7. ábra). Abból a célból, hogy a kristályok fő tömegéhez képest a szegélyekben mutatkozó helyettesítési trendekről némi képet kaphassunk, néhány EDS-elemzést készítettem fókuszált elektronnyalábbal. Sajnos így is túl nagy lett a gerjesztési térfogat, amit az is jelzett, hogy a 31 anionra számolt képletben a Si mennyisége jelentősen meghaladta az ideális 6 *apfu* értéket. Ez a Si-felesleg minden bizonnyal a turmalin szomszédságában megjelenő kvarcból eredt. Emiatt az elemzésekből ezt a Si-felesleget kivontam és a képleteket úgy számoltam át, hogy a T-pozícióra 6 *apfu* Si essen. A méréseket – azok nem túl nagy megbízhatósága miatt – táblázatosan nem közlöm, az egyik elemzésből számolt összetétel a következő: $(\square_{0,56}\text{Na}_{0,42}\text{Ca}_{0,02})_{\Sigma=1,00}(\text{Fe}^{2+}_{1,80}\text{Al}_{0,64}\text{Mg}_{0,49}\text{Ti}_{0,01}\text{Mn}_{0,01})_{\Sigma=2,95}\text{Al}_{6,00}\text{Si}_{6,00}\text{O}_{18}(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_4$, mely a *foitit* ásványfajnak felel meg. Ezt a turmalinszegélyt a pegmatitos turmalin átalakulási termékének tartom, melyet a pegmatitképződés utáni fluidumáramlás hozhatott létre. Maga az infiltrálódó fluidum akár a paleogén vulkanizmus terméke is lehet, hiszen a minta lelőhelye beleesik az eocén andezites vulkanizmus fluidumáramlási zónájába (lásd a 6.1. ábrát). Az, hogy az infiltrálódó fluidum a gránittesten kívüli forrásból származik, megerősíti a turmalinszegély kémiaja, vagyis a megemelkedett Al- és Mg-tartalma.

6.4.3. Az aplitok turmalinjai

A gránit finomszemcsés telérközeteiben (aplitokban) lévő turmalinokból két mintát sikerült megvizsgálnom. Az egyik a velencei Bence-hegy ÉNy-i oldalának aplitjából származó, fekete színű turmalin, melyet még Jantsky Béla gyűjtött 1951-ben és a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat gyűjteményében található meg 5304 leltári szám alatt. A másik minta a pákozdi Tompos-hegy aplitjából származik, melyet Szakáll Sándor gyűjtött 2014-ben. Mint látni fogjuk, a finomszemcsés telérközetek turmalinja kristálykémiailag szinte megegyeznek a durvaszemcsés telérközetek (pegmatitok) turmalinjaival, így külön alfejezetben történő tárgyalásuk nem biztos, hogy indokolt.

A Bence-hegyi mintában a turmalin fekete színű eret alkot az aplitban (6.8/A. ábra, illetve lásd: Jantsky, 1957: 26. ábra). A topos-hegyi turmalin anyagközete világos színű aplit, mely a turmalinon kívül csak kvarcból, perthites szerkezetű káliföldpátból és albitből áll. A káliföldpát összetétele: $\text{Or}_{86,3-96,8}\text{Ab}_{3,0-12,6}\text{An}_{0,1-1,1}$, míg az albité: $\text{Or}_{1,0-1,3}\text{Ab}_{95,3-98,5}\text{An}_{0,3-3,5}$. A turmalin fekete színű, jellemzően mm alatti, hipidiomorf vagy idiomorf kristályokat alkot (6.8/B és C. ábra). Egyes káliföldpátokban megfigyelhető, hogy bennük a turmalin foszlányszerű halmazai jelennek meg, melyek összetétele megegyezik a szomszédos turmalinéval (6.8/D. ábra). Érdekesség, hogy az aplitos ér átmegy durvaszemcsés pegmatitba, melyben azonban turmalin nem figyelhető meg.

A két lelőhely turmalinjának kristálykémiáját – azok nagymértékű hasonlósága miatt – összevontan tárgyalom. A turmalinokról készült kémiai elemzések a 6.5. és 6.6. táblázatokban láthatók.

Az X-pozíció betöltöttsége itt is nagyon magas, a betöltetlen pozíciók száma csupán 0,08–0,18 *apfu* között mozgott. A Ca-tartalom még jelentéktelenebb mennyiségű (0–0,03 *apfu*), a topos-hegyi turmalinban alig mérhető. A K-tartalom a detektálási küszöb alatt van, így a domináns kation a nátrium, melynek mennyisége 0,80 és 0,90 *apfu* közötti érték. Ez alig valamivel kisebb, mint a sukorói pegmatit turmalinjában mért értékek. Így az aplitok turmalinjai is az alkálituralinok csoportjába tartoznak (6.3. ábra).

A T-pozíció Si-betöltése magas (5,79–6,03 *apfu*), következésképpen itt az Al-helyettesítés mértéke alacsony (0–0,21 *apfu*). Ugyanígy alacsony a teljes Al-tartalom is: a velencei mintában az ideális 6 *apfu* körüli érték (5,95–6,11 *apfu*), míg a pákozdi mintában némileg kisebb mennyiségű (5,58–5,72 *apfu*). Emiatt egyetlen elemzési pontot leszámítva (lásd a 6.5. táblázat 7. elemzését) a Z-pozícióban mindenhol van némi Mg- és Fe^{3+} -, ritkábban Fe^{2+} -beépülés. Mivel a két vizsgált minta közül a topos-hegyi az Al-ban szegényebb és vasban

gazdagabb, ezért a Fe^{3+} (Fe^{2+}) \rightarrow Al helyettesítés ott jelentősebb mértékű. Az *Y*-pozícióban a Fe^{2+} a domináns kation (2,57–2,87 apfu) és a Fe^{3+} található még meg nagyobb mennyiségben (max. 0,34 apfu), így az aplitok turmalinjai is a *sörl* ásványfajt képviselik (6.4. ábra). Mivel egy elemzési pontot leszámítva az *Y*-pozíció egyik mintában sem tartalmaz Mg-ot, a drávit felé nem mutatnak átmenetet.

A 6.5–6.6. táblázatokban látható, hogy a turmalinok fluortartalma a mikroszondával mérhető detektálási küszöb alatt van. Mivel az *V*- és *W*-pozíciók oxigén-tartalmát nem lehet becsülni, ezért azt feltételeztem, hogy mindkét pozíciót teljes egészében OH tölti be. Ezért az aplitok turmalinjai a hidrox-turmalinok sorozatába tartoznak.

6.5. A miarolitos üregek turmalinjai

A miarolitos üregek turmalinjait külön alfejezetben tárgyalom, hiszen azok genetikája, geokémiai környezete markánsan eltér a korábban tárgyalt kőzetekétől (gránit, pegmatit, aplit). A pegmatitokban lévő miarolitos üregek Molnár (2004) szerint elterjedtek. Ásványtársulásuk a pegmatitokéhoz nagyon hasonló; fő ásványuk a kvarc, melynek oszlopos kristályai meghaladhatják a 10 cm-es hosszúságot is. Gyakran a füstkvarc változatot képviselik. Másik gyakori alkotójuk a rózsaszín káliföldpát, melyek akár több cm-es, idiomorf, zömök oszlopos kristályokat is alkothatnak, s az ortoklász ásványfajt képviselik. Ritkábban jelenik meg a színtelen plagioklász, illetve a lemezes muszkovit vagy biotit. Miarolitos üregekben a turmalin ritkán mutatkozik, én mindössze két előfordulását tudtam megvizsgálni: az egyik a pákozdi Sas-hegyről, a másik pedig a sukorói murvabányából származik (lásd a 6.1. ábrát: M jelzések).

A pákozdi Sas-hegy turmalinját Kupi László gyűjtötte 2007 novemberében. A példányok egy aplitér melletti kis pegmatitos üregből kerültek elő, mikor egy épülő ház szennyvízvezetékét fektették le. A lelőhely csak néhány napig volt gyűjthető. Érdekessége, hogy a turmalin mellett még kékeszöld földpátokat is tartalmazott (Kupi László szóbeli közlése). A sas-hegyi turmalin 2–4 mm-es, fekete, zömök oszlopos kristályokat alkot (6.9/A. ábra), melyek éleiknél – a fény felé fordítva – zöld színben áttetszőek. Néhány kristálylap megfigyelhető rajtuk. A vizsgált példány a miskolci Herman Ottó Múzeum gyűjteményében található meg 2009.215 leltári szám alatt.

A kristályról készült visszaszórtelektron-képen látható (6.9/B. ábra), hogy a szemcse fő tömege kémiailag eléggé homogén (Tur1), viszont a szegélyén itt-ott egy legfeljebb

50 μm vastagságú átalakulási zóna figyelhető meg (Tur2). Ezen túlmenően a kristály belsejében egy eltérő összetételű „beszüremkedés” is megjelenik (Tur3).

A sas-hegyi turmalinkristályról készült kémiai elemzések a 6.7. táblázatban láthatók. Az *X*-pozíció kationtartalmában a három zóna turmalinjában jelentős eltérések mutatkoznak: míg a Ca-tartalom mindhárom zónában jelentéktelen (0–0,02 *apfu*), addig a Tur1-től a Tur3 felé haladva a Na-tartalom csökken, s ezzel párhuzamosan a betöltetlen pozíciók száma nő. Ez oly annyira így van, hogy míg a Tur1-ben és Tur2-ben a Na marad a domináns kation (rendre 0,79–0,87 *apfu*, ill. 0,66–0,73 *apfu*), s így ezek a zónák az alkálituralinok csoportjába tartoznak, addig a Tur3-ban az üres pozíciók száma annyira jelentős (0,64–0,67 *apfu*), hogy ez a zóna már az *X*-kationban hiányos turmalinok mezejébe esik (6.10. ábra).

A *T*- és a *Z*-pozíciók betöltésében komolyabb különbségek nem mutatkoznak a három zóna között. A *T*-pozíciót a Si teljesen vagy majdnem teljesen betölti, s ugyanígy a *Z*-pozícióban is csak Al található, köszönhetően a magas teljes Al-tartalomnak, mely 6,37 és 6,99 *apfu* között változik. Ez a vonás már élesen elkülöníti a miarolitos üregek turmalinjait a korábban tárgyalt intragránitos turmalinoktól.

Az *Y*-pozíció betöltését tekintve megint előjönnek a különbségek a három zóna között. Tur1-ben a 0,5 *apfu*-t meghaladó kationhiány annyira számottevő, hogy csak a mikroszondával nem mérhető elem, a Li beépülésével lehet magyarázni. Ezt támasztja alá még az *Y*-ban mért magas Al-tartalom (0,69–0,93 *apfu*), mely annak ellenére ilyen magas, hogy az *X* betöltöttsége is magas, tehát nem magyarázható az ${}^X\text{Na} + {}^Y\text{Fe} \rightarrow {}^X\Box + {}^Y\text{Al}$ helyettesítéssel. A Li-tartalomra utal még az ásvány miarolitos üregben való megjelenése, illetve a kristály vékony éleinél megjelenő zöldes színe is. Így ha az *Y* teljes „kationhiányát” a Li-tartalomnak tudjuk be, akkor a Li mennyisége 0,54 és 0,76 *apfu* között változik. Mivel *Y*-ban a Li és az Al mellett a harmadik fő kation a Fe^{2+} (1,03–1,42 *apfu*), ezért a Tur1 egy elbait-sörl elegykristály, melynek összetétele a két ásványfaj határa körül mozog: egyes elemzési pontok a sörl, mások az elbait mezejébe esnek (6.11. ábra). Ebben a zónában még az Mn-tartalom is számottevő (0,26–0,34 *apfu*), a Ti tartalom jelentéktelen (0,01–0,03 *apfu*), míg az Mg-tartalom a detektálási határ alatt van.

A Tur2 és Tur3 zóna *Y*-pozíciójában a kationhiány nem számottevő (0,05–0,17 *apfu*), ilyen mennyiségű vakancia más lelőhelyeknél is gyakran megfigyelhető. Mivel ezek a zónák egy lítiumos turmalinkristályban figyelhetők meg, ezért a 6.7. táblázatban a kationhiányt Li-nak értelmeztük, mely azonban vagy benne van a turmalinokban, vagy nincs. Kis mennyisége miatt ennek nincs jelentősége. Mindkét zónában a domináns kation a Fe^{2+} , de míg Tur2-ben mennyisége 2,34–2,50 *apfu*, addig Tur3-ban csak 2,09–2,17 *apfu*. Ez annak köszönhető,

hogy a Tur3 X-pozíciójában nagy a kationhiány, melyet az ${}^X\text{Na} + {}^Y\text{Fe} \rightarrow {}^X\text{□} + {}^Y\text{Al}$ helyettesítés egyenlít ki, ezért míg Tur2-ben az Y-pozíció Al-tartalma 0,34–0,44 *apfu*, addig Tur3-ban már 0,71–0,74 *apfu*. A Tur1-hez képest számottevően csökken az Mn-tartalom is, hiszen e két zónában már csak 0,03–0,07 *apfu* Mn mérhető. A három zóna Ti- és Mg-tartalmában nincs különbség. Mindezek alapján a Tur2 zóna *sörl*, amely azonban a Tur1-től jóval kisebb Li- és Al-tartalmában, valamint magasabb Fe-tartalmában különül el. A Tur3 zóna pedig – mivel az X-hiányos turmalinokat képviseli – *foitit*nek felel meg (6.11. ábra).

Figyelmet érdemel még a Tur1-ben mért 0,59–0,91 t% fluortartalom is. Mivel a turmalinban a fluor csak a W-pozícióba tud beépülni, ezért a 0,31–0,48 *apfu* F-tartalom is ott jelentkezik. A W-pozíció maradék helyeit (0,52–0,69 *apfu*) OH tölti be, ezért ez a turmalin a hidroxil-sorozatba tartozik. Érdekes, hogy a Tur2 és Tur3 zónákban fluor egyáltalán nem volt mérhető.

A sukorói minta a Nagy (1967a) által elbaitként leírt ún. „zöld” turmalin, mely a 6.4.2. alfejezetben említett pegmatit miarolitos üregéből származik (lásd a 6.5. ábrát). A példányt Nagy Béla gyűjtötte 1974 márciusában a sukorói murvabányában és a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (Budapest) gyűjteményében található meg 11133 leltári szám alatt. A kristálytöredékről készült visszaszórtelektron-képen csak kisebb mértékű kémiai inhomogenitás látszik (6.12. ábra).

Ez a sukorói zöldesszürke turmalin kémiáját tekintve a sas-hegyi minta Tur1 zónájához hasonlít (az elemzéseket lásd a 6.8. táblázatban). Az X-pozíció domináns kationja a Na (0,85–0,89 *apfu*), így ez a turmalin is az alkálituralinok közé tartozik (6.10. ábra). A T-t teljesen vagy majdnem teljesen Si tölti be (5,90–6,06 *apfu*), a Z-pozícióban pedig kizárólag Al található.

Az Y-pozícióban itt is olyan mértékű a „kationhiány”, hogy az csak a Li beépülésével magyarázható, amit itt is megerősít még a magas ${}^Y\text{Al}$ -tartalom, a miarolitos genetika és az ásvány zöldes színe. Ebben a turmalinban azonban a számított Li-tartalom még magasabb (0,74–0,98 *apfu*), mint a sas-hegyi szemcse Tur1 zónájában volt. A jelentős Fe^{2+} -tartalom (0,99–1,20 *apfu*) miatt azért ez a szemcse is egy *sörl*-elbait elegykristály, azonban itt már az összes elemzési pont az elbait mezejébe esik (6.11. ábra). Az Mn-tartalom kisebb (0,06–0,12 *apfu*), mint a sas-hegyi Tur1-ben, a Ti- és az Mg-tartalom pedig lényegében a kimutatósi határon, vagy az alatt mozog. Ennek a turmalinnak a különlegessége még a mérhető Zn-tartalom, amely 0,03 és 0,04 *apfu* közé esett.

A Velencei-hegység, de az összes többi elemzett magyarországi turmalin közül ebben mértem a legnagyobb F-tartalmat, ami 0,29 és 0,60 *apfu* között volt. Mint korábban írtam,

az összes fluor a *W*-pozícióba kerül, így a 0,5 *apfu* feletti F-tartalmú turmalinok már a fluor-sorozathoz tartoznak. Emiatt a 6.8. táblázat elemzéseiből az 1, 5, 6, 7 és 8 pontok elbaitnak, míg a többi elemzési pontok fluorelbaitnak felelnek meg.

A velencei-hegységi turmalinok számított Li- és mért F-tartalma közötti pozitív korreláció szembetűnő. A Li-mentes turmalinokban fluor egyáltalán nem volt mérhető. Igaz ez még az egyébként Li-tartalmú turmalin zónáiként megjelenő sas-hegyi sörlre és foititra is. A két Li-tartalmú turmalin, a sas-hegyi Tur1 és a sukorói esetében is látható, hogy a magasabb Li-tartalmú sukorói minta F-tartalma is magasabb. Sőt, bizonyos mértékben még egy kristályon belül is megfigyelhető a Li és F közötti pozitív korreláció (6.13. ábra).

6.6. A kontaktpalák és kvarctelérek turmalinjai

Míg az előbb tárgyalt genetikai típusoknál a kevés minta okozott problémát, addig a kontaktpalák és kvarctelérek turmalinjai nagy számban álltak rendelkezésemre. Ez nem is meglepő, hiszen a Velencei Gránit-hoz kapcsolódó turmalinképződés volumenében nem a gránittesten belül, hanem a körülötte lévő érintkezési zónában volt jelentős. A számos, rendelkezésemre álló mintából nyolcnak végeztem el a kristálykémiai vizsgálatát, ezek listáját a 6.9. táblázat tartalmazza.

Mivel az egyes turmalinminták ásványtani tulajdonságai és kristálykémiai viszonyai között nagy különbségek nem mutatkoztak, így tárgyalásukat összevontan végzem el. A kontaktpalákhoz és kvarcteléreikhez köthető turmalinok makroszkópos színe a gránitban és telérközeteiben megjelenő turmalinokéhoz képest némileg világosabb, tehát nem az a ki-mondottan fekete, hanem inkább sötétszürke (6.14. ábra), szürke, máskor barna, de akár színtelen is lehet (lásd a címlapot). A kristályok rendszerint nyúlt oszlopos vagy szálas természetűek, egyes kvarctelérekben azonban tömeges, finomszemcsés halmazokat alkotnak. E finomszemcsés halmazokban az egyes kristallitokat sokszor még fénymikroszkóppal sem sikerül elkülöníteni, így méretük nem éri el a 0,1 mm-t. Máskor a szálas kristályok hosszúsága viszont akár az 1 cm-t is meghaladhatja.

A visszaszórtelektron-képeken ezek a turmalinok oszcillációs zónásságot mutatnak. Az egyes zónák vastagsága mintáról mintára változhat, de rendszerint csak néhány μm -esek. A kristályok akár tized mm-es méretet elérő magja sokszor kémiaiilag homogén vagy folto-san zónás (6.15. ábra).

Most tekintsük át a turmalinok kristálykémiai viszonyait! Az *X*-pozícióban a *K* mennyisége mindig a detektálási küszöb alatt maradt, a *Ca*-tartalom pedig következetesen

alacsony volt (0,01–0,10 *apfu*). A változatosságot a Na-tartalom és a vakanciák mennyisége adja, mindkettő viszonylag tág határok között mozgott: 0,44–0,74 *apfu* Na és 0,21–0,53 *apfu* vakancia. Általánosságban elmondható, hogy a kontakt zóna turmalinjai Na-ban szegényebbek és az üres pozíciókban gazdagabbak, mint az intragránitos turmalinok. Mégis, a legtöbb turmalinelemzés az X-ben Na-dominanciát mutat, vagyis az elemzési pontok zöme az alkáli-turmalinok közé tartozik és csak egy kis hányaduk lép át az X-hiányos turmalinok csoportjába (6.16. ábra).

A T-pozíciót vagy teljesen betölti a Si, vagy kismértékű Al-helyettesítés történik (max. 0,23 *apfu* ^TAl). A Z-pozíciót szinte mindig kizárólag Al tölti be, itt egyedül az MBFSZ 5297 mintában volt egy elemzési pontban 0,04 *apfu* Mg (6.11. táblázat, 4. oszlop). Az Y-pozícióban a már megszokott vegyes kationbetöltés mutatkozik. Mivel X-ben helyenként jelentős a vakanciák száma, ezért az ^XNa + ^Y(Fe, Mg) → ^X□ + ^YAl helyettesítés miatt az Al-tartalom jelentős lehet (max. 0,91 *apfu*). Az Y-pozíciót a Fe²⁺ és az Mg dominálja. Míg az intragránitos turmalinokban az Mg mennyisége lényegében elhanyagolható volt, addig a kontakt zóna turmalinjaiban nagy mennyiségű Mg mérhető (0,32–1,38 *apfu*), olyannyira, hogy egyes elemzési pontokban ez lett a domináns Y-kation. A Fe²⁺ mennyisége 0,89 és 2,00 *apfu* között mozgott. A Ti és az Mn mennyisége nem volt jelentős, rendre max. 0,11 és 0,04 *apfu*. Ha az X- és Y-pozíciókat hasonlítjuk össze, akkor megemlíthető, hogy azokban a turmalinokban, melyekben az X-ben a vakanciák domináltak, ott Y-ban mindig a Fe²⁺ volt a legnagyobb mennyiségű kation, így a velencei-hegységi kontakt kőzetek turmalinjai a csökkenő gyakoriság sorrendjében a *sörl*, a *drávit* és a *foitit* ásványfajokat képviselik, míg a magneziofoitites összetétel hiányzik (6.17. ábra).

Fluor mérhető mennyiségben egyik mintában sem volt jelen, így a W-pozíciót tekintve az összes turmalin a hidroxil-sorozatba tartozik.

A visszaszórtelektron-képeken megfigyelhető zónásságot alapvetően az Y-pozícióban eltérő Fe- és Mg-tartalom okozza. A világosabb zónák vasban, míg a sötétebbek magnéziumban gazdagabbak. Azonban, ha a turmalinok Fe-tartalmát ábrázoljuk az Mg-tartalom függvényében (6.18/A. ábra), akkor láthatjuk, hogy a korrelációs együttható elég alacsony, ezért a homovalens Fe ↔ Mg helyettesítés szerepe nem túl nagy. Ehelyett az egyes zónák között a párosított, heterovalens helyettesítések a jelentősebbek. A Na(Fe, Mg)₃Al₆Si₆O₁₈(BO₃)₃(OH)₄ összetételű *sörl*-*drávit* sorból a kationhiányos, □[(Fe, Mg)₂Al]Al₆Si₆O₁₈(BO₃)₃(OH)₄ összetételű *foitit*-magneziofoitit sorba párosított helyettesítéssel juthatunk el: az X-pozícióban a Na helyére „beépülő” vakanciák negatív töltésfelesleget eredményeznek, amit az Y-pozícióban a kétvegyértékű kationok (Fe²⁺, Mg²⁺) helyére beépülő alumínium

egyenlíti ki; ezt az ${}^X\text{Na} + {}^Y(\text{Fe}, \text{Mg}) = {}^X\text{□} + {}^Y\text{Al}$ egyenlettel írhatjuk le. Ez a helyettesítési mechanizmus a velencei-hegységi mintákon belül is működik (6.18/B. ábra), magas korrelációs értékkel. Mivel egyes elemzési pontokban az ${}^X\text{Ca}$ mennyisége is jól mérhető (max. 0,10 *apfu*), ezért az ${}^X\text{Ca} + {}^Y(\text{Fe}, \text{Mg}) = {}^X\text{Na} + {}^Y\text{Al}$ típusú helyettesítéssel is számolnunk kell. Ennek korrelációs együtthatója, így a turmalin összetételére gyakorolt hatása az előzőnél valamivel kisebb (6.18/C. ábra), de még mindig nagyon magas. Ennek oka a vakanciákhoz mérten alacsony Ca-tartalom lehet. A 6.18/D. ábra azt mutatja, hogy a turmalinokban az ${}^X\text{Na} + {}^Y(\text{Fe}, \text{Mg}) = {}^X\text{□} + {}^Y\text{Al}$ típusú, ún. alkálihiányos helyettesítés uralkodik az ${}^Y(\text{Fe}, \text{Mg}) + {}^W(\text{OH}) = {}^Y\text{Al} + {}^W\text{O}$ típusú, ún. protonhiányos helyettesítés rovására. Ez némileg a képletszámítás módjából is következik: ha a képletszámítást 15 ($T + Z + Y$) kationra végeztük volna el, akkor a 6.10–6.17. táblázatokban az Y -ban mutatkozó kationhiány eltűnt volna úgy, hogy a W -pozícióban az $(\text{OH})^-$ egy részét O^{2-} helyettesíti, ez pedig a helyettesítési trendet kissé eltolta volna a protonhiányos helyettesítés irányába, hasonlóan a nagybörzsönyi turmalinhoz (lásd a 8.9/A. ábrát).

6.7. Diskusszió

Jantsky (1957) a Velencei-hegység gránitjához kötődő turmalinokat egységesen pneumatolitos eredetűnek tartotta, függetlenül attól, hogy azok a gránitban és telérközeteiben, vagy a kontaktpalákban és azok kvarcos-turmalinos teléireiben fordulnak elő. Mint írta, „a turmalin színéből, termetéből vagy pleokroizmusából genetikai különbségekre következtetni nem indokolt. Az alkati eltéréseket a kristályosodás különböző fizikokémiai viszonyaira és a különböző környezetre vezethetjük vissza”. Jelen vizsgálatok alapján ezt az egyszerű genetikai képet kicsit árnyalni kell. Pneumatolitos, vagy mai szóhasználattal élve magas hőmérsékletű hidrotermás, illetve hidrotermás-metaszomatikus kifejlődéseknek a miarolitos üregekben megjelenő, illetve a kontaktpalákhoz kötődő turmalinokat tekinthetjük. A gránitban, valamint a pegmatitokban és aplitokban előforduló turmalinok kristályosodása azonban egy zárt olvadék-vizes fluidum rendszerben történhetett. Erre a kémiai zónásság hiánya, valamint a kristályok hintett elrendeződése utal (London és Manning, 1995). E fejezetben először arra keresem a választ, hogy vajon minek köszönhető a turmalinok nagyon gyér előfordulása a gránitokban és közetdifferenciátumaiban, majd pedig a turmalinképződésnek azt a legvalószínűbb forgatókönyvét vázolom fel, melyet a jelenlegi adataink a legjobban alátámasztanak.

Mint láttuk, a Velencei-hegység gránitjában és telérközeteiben a turmalin csak nagyon ritkán és akkor is elenyésző mennyiségben jelenik meg. Jelentősebb mértékű turmalinképződés a gránit palaköpenyéhez, vagyis a kontaktmetamorf aureolájához kapcsolódik. Vajon mi lehet az oka annak, hogy a gránitban a turmalinképződés ennyire jelentéktelen volt?

Nézzük meg, hogy gránitos rendszerekben melyek a turmalinképződés fő feltételei! Itt most elsősorban a kémiai feltételekre fogok koncentrálni, és az olyan intenzív változókkal, mint a hőmérséklet vagy a nyomás – a turmalin nagy stabilitási mezeje miatt – nem foglalkozom.

Az első és legfontosabb feltétele a turmalinképződésnek az, hogy a rendszerben legyen jelen megfelelő mennyiségű bór. Buda (1993) szerint a Velencei Gránit 680 °C-on kristályosodott vízben telített, eutektikus olvadékból. Ilyen viszonyok között London (1999) szerint gránitos olvadékokban a turmalin telítéséhez szükséges B₂O₃-tartalom 2 t% körül mozog. A Velencei Gránit bórtartalmáról a következő irodalmi adatok állnak rendelkezésünkre: 10–25 ppm (Nagy, 1967b), 14–49 ppm (Pantó Gy., 1977), 14 ppm (Horváth és társai, 1989) és 8–35 ppm (Uher és Broska, 1994). Ebből az látszik, hogy a Velencei Gránitban nagyságrendekkel kevesebb a bór ahhoz a mennyiséghez képest, mint ami a turmalin képződéséhez szükséges lett volna. Kérdésként felmerülhet, hogy vajon a gránitban mért bórtartalom mennyiben tükrözi az eredeti gránitos olvadék bórtartalmát? A válasz, hogy semennyire. London és társai (1996) szerint a gránitok teljes kőzetkémiai elemzése nem szolgáltatnak mennyiségi adatokat a magmák bórtartalmának becsléséhez, ha azok a pufferáló reakciók, melyek kristályos fázisokban konzerválták volna a bórt, nem működtek a szolidusz feltételek eléréséig. A magmák nagyjából annyira konzerválják a bórtartalmukat, mint amennyire a vizüket tartják meg, más szavakkal a bór preferáltan az illófázisba különül el az olvadék-illó rendszerekben (Benard és társai, 1985). Tehát nincs okunk azt feltételezni, hogy a bórt csak nyomolemként tartalmazó Velencei Gránit még olvadék állapotban ne tartalmazhatott volna sokkal jelentősebb mennyiségben bórt. Ezt valószínűsíti némileg a gránitot övező kontaktpalákban a turmalin – egyes helyeken jelentős mennyiségű – megjelenése is.

Tételezzük fel, hogy a gránitos olvadékban a turmalinképződéshez szükséges bór-mennyiség rendelkezésre állt és nézzük, meg, hogy egyéb geokémiai tényezők mennyire segítették elő vagy gátolták a turmalin kiválását. A bórtartalom után az olvadék (kőzet) alumíniumossága egy fontos paraméter. Hangsúlyozni szeretném, hogy itt nem az alumínium-tartalomról van szó, hanem az alumínium, valamint a kalcium, nátrium és kálium mennyiségének az arányáról. Az olvadék alumíniumosságának mérőszáma az *alumínium-oxid telítettségi indexe*, rövidítve ASI (= alumina saturation index), melyet az $Al_2O_3/(Na_2O + K_2O +$

CaO) aránnyal fejezünk ki, az adatokat molekulaszázalékban megadva (Shand, 1943). Eszerint megkülönböztetünk peralkáli, metalumíniumos és peralumíniumos gránitokat, melyek diszkriminációs diagramja Maniar és Piccoli (1989) alapján a 6.19. ábrán látható, feltüntetve a velencei-hegységi gránit és telérközetei összetételét. Az ábrából jól látszik a Velencei Gránit gyengén peralumíniumos, egyes helyeken akár metalumíniumos jellege. A metalumíniumos-peralumíniumos határ $ASI = 1$ -nél van, mely érték felett marad a rendszerben szabad alumínium, melyet a földpátok kristályosodása nem használt fel. Mivel a turmalin egy erősen peralumíniumos ásvány, képződéséhez London és társai (1996), valamint Wolf és London (1997) szerint az ASI-nak meg kell haladnia az 1,2–1,3 értéket. Látható, hogy a Velencei Gránitban a legtöbb helyen egész egyszerűen nem volt elég alumíniumos az olvadék a turmalin képződéséhez. Ezt mi sem bizonyítja jobban, mint az elemzett intragránitos turmalinok kristálykémiája, ahol az Al mennyisége szinte minden elemzési pontban az ideális 6 *apfu* alatt maradt. Mivel az olvadék Mg-tartalma is nagyon alacsony volt (az Mg az egyik fő helyettesítője az Al-nak a turmalin Z-pozíciójában), így turmalinképződés csak ott volt lehetséges, ahol rendelkezésre állt elegendő mennyiségű Fe^{3+} az Al helyettesítésére. Tehát ez lehet az egyik fő oka a velencei-hegységi endomagmás turmalin nagyon gyér megjelenésének, vasban való gazdagságának és alumíniumban való szegénységének.

Gránitos olvadékok esetében a turmalinképződés gátja lehet a femikus komponensek (Fe, Mg) kis mennyisége, illetve egyéb mafikus ásványok képződése, melyek a turmalin elől rácsukba építik ezeket az alkotókat. Ebben a tekintetben a turmalin legnagyobb „ellenfele” a biotit. Számos alkalommal megfigyelték (pl. Čech, 1963; Benard és társai, 1985; Pesquera és társai, 2013), hogy a biotitban gazdag gránitok nem vagy alig tartalmaznak turmalint és fordítva, a turmalinban gazdag gránitok nem vagy alig tartalmaznak biotitot. A Velencei-hegységben Jantsky (1957) tett arról említést, hogy a székesfehérvári községi kőfejtő aplitos telérgránitjának turmalinos szakaszai biotitmentesek vagy biotitban szegények. A biotit és a turmalin összeférhetlenségének okát még nem sikerült megfejteni. Egyes szerzők a gránitos olvadék víztartalmát tekintik a fő tényezőnek (Guillot és Le Fort, 1995; Scaillet és társai, 1995), vagyis a magas víztartalom a biotit képződését segíti elő. Más kutatók szerint az olvadék Ti-koncentrációja kontrollálja a biotit és a turmalin relatív stabilitását mégpedig úgy, hogy a Ti stabilizálhatja a biotitot a turmalin rovására (Nabelek és társai, 1992). Bárhogy is van, a Velencei-hegység esetében egyértelműnek tűnik, hogy a biotitképződés is egyik gátja lehetett az intragránitos turmalin kiválásának.

A turmalinképződés szempontjából egyes kutatók még a gránitos olvadék foszfor- és fluortartalmának tulajdonítanak jelentőséget. A foszfor erős hajlamot mutat a

komplexxképzésre a gránitos olvadékban lévő alumínium-felesleggel, így csökkentve a turmalin stabilitását azáltal, hogy csökkenti az alumínium aktivitását az olvadékban (Wolf és London, 1997). Mivel a velencei gránitban a foszfortartalom elenyésző (max. 0,13 t% P_2O_5 ; Uher és Broska, 1994) és foszfátásványok sem ismertek jelentősebb mennyiségben (Ondrejka és társai, 2018), a foszfor hatását a turmalinképződésre elhanyagolhatjuk. Ugyanakkor a fluor szerepét érdemes megvizsgálnunk. Wolf és London (1997) szerint a gránitos olvadék növekvő fluortartalma csökkenti a turmalin stabilitási mezejét szintén az olvadékban lévő Al-mal való komplexképzés miatt: minél több fluort tartalmaz az olvadék, annál magasabb B-tartalomra és/vagy magasabb ASI-értékre van szükség a turmalin telítettség eléréséhez. A velencei gránittal kapcsolatban a fluor alapvetően fluoritban megkötve van jelen. E tekintetben Jantsky (1957) megkülönböztette a fluoritosodott gránitot (pl. a Bence-hegyen) és főleg a hegység nyugati felében lévő, hidrotermás fluoritteléreket (pl. Pátka, Kőrakás-hegy és Szűzvár; Pákozdi, Zsellér-mező), mely utóbbiak bányászat tárgyát is képezték. Jantsky (1957) és sok későbbi szerző (pl. Molnár, 2004) a telérekben megjelenő fluorit képződését a gránitos magmatizmushoz kötötték, míg mások triász (Benkó, 2008; Benkó és társai, 2014), illetve kréta korú (Horváth és társai, 1989) magmatizmussal hozták kapcsolatba. Ha a fluoritképződés nem a gránitos magmatizmussal kapcsolatos, akkor a nagy mennyiségű fluorit jelenléte az egykori gránitos olvadék fluortartalmáról nem árul el semmit, viszont a kőzetben járulékos alkotóként megjelenő fluorit mégis utalhat a gránit némileg megemelkedett F-tartalmára. A velencei gránit gyakori alkotói közül egyedül a biotit képes fluort a rácsába illeszteni. Sajnos Buda és társai (2004a) a közép-európai gránitok biotitjairól szóló cikkükben a fluortartalomra nem közölnek adatokat. Uher és Broska (1996) két biotitelemzést közölnek a velencei gránitból, melyek F-tartalma 0,47 és 0,56 t% volt, ami 0,12 és 0,15 *apfu*-nak felel meg a 12 oxigénre számolt képletben. Uher és Broska (1996) szerint ezek az értékek magasabbak a gyakori gránitos kőzetekben megszokottnál, ami a fluor magas aktivitását jelzi.

Összességében tehát megállapíthatjuk, hogy ha a Velencei Gránit egykori olvadéka tartalmazott is elegendő bórt a turmalin telítéséhez, az olvadék viszonylag kis Al-tartalma, a femikus komponensek (Fe, Mg) kis részaránya és biotitba való beépülése, valamint a feltételezhetően megemelkedett fluortartalma a turmalinképződés ellen hatott.

Ezután tekintsük át a Velencei Gránitban kötődő turmalinok képződésének legvalószínűbb forgatókönyvét. A devon-karbon kollíziós, majd a karbon transzpressziós tektonikai szakaszok után 300 ± 20 millió évvel ezelőtt transztenziós és extenziós relaxációs rendszerek jöttek létre (Neugebauer, 1988). Uher és Broska (1996) szerint, ha feltételezzük a földkéreg

elvékonyodását és erősen erodált kontinentális kérget a posztorogén régió nagy, oldaleltolódásos törési zónáján belül, akkor az alsó-kéreg kb. 20 km-es szintje lehet – többek között a velencei-hegységi – gránit-protolit részleges anatexisének helye. Maga a protolit a fenti szerzők szerint valamilyen granulitfáciesű metamorfit lehetett, és a Buda (1993) által leírt mafikus enklávék miatt bázisosabb alsó-kéregbeli, illetve felső-köpenybeli protolitok anatexisét feltételezik. Ennek némileg ellentmond a gránitos olvadék feltehetően megemelkedett börtartalma. Ha ez a bór a protolitból származott és nem a gránitos magma felemelkedése során asszimilálta magába a mellékközetekből, akkor a granulit-protolitnak valamilyen börtartalmú ásványt kellett tartalmaznia, mégpedig olyan ásványt, amely a granulitfácies feltételei között is stabil maradhat. Ez legnagyobb eséllyel – gyakorisága miatt – maga a turmalin lehetett. Ha egy turmalintartalmú metaszediment részleges olvadása alacsony hőmérsékleten játszódik le, akkor a turmalin nagy része valószínűleg a protolitban marad, mivel az ásvány lényegében oldhatatlan alacsony hőmérsékletű gránitos olvadékokban. A részleges olvadás hőmérsékletének 750 °C-nál magasabbnak kellett lennie, mivel legalább ekkora hőmérséklet szükséges ahhoz, hogy a turmalin is reakcióba lépjen, s a benne tárolt bór mennyiség felszabaduljon (Benard és társai, 1985).

Az olvadék felemelkedését a részleges anatexis zónájából a megszilárdulás zónájába a transzteniós vagy extenziós tektonikai környezet segítette elő oldaleltolódásos törési rendszerek mentén (6.20. ábra; Uher és Broska, 1996; Benkó és társai, 2014). Mivel a bór csökkenti az olvadék viszkozitását, így a gránitos magma feltételezhető börtartalma is előmozdíthatta az olvadék magasabb szintre jutását. A magma hipabisszikus szintbe (6–8 km-es mélységbe) emelkedve már korábban anchizónás regionális metamorfózist szenvedett palákba nyomult. A gránit cirkonjainak tipológiai elemzése viszonylag magas, 800 °C-os kristályosodási hőmérsékletet jelez (Uher és Broska, 1994), ezt tarthatjuk a Velencei Gránit likvidusz-hőmérsékletének (Uher és Broska, 1996). A fő közetalkotók közül elsőként a biotit kristályosodott 680 °C-on (Buda és társai, 2004a), majd ezt követte a káliföldpát (ortoklász) és a kvarc kristályosodása, előbbi 630–650 °C környékén (Buda, 1969, 1981), végül a plagioklász kiválása következett 520 °C-on (Buda, 1969). A gránit kristályosodásának ezen szakaszában a magma börtartalma nem lehetett elég magas ahhoz, hogy az olvadék telítődjön turmalinra nézve.

Elképzelhető, hogy a gránitos maradékolvadék soha nem érte el azt a börtartalmat (2 t% B₂O₃), amely már elegendő lett volna a turmalinképződéshez. Valószínű, hogy a turmalin kiválása csak a szételegyedő vizes fluidum megjelenésével kezdődhetett el, egy zárt olvadék-fluidum rendszerben, ahol az olvadék és a kristályosodó turmalin között egy vizes

fluidum-határfelület volt jelen. Ahol a kőzetben a turmalinkristályok hintve jelennek meg, vagyis egy kivétellel az összes intragránitos minta esetében, ott a turmalin kiválása a gránit szoliduszánál magasabb hőmérsékleten történt.

Annak a lehetőségét sem lehet teljesen elvetni, hogy egyes intragránitos turmalinok közvetlenül olvadékból kristályosodtak ki, szételegyedett fluidumfázis nélküli rendszerben. Erre utalhat egyes mintákban a turmalinkristályok hintett elhelyezkedése és a kémiai zónáság hiánya (lásd London és Manning, 1995). Az olvadék-fluidum rendszer meglétét azonban több tényező is valószínűsíti: 1.) Gránitos rendszerekben a bór preferáltan a fluidumfázisba különül el. Csak erősen frakcionált, eredendően magas bórtartalmú magmák maradékolvadékai képesek elérni a turmalin telítéséhez szükséges 2 t%-nyi B_2O_3 -tartalmat (London és Manning, 1995). Azonban sokkal valószínűbb, hogy az elkülönült fluidumfázis az olvadékban felemelkedve annak differenciációját okozta azáltal, hogy a fluidumot preferáló elemek az olvadék alsóbb részeiben kimerültek, így gazdagítva az olvadék felsőbb részeit ezekkel az inkompatibilis elemekkel (Jolliff és társai, 1986). 2.) A gránitokban, pegmatitokban, aplitokban a $Fe_{tot}/(Fe_{tot} + Mg)$ arány (atomszázalékos értékekből számolva) nagyrészt 0,73–0,80 között mozog (lásd a 6.19. ábrában hivatkozott elemzési adatokat), ami lényegében a biotitokban mért hasonló értékeket (lásd Uher és Broska, 1996, valamint Buda és társai, 2004a adatait) tükrözi. Ezzel szemben az intragránitos turmalinokban a $Fe_{tot}/(Fe_{tot} + Mg)$ arány ennél lényegesen magasabb, 0,95–0,99 között helyezkedik el. Mivel a vas a szilikát-olvadékkal koegzisztens vizes fluidumot preferálja, míg a magnézium az olvadékban marad (Jolliff és társai, 1986), a gránithoz/biotithoz képest a turmalin vasban való gazdagodása szintén fluidum jelenlétére utal. 3.) Hasonló a helyzet a fluorral is, amely egy olvadék-vizes fluidum rendszerben preferáltan az olvadékban marad (Jolliff és társai, 1986). Míg a Velenicei Gránit biotitjában a F-tartalom 0,12 és 0,15 *apfu* között volt (Uher és Broska, 1996), addig az intragránitos turmalinok F-tartalma a detektálási küszöb alatt maradt, szintén vizes fluidum jelenlétére utalva. 4.) Az általam vizsgált Bence-hegyi aplitban (MBFSZ-5304 minta) a turmalin egy vastag eret alkot, ami egyértelműen oldatból történő kiválásra utal, ugyanakkor kémiai összetétele lényegében megegyezik a többi intragránitos turmalinével, így ez utóbbiaknál is számolnunk kell a vizes fluidumfázis jelenlétével.

Az intragránitos turmalinok genetikai interpretációját kissé megnehezíti azok jelentősnek mondható Fe^{3+} -tartalma, melynek mennyisége elérheti a 0,76 *apfu*-t, az összes vastartalmon belüli mennyisége pedig 3–20% között mozog. Ilyen Al-ban telítetlen és Fe^{3+} -tartalmú turmalinokat a Třebíč-pluton NYF-típusú pegmatitjaiból (Csehország) már említettek elsődleges magmás fázisként (Novák és társai, 2011), bár azok Ca-ban és Ti-ban is gazdagok

voltak, ami a velencei turmalinokra nem áll fenn. A lényeg tehát, hogy a velencei intragránitos turmalinok alacsony Al- és jelentősnek mondható Fe^{3+} -tartalma nem zárja ki azok elsődleges magmás eredetét. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy a velencei gránit biotitjainak jelentős része is oxidált, ahol a $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+}) = 0,27$, ami Buda és társai (2004a) szerint másodlagos eredetre vall, melyet a magmás fejlődés kései szakaszában, a magmából elkülönülő illók autometamorf/autometaszomatikus/autohidratációs hatásának is tulajdoníthatunk. Így nem zárható ki, hogy a velencei turmalin feloxidálásában is autometaszomatikus folyamatok játszottak szerepet.

A sukorói pegmatitok turmalinjai később széttöredeztek, a kristálydarabok közti repedéseket kvarc és káliföldpát összenövéséből álló együttes töltötte ki, a káliföldpátok utólag kaolinosodtak. Egyes turmalindarabkák szélén az infiltrálódó fluidumok hatására legfeljebb 3 μm -es foitites reakciószegélyek alakultak ki (lásd a 6.7. ábrát), valószínűleg a kvarcos-káliföldpátos kitöltésekkel egy időben. Az infiltrálódó fluidum a paleogén vulkáni működés terméke lehet, de származhatott az idősebb, triász korú magmás tevékenységből is.

Mivel a magmából való turmalinképződés feltételei általában nem voltak adottak, a gránitos olvadékban lévő bór döntő része az elkülönült fluidumfázisba távozott. Ezek a fluidumok a bór mellett még némileg mangánban, cinkben és lítiumban is dúsultak. Egyes pegmatitok miarolitos üregeiben ezekből az oldatokból fenn-nőtt, zöldesfekete, szürkészöld turmalinok váltak ki, melyek az intragránitos turmalintól eltérően sok Al-ot, és jelentősebb mennyiségű Li-ot és F-t tartalmaztak. A sas-hegyi turmalinban ezen kívül jelentős a mangán (0,27–0,34 *apfu*), míg a sukoróiban jól mérhető, bár nem számottevő a cink mennyisége (0,03–0,04 *apfu*). Így ezek a miarolitos turmalinok a sörl-elbait sorozatba tartoznak. A Li és F pozitív korrelációja jól megfigyelhető, vagyis minél magasabb volt a turmalin Li-tartalma, annál több fluor volt benne. Egyes elemzési pontokban így fluorelbait összetétel is megjelent. Mivel ezek a turmalinok sem mutatnak kémiai zónásságot, képződésük zárt rendszerben történhetett, vagyis a mellékkőzetből származó komponensek nem vettek részt a felépítésükben. A sas-hegyi mintánál azonban a turmalinképződés után az üreg felnyílhatott és a sörl-elbait elegykristályok a kívülről érkező fluidumok hatására a szegélyeken, illetve repedések mentén átalakultak, a szegélyeken sörl, a repedésekben pedig foitit összetételt értek el.

A bórban dúsult hidrotermás oldatok döntő része a gránittól elkülönülve metasztatizálta a szomszédos palaköpenyt, turmalinos szaruszirteket, illetve kvarcos-turmalinos teléreket hozva létre. Itt a turmalinképződés már nyílt rendszerben történt, erről árulkodik az itteni turmalinkristályok jól megfigyelhető, olykor oszcillációs zónássága, melyben nincs

szisztematikus kémiai trend a kristály magjától a szegélyéig. Ezek a turmalinok kémiailag is jelentősen különböznek az intragránitos mintákétól, valamilyen szinten a befogadó palák összetételét tükrözik: fő különbség a megemelkedett Al- és Mg-tartalom, az X-pozícióban jelentősen megnőtt vakanciák száma, valamint a csökkenő Na- és Fe-tartalom. Megállapítható, hogy nincs átfedés a magmás (gránit, pegmatitok, aplitok) és a hidrotermás (kontakt kőzetek, kvarc-turmalin-telérek) turmalinok kémiai összetétele között (6.21. ábra).

A Velencei Gránittal rokon alsó perm korú, posztorogén, A-típusú gránitokat több helyről leírtak a Nyugati-Kárpátokból (Szlovákia): Turčok (Uher és Gregor, 1992), Hrončok (Petřík és társai, 1995), a Kohút-zóna (Hraško és társai, 1997), valamint kavicsok és görgöttegek formájában különböző kréta és paleogén korú konglomerátumokból (pl. az Upohlav gránitok; Uher és társai, 1994). Közülük ez ideig turmalint csak Turčokról és a Kohút-zónából említettek, de részletesebb ásványtani vizsgálatokat még nem végeztek rajtuk.

6.8. Összegzés

A gránitmagma földpátokat, ferromagnéziumos ásványokat és valószínűleg turmalint tartalmazó granulitok (metapélitok?) által dominált kéregegység anatektikus megolvadásából származik. A magma emelkedése és hűlése során a különvált vizes fluidum olyan elem-differenciációt eredményezett, hogy a preferáltam fluidumba elkülönülő komponensek (mint pl. a bór) az olvadék alsóbb részeiben kimerültek, míg a felsőbb részekben feldúsultak. Egyes helyeken a bór megfelelő koncentrációjának (kb. 2 t% B_2O_3) elérése után a ferromagnéziumos ásványok reakciójával zárt, olvadék-vizes fluidum rendszerekben rendkívül korlátozott mennyiségben turmalin képződött. Mivel a grániton belüli turmalinképződés mennyiségileg nem volt számottevő, a bór jelentős része a reziduális fluidumfázisban maradt, amely a mellékkőzetek felé vándorolt és részt vett a metasomatikus turmalinosodásban.

A különböző környezetekből származó turmalinok jelentős összetételi változatosságot mutatnak, melyet a befogadó kőzet természete és a képződési folyamatok kontrollálnak. Látványosan hasonló földtani helyzetekben azonban a turmalinok összetétele felettébb egyveretű, még a jelentősen távoli lelőhelyek között is (pl. a Bence-hegy és a Tompos-hegy aplitjaiban, vagy az Antónia-hegy és a Varga-hegy kontakt paláiban). Ebben az értelemben a turmalinok összetétele annak a környezetnek a fontos részleteit jelzi, amelyben képződtek.

A gránitban, pegmatitokban és aplitokban megjelenő, szurokfekete turmalin a sörl fajttal képviseli. Jellemzője az alacsony Al-tartalom, mely rendszerint nem éri el a 6 apfu-t. Másik

fontos vonás a vasgazdagsága, ahol a vas egy jelentős része Fe^{3+} -ként van jelen a szerkezetben.

Egy zárt olvadék-vizes fluidum rendszerben, ami nem esik át gyors változáson, a nyomás, hőmérséklet és összetétel fokozatosan változik, és így a magmás kristályos fázisok (mint amilyen a turmalin) kismértékű kémiai változatosságot mutatnak. A gránitok, pegmatitok és aplitok hintett turmalinjai megfelelnek ezeknek a tulajdonságoknak és ezért elsődleges magmás fázisnak tekintem őket. Ugyanakkor a jelentősebb Fe^{3+} -tartalom autometaszomatikus átalakulást is jelezhet.

A gránittól elkülönült, de még a gránitban cirkuláló fluidumfázis a különféle inkompatibilis elemekben (bór, fluor, lítium, mangán) feldúsult. Mivel a miarolitos üregekbe külső forrásból anyaghozzáadás nem történt, ezért az oldatokból fluortartalmú sörl-elbait elegykristályok váltak ki, számottevő kémiai változatosság nélkül, vagyis kémiailag még mindig zárt rendszerben. Utólagos hatásokra azonban a sas-hegyi minta turmalinja itt-ott sörlé és foitittá alakult át.

Miután a turmalinképződés feltételei nem álltak fenn (pl. a femikus komponensek hiánya miatt), a gránitos olvadékból elkülönült fluidum B-tartalma további kontroll nélkül növekedett mindaddig, amíg a rendszer nyílttá nem vált arra, hogy kapcsolatba lépjen a külső fluidumokkal vagy kőzetekkel, melyek a reaktív komponenseket (Fe és Mg) szolgáltatták a további turmalinképződéshez. Az a bórmennyiség, amely nem konzerválódott kristályos fázisokként a zárt magmarendszerben, turmalinként vált ki, amikor a magmás rendszer nyílttá vált a környező mellékkőzetek irányában.

A turmalin nagy mennyiségben lehet jelen az exokontakt zónákban, ahol a B-gazdag, gránitból származó fluidumok elérik a reaktív mellékkőzeteket. A palaköpenyben és azok kvarc-turmalin-teléreiben megjelenő turmalinosodás a pala kontaktmetamorf átalakulásával van kapcsolatban. A turmalinok itt általában finomkristályosak, összetételük változatos, de éles kontrasztban állnak a gránitban lévő turmalinok kémiájával. A turmalin progresszív kristályosodása először is a drávitkomponens hirtelen növekedését eredményezi, amint a palaköpeny magnéziuma hozzáférhetővé válik. Amint az Al-tartalom növekszik és egyre több Al épül be az Y-pozícióba, úgy az X-pozícióban az alkáli-betöltöttség csökken és a turmalin összetétele leginkább a foitit/magneziofoitit irányába mozdul el. A palaköpeny turmalinszirtjeiben, a hidrotermás kvarc-turmalin-teléreken és breccsákban a turmalin komplex kémiai zónássága megkülönbözteti őt a gránitban hintve megjelenő turmalintól. A hidrotermás turmalin összetételében változatosabb, több benne az Mg és alacsonyabb az X-pozíció betöltöttsége, ugyanakkor a mikroszondás elemzésekből Fe^{3+} -tartalom nem, vagy csak

nagyon kis mennyiségben gyanítható. A hidrotermás turmalinok befogadó kőzetei egy nyílt kémiai rendszert reprezentálnak, ahol a fluidum legtöbb komponense a grániton kívülről, vagyis a mellékkőzetből származik, s a gránit lényegében csak a magmás bór forrása. A telérek és breccsák egyedi turmalinkristályai oszcillációs zónásságot mutatnak, azaz nincs határozott trend a kémiai evolúcióban.

7. A Bükk turmalinjai

7.1. Bevezetés

A Bükk a Pelsői nagyszerkezeti egységen belül a Bükki szerkezeti egység (vagy „Bükkium”) része. Ez utóbbiba tartozik még a Bükk mellett az Upponyi- és a Szendrői-hegység is. A bükki kifejlődést tengeri újpaleozoikum, folyamatos tengeri rétegsor a késő perm-kora triászban, karbonátplatform a középső triászban, medencefáciések a késő triászban, majd üledékhézag után mélytengeri, sziliciklasztos-karbonátos jura üledékképződés jellemzi. Különösen jellegzetesnek tekinthető a ladini savanyú-neutrális, a karni bázisos és az óceáni affinitású bázisos jura magmatizmus (Less és társai, 2005). A Bükk paleo-mezozoós képződményeinek analógiái a szerbiai Jardar-blokkban és a bosznia-hercegovinai Sana-Una egységben található, így magának a Bükknek a származási helyét a kettő között kereshetjük (Filipović és társai, 2003).

A bükki középső-felső triász vulkanitok és vulkanoklasztitok három rétegtani szintben helyezkednek el (nem számítva a Vesszősi Formációba ékelődött Létrási Metabazalt Formációt): 1.) alsó ladini Szentistvánhegyi Metaandezit Formáció; 2.) felső ladini–alsó karni Bagolyhegyi Metariolit Formáció és 3.) felső karni Szinvai Metabazalt Formáció (Less és társai, 2005). Érdekesség, hogy mindhárom formációhoz kapcsolódik bórászvány-képződés: 1.) a hámosi Puskaporoson kibúvó vörös lávakőzet kvarcos ereiben jelentéktelen mennyiségben szürkés-kék drávit található; 2.) a bükkszentlászlói Hideg-víz patak által feltárt préselt metariolittufa kvarcos-földpátos teléreiben itt-ott jelentősnek mondható mennyiségben sörl jelenik meg (Fehér, 1998-99, 2015b); 3.) a lillafüredi Y-tárónál a metabazalt kvarcos-kalcitos ereiben axinit-(Fe) (korábbi nevén ferroaxinit) került kimutatásra (Szakáll és Földvári, 1995; Ozdín és Szakáll, 2014). Mivel a harmadik képződményben található boroszilikát nem tartozik a turmalinfőcsoportba, annak tárgyalása nem témája dolgozatomnak.

7.2. A Szentistvánhegyi Metaandezit Formációhoz kapcsolódó turmalinképződés

7.2.1. Rövid kőzettani áttekintés

A bükki középső-felső triász vulkanitok kőzettani vizsgálatát nagy részletességgel Szentpétery (1929, 1931, 1934a, b, 1935, 1936, 1952) végezte el. Számtalan kőzettani és

ásványtani adattal gyarapította ismereteinket, precíz megfigyelései azóta is a legaprólékosabb leírását adják a Bükk keleti része vulkanitjainak. Ugyanakkor – mint arra Pantó G. (1951) is rámutatott – a temérdek aprólékos megfigyelés és a számtalan, különféle nevű kőzetváltozat részletes leírása ellenére a magmás kőzetek földtani helyzetéről – földtani térképek és szelvények hiányában – Szentpétery kevés adatot szolgáltatott.

A *Szentistvánhegyi Metaandezit Formáció* Balogh (1964) munkájában „középső-anisuzsi eruptív összlet” megnevezés alatt szerepel. Az általa adott leírás szerint az összlet 250 m vastag, változatos felépítésű, epizonális metamorfózist szenvedett rétegvulkáni sorozat. Szerinte a legalsó szinten főleg szórt anyagból álló rész ismerhető fel. Erre későbbi tektonikus hatásokra feldarabolódott, főleg vörös színű „porfiritből” (andezitből-dácitból) álló lávatest települ. A vulkáni működés tufaszórással záródott. A szórt anyagban a durva bomبákat tartalmazó agglomerátumtól a legfinomabb vulkáni tufáig mindenféle szemnagyság megtalálható. A vonulat fekvő és fedő részein erősen préselt, palás, átalakult tufafajták foglalnak helyet, a beljebb eső tufapadok viszont alig szenvedtek metamorfózist.

Less és társai (2005) a formációt a fekvő (anisuzsi Hámori Dolomit Formáció) és a fedő (ladini Fehérkői Mészke Formáció) alapján az alsó ladiniba helyezik. A kőzetek szerintük a külső selfen, karbonátos plató környezetben lejátszódott magmatizmus termékei, melyek részben szárazulati, részben víz alatti felhalmozódásúak. A formáció rétegtanilag legjobban lehatárolható előfordulása az Északi-Bükkben a diósgyőri Mély-völgytől a Nagy István-erősség tartó mintegy 20 km-es, összefüggő, rétegsorba települt vonulat. A 7.1. ábra térképén a képződmény 18-as számmal szerepel.

7.2.2. A felsőhámori Puskaporos turmalinja

A lillafüredi Fehér-kőn a Szentistvánhegyi Metaandezit Formációhoz köthető kvarcos érköltésekből már Szentpétery (1934a, 1935) is említett turmalint, bár részletes leírást nem közölt az ásványról. Ettől kb. 1 km-re ÉK-re, a felsőhámori Puskaporos Mély-völgyre lejtő DK-i oldalában Lévai Zsolt (Miskolc) gyűjtéséből ismét előkerültek turmalinok (lásd a 7.1. ábra A-val jelölt pontját), mely a mostani vizsgálat tárgyát képezték. Ezek a turmalinok a vörös színű, tömör metaandezit lávakőzet egyik kvarcos erében jelentek meg. A mély-völgyi anyagközetről (mint „lila porfirit”) Less és társai (2005) közöltek kémiai elemzést: SiO₂ 56,7; TiO₂ 1,62; Al₂O₃ 21,1; Fe₂O₃ 4,35; FeO 0,56; MnO 0,016; CaO 2,70; MgO 0,96; Na₂O 4,44; K₂O 3,67; +H₂O 3,25; CO₂ 0,33; P₂O₅ 0,163 t%. Ha az elemzést ábrázolnánk a SiO₂ – (Na₂O + K₂O) (TAS) diagramban, akkor ez a „lila porfirit” a trachandezit mezejébe esne. Azonban

Németh Norbert szerint (szóbeli közlés) a kőzet metasomatózison esett át és az eddigi vizsgálatok arra utalnak, hogy mészkáli jellegű sorozatról van szó, a legvalószínűbb protolit tehát a bazaltos andezit vagy az andezit.

A kvarcér turmalinjai makroszkóposan szürke színű, binokuláris mikroszkópban már szürkés-kék, apró (rendszerint mm alatti vagy annál alig nagyobb) foltokat alkotnak (7.2/A. ábra). Maga a kvarcér egyébként egy vetőfelület is, melynek mentén tektonikus hatásra a metaandezit megcsúszott; ezt a kvarcrétegen jól látható barázdáltság jelzi, s ezek a vetőkarok a turmalinon is áthúzódnak, tehát a kvarcér a vető menti elmozdulás előtt vagy azzal egy időben képződött.

A kvarcos erekben a turmalinon kívül még epidot, plagioklász (albit), klorit és Fe-oxid figyelhető meg. Az epidot kétféle formában jelenik meg: 1.) oszlopos, gyakran hajlott kristályokként (7.3/A. ábra); 2.) aprókristályos, pórusos szerkezetű halmazokként (pumpellyit?), melyeket mintha kvarc emésztene fel (7.3/B. ábra). Az epidotról készült kémiai elemzések a 7.1. táblázatban láthatók. Egyes helyeken az epidot és klorit összenövése is megfigyelhető (7.3/C. ábra). A klorit a kémiai elemzések szerint (7.2. táblázat) Al- és Mg-gazdag chamosit. A plagioklász finomszemcsés halmazokat alkot a kvarcban, közöttük néhány μm hosszú Fe-oxid lécekkel, melyek ásványtani meghatározása nem történt meg. A plagioklászok összetétele szűk határok között mozog (7.3. táblázat): Ab = 96,0–99,1; An = 0,9–4,0; Or = 0–0,4 mol%.

A visszaszórtelektron-képen jól látszik, hogy a turmalin rostos-finomkristályos halmazokat alkot a kvarcban (7.2/B. ábra). Emiatt jól polírozott felületet nem is sikerült készíteni a példány turmalinos részéből, mivel az ásvány a csiszolás-polírozás során kipergett a mintából, s az elektronképen bemélyedések jelzik a helyét. A mélyedések alján azonban még turmalin van, melynek felülete egyenetlen, így nem ideális elektronmikroszkopos elemzések készítéséhez. Emiatt erről a turmalinról hullámhosszdiszperzív spektrométeres mérések nem, csak energiadiszperzív elemzések készültek (7.4. táblázat). Bár az így kapott adatok erősen tájékoztató jellegűek, az elemzésekből számoltam képleteket, melyekből néhány következtetést is levontam.

A turmalin X-pozíciójában a domináns kation a Na, mennyisége 0,77 és 0,82 *apfu* között változik. A vakanciák mennyisége is számottevő (0,13–0,20 *apfu*), a Ca-tartalom viszont nem jelentős (0,02–0,04 *apfu*). Az EDS-elemzés némi K-tartalmat is mutatott (0–0,02 *apfu*), de ez akár elemzési hiba is lehetett. Mindezek alapján a felsőháromori Puskaporos turmalinja az alkáliturmalinok csoportjába tartozik (7.4. ábra).

A *T*-pozíciót szinte teljes egészében Si tölti be (5,95–5,99 *apfu*), az Al beépülése jelentéktelen (0,01–0,05 *apfu*), ugyanakkor a *Z*-pozícióban egyedül Al jelenik meg. Az *Y*-pozíció a legtöbb turmalinhoz hasonlóan vegyes betöltésű. Dominál az Mg (1,58–1,61 *apfu*), kisebb mennyiségű a Fe^{2+} (0,90–0,94 *apfu*) és az Al (0,35–0,38 *apfu*). A Ti és a Mn mennyisége jelentéktelen, a kimutatási határ körül mozog. Mivel EDS-sel a fluortartalmat nem tudjuk mérni akkor, ha az ásvány vasat is tartalmaz (a fluor $K\alpha$ -csúcsa 0,677 keV-nél és a vas $L\alpha$ -csúcsa 0,7 keV-nél gyakorlatilag átfed), ezért azzal a feltételezéssel éltem, hogy a *V* + *W* pozíciókat teljes egészében OH tölti be (lásd a 7.4. táblázatot), így azt nem lehet eldönteni, hogy turmalinunk a *W*-pozícióban OH- vagy F-domináns-e. Az OH-dominanciát – annak gyakorisága miatt – csak feltételezni lehet. Mindezek alapján a hámori Puszkaporos turmalinja a *drávit* ásványfajt képviseli (7.5. ábra).

Abból a célból, hogy a turmalin szerkezetileg is teljes bizonyossággal meg legyen határozva, az ásványról Gandolfi-kamerás röntgen-pordiffrakciós felvétel készült, melynek adatsora a 7.5. táblázatban látható. Összehasonlítás végett a táblázatban feltüntettem az ICDD 00-085-1814 számú drávit-kártya megfelelő reflexióinak adatsorát is. A hámori turmalinra a röntgen-pordiffrakciós adatokból rácsállandókat számoltam, ezek: $a = 15,978(7) \text{ \AA}$; $c = 7,203(4) \text{ \AA}$; $V = 1592(1) \text{ \AA}^3$. A kapott rácsállandók jó egyezést mutatnak a szakirodalomban a drávitra közölt értékekkel (7.6. ábra).

Mint arról a 3.4. alfejezetben már volt szó, a sörl-drávit-sorozatban a rácsállandókból tapasztalati képletek útján számolni lehet az $\langle Y-O \rangle$ és $\langle Z-O \rangle$ átlagos kötéshosszakat, ezekből pedig az Mg és Al eloszlását az *Y*- és *Z*-pozíciók között (Bosi és Lucchesi, 2004; Ertl és társai, 2010). Ha így teszünk, akkor az $\langle Y-O \rangle = (a - 13,045)/1,437 = 2,041 \text{ \AA}$, illetve $\langle Z-O \rangle = (c - 0,886)/3,272 = 1,931 \text{ \AA}$. Utóbbi adatból a *Z*-pozícióban lévő Mg mennyisége számolható: $Z\text{Mg} = 49,697\langle Z-O \rangle - 94,845 = 1,12 \text{ apfu}$. Ez nagyon magas érték, mely a magnézium és az alumínium *Y*- és *Z*-pozíciók közti rendezetlen eloszlásra utal. Így ha a 7.4. táblázatban a kationokat úgy osztanánk el, hogy 1,12 *apfu* Mg a *Z*-pozícióba kerüljön, vagyis mindegyik oszlopban $Z = 4,88 \text{ Al} + 1,12 \text{ Mg}$, akkor az *Y*-pozícióban értelemszerűen az Mg mennyisége 1,12 *apfu*-val csökkenne, míg az Al mennyisége ugyanennyivel nőne. A végeredmény egy érdekes pozícióbetöltést eredményezne *Y*-ban, mivel a három fő kation mennyisége így alakulna csökkenő sorrendben: $\text{Al} = 1,45\text{--}1,50$, $\text{Fe}^{2+} = 0,90\text{--}0,94$ és $\text{Mg} = 0,46\text{--}0,49 \text{ apfu}$.

A drávitokat általában barna vagy fekete színű turmalinoknak tartják, a kék szín inkább a Li-tartalmú turmalinokra (pl. elbaitokra) jellemző (lásd pl. Deer és társai, 1997). Drávitok esetében a kék megjelenés tényleg elég ritka, azonban ilyen színben is számos helyről leírták

már (lásd a 7.4. alfejezetet). A kék szín a deformált oktaédes pozíciókban lévő Fe^{2+} spinengedélyezett kristálytér átmeneteivel van kapcsolatban, míg a gyakori vegyértékközi töltésátvitel átmenetek ($\text{Fe}^{2+} - \text{Ti}^{4+}$, $\text{Fe}^{2+} - \text{Fe}^{3+}$) a barna és a vörösesbarna színekért felelősek. A magas Fe^{3+} -és Ti^{4+} -tartalom okozza a Fe-gazdag turmalinok sötét (makroszkóposan fekete) színét (lásd pl. Bačík és társai, 2012). Mivel a háromi drávit Ti-tartalma elhanyagolható, viszont jelentős mennyiségben tartalmaz Fe^{2+} -ot, a szürkés-kék színe minden bizonnyal a Fe^{2+} kristálytér-átmeneteinek az eredménye, azzal kiegészítve, hogy egyéb kromofór elemeket csak korlátozott mennyiségben tartalmaz.¹

7.3. A Bagolyhegyi Metariolit Formációhoz kapcsolódó turmalinképződés

7.3.1. A befogadó közettest rövid áttekintése

A Bükkszentlászló és Bükkszentkereszt közötti területet a Bagolyhegyi Metariolit Formációba sorolt, késő ladin–kora karni korú (középső és felső triász határa²), fakó szürkés-zöld színű, lemezesre préselt, palásodott metariolit és tufája építi fel (Less és társai, 2005), mely kistökű, pumpellyit-prehnit-kvarcfáciesű regionális metamorfózison esett át (Árkai, 1973, 1983). Ez a közettest zöld színnel (17. képződmény) van jelölve a 7.1. ábrán. Újabb kutatások alapján azonban a formáció felszíni kiterjedése ennél jóval kisebb, s a térképen jelölt 17. képződmény nagyobb része a Szentistvánhegyi Metaandezit Formációba tartozik (Németh és Gál, 2018). Azt is meg kell jegyeznünk, hogy a formáció litosztratigráfiai besorolása időnként változott, korábban az Óhutai Diabáz Formációba (Balogh, 1980), majd feltételeesen a Szentistvánhegyi Metaandezit Formációba is sorolták (Szoldán, 1993). A teljes közeten mért K/Ar radiometrikus koradatok 95 és 104 millió év között szórnak, melyek azonban nem a tufaszórás, hanem egy metamorfózishoz tartozó „hőtörténeti esemény” idejét adják meg (Árváné Sós és társai, 1987), amely így valószínűleg a késő kréta ausztriai orogenezissel lehetett kapcsolatban (Szoldán, 1990). Az újabb radiometrikus koradatok kicsit későbbre, 77–82 millió évesre datálják a metamorfózis korát (Árkai és társai, 1995).

A palásodott riolittufában kvarcból és albitból álló, vitatott (talán nem is egységes) eredetű repedéskitöltések (telérek) jöttek létre. A turmalin megjelenése ezekhez a telérekhez

¹ A kristálytérrelméletről, illetve ásványtani vonatkozásairól bővebben lásd: Burns (1993). Összefoglaló jellegű magyar nyelvű irodalom: Lázár (2004).

² Az eredeti magmás korokat megőrző cirkonokon végzett újabb U/Pb-kormeghatározás alapján a metavulkanit $246,7 \pm 1,9$ millió éves (kora triász vége), így idősebb, mint a Szentistvánhegyi Metaandezit Formáció metavulkanitja, amely $240,3 \pm 1,3$ millió évesnek adódott (Gál és társai, 2018).

kapcsolódik. Bár a talajtakaróval és növényzettel való fedettség jelentős, a kőzettestet a Hősök-forrásától induló Hideg-víz patak medrében, törmelékből gyűjtött anyagon jól tanulmányozhatjuk. A vizsgált mintáim a 7.1. ábra B-vel jelölt területéről származnak. Az itteni turmalinok megjelenésüket tekintve két csoportra oszthatók: 1.) fekete, rostos erek és fészkek, illetve oszlopos kristályok a kvarc-földpát-telérekben; 2.) fekete, finomszemcsés kötőanyag a breccsásodott telérekben. E két típus turmalinjait külön alfejezetekben tárgyalom.

7.3.2. Oszlopos turmalinkristályok, illetve rostos erek és fészkek a kvarc-földpát-telérekben

Ezeket a turmalinokat Fehér (1998-99) vizsgálta részletesen. A bükkszentlászlói turmalin makroszkóposan fekete színű, általában mm alatti hosszúságú, maximum 2 mm-es tűs-szálak kristályokból álló, 1–2 cm-es fészkeket, illetve akár dm-es ereket alkot a kvarc-földpát-telérekben (7.7. ábra). Ezek a fészkek bársonyos, selymes fényűek. Egy ilyen fészket közelebbről megvizsgálva látható, hogy benne a turmalinszálak orientáltan helyezkednek el. Más esetekben a tűs kristályok különállóan, néha sugaras elrendeződésben jelennek meg a kvarcban. Fontos megjegyezni, hogy a turmalin előfordulása ezekre a kvarc-földpát-telérekre korlátozódik, a mellékkőzetben, vagyis a préselt riolittufában már nem található meg (7.8. ábra).

A turmalinos mintáról mikroszkópi vékonycsiszolat is készült. A *c*-tengellyel párhuzamos metszetekben a turmalinra jellemző hosszúprizmás kristályok mutatkoznak, melyek mért maximális hossza 2,1 mm. A kristályokon jól láthatók a {0001} lappal közel párhuzamos, szabálytalan lefutású harántrepedések. Ebben a metszetben a turmalin erős pleokroizmust mutat, mely a vasban gazdag turmalinokra jellemző: a *c*-tengellyel párhuzamosan világos drappsárga, míg a melléktengelyek irányában sötét kékeszöld vagy zöldeskék, a vastagabb metszetekben majdnem fekete színű. A kristályok színzónásságot nem mutatnak, kioltásuk egyenes. A *c*-tengelyre, azaz a kristályok megnyúlására merőleges metszetek a turmalin trigonális szimmetriájának megfelelően háromszög vagy ditrigon körvonalúak. A kristályok vastagsága általában 0,03–0,06 mm között van, de legföljebb 0,12 mm-esek. Ebben a metszetben a turmalin zöld színű, pleokroizmus és színzónásság nem észlelhető (Fehér, 1998-99).

A turmalinról készült visszaszórtelektron-képeken jól látszik az ásvány kémiai zónássága (Tur1), valamint a kristályok megnyúlására merőleges törések mentén egy új turmalin-generáció (Tur2) képződése. Az elsődleges turmalinkristályok (Tur1) kémiai zónássága a

megnyúlással párhuzamosan fejlődött ki (7.9/A. ábra), ami a c -tengelyre merőleges metszetben szektorzónásságban nyilvánul meg (7.9/B. ábra). A rostos aggregátumokról készült felvételeken az egyes kristályok elkülönítése nem egyszerű (7.9/C. ábra), ugyanakkor a képeken a másodlagos turmalinerek szubparalel lefutása jól követhető. Így a kristályok c -tengelye ezekre az erekre merőleges. A turmalinok képződése után ható tektonikai hatások jól láthatók egyes kristályok feldarabolódásában (7.9/D. ábra), illetve meghajlásában (7.9/E. ábra).

A bükkszentlászlói turmalinokról készült elektronmikroszondás elemzések a 7.6. táblázatban láthatók. Ezek alapján az ásvány kristálykémiai viszonyait a következőképpen foglalhatjuk össze. Tur1-ben az X -pozíció mindig Na-domináns (Na = 0,77–0,85 *apfu*), a vakanciák mennyisége is jelentős (0,09–0,21 *apfu*), a Ca-tartalom viszont nem számottevő (0,02–0,07 *apfu*). Így az elsődleges turmalin az alkálicsoportba tartozik (7.4. ábra). A másodlagos turmalinban (Tur2) a Tur1-hez képest megnő a vakanciák száma (0,39–0,56 *apfu*) a Na rovására (0,42–0,60 *apfu*), egyes mérési pontokban a vakanciák dominálják az X -pozíciót. Emiatt a Tur2 átmenetet képez az alkáli és az X -kationban hiányos turmalinok között (7.4. ábra).

A Tur1 T -pozícióját teljes egészében Si tölti ki, a Si-tartalom 5,99 és 6,07 *apfu* között változik a 31 anionra számolt képletben. Az itt lévő csekély Si-felesleg származhat mérési hibából, illetve a képletszámítás módjából is. Ezért ezeknél az elemzéseknél 6 Si kationra is számolhatnánk a képletet, hiszen akkor a T -pozícióban hibátlan eredményt kapnánk. Mindezek igazak a Tur2-zónára is, ott is a T -pozícióban lényegében teljes Si-betöltöttséggel számolhatunk (Si = 5,96–6,03 *apfu*).

Mint az a visszaszórtelektron-képeken is látható (7.9. ábra), kémiailag a Tur2 sokkal homogénebb a Tur1-nél, s emiatt a többi pozícióban az egyes elemek a Tur1-ben nagyobb szórással mutatkoznak. Ez már a Z -pozícióra is igaz. Míg a Tur2-ben ezt teljes egészében Al tölti be, addig a Tur1-ben az Al mennyisége 5,61 és 6,00 *apfu* között változik, így itt a Mg beépülése is számottevő lehet (max. 0,39 *apfu*).

A visszaszórtelektron-képen a Tur1-ben megfigyelhető karakterisztikus kémiai zónásság főleg az Y -pozícióban működő $\text{Fe}^{2+} \leftrightarrow \text{Mg}$ helyettesítésből ered. Bár mindegyik elemzési pontban vasdominancia mutatkozik, a Fe^{2+} és az Mg mennyisége is elég tág határok között változik egymás rovására ($\text{Fe}^{2+} = 2,07\text{--}2,55$ *apfu*; Mg = 0,36–0,79 *apfu*). Ugyanakkor az Al- és Mn-tartalom minden mérési pontban alacsony (rendre max. 0,03 és 0,07 *apfu*), a Ti-tartalomban viszont már jelentősebb ingadozás mérhető (0,01–0,14 *apfu*). A legmagasabb Ti-tartalmak a Tur1 vasban gazdagabb részeiben észlelhetők. Mindezek alapján a Tur1 a *sörl*

ásványfajt képviseli (7.5. ábra). Tur2-ben a Fe^{2+} és az Mg mennyisége már sokkal kevésbé szór (lásd a 7.5. ábrát): $\text{Fe}^{2+} = 1,65\text{--}1,81 \text{ apfu}$, $\text{Mg} = 0,69\text{--}0,78 \text{ apfu}$. Itt is mindegyik mérési pontban a vas dominálja a pozíciót. Az $^{\text{Y}}\text{Al}$ mennyisége a Tur1-hez képest lényegesen magasabb ($0,42\text{--}0,52 \text{ apfu}$), köszönhetően a vakanciák sokkal nagyobb számának az X-pozícióban. A Ti- és az Mn-tartalom minden mérési pontban elhanyagolható. A leírtak alapján a Tur2 fajszintű besorolása a következő: az Y-ban lévő vasdominancia miatt azokban az elemzési pontokban, ahol a $\frac{\square}{\square + \text{Na}} < 0,5$, a turmalin a *sörl* fajt képviseli, $\frac{\square}{\square + \text{Na}} > 0,5$ esetében pedig *foitit* határozható meg (7.5. ábra). Ez nincs ellentmondásban azzal a megfigyeléssel, hogy a Tur1 kémiai kontrasztja a visszaszórtelektron-képeken számottevőbb, hiszen azt főleg a $\text{Fe}^{2+} \leftrightarrow \text{Mg}$ helyettesítés okozza (a 7.5. ábrán a vízszintes tengely menti eltérés), míg a $\text{Na} \leftrightarrow \square$ helyettesítés (a 7.5. ábra függőleges tengelye mentén) a Na kis relatív atomtömege miatt nem mutat számottevő kontrasztot ezeken a képeken. Így a Tur1 erősebb kémiai zónássága ellenére egy ásványfajt képvisel, míg a Tur2 látszólagos homogenitása ellenére kettőt.

Minden elemzési pontban a fluor mennyisége a detektálási küszöb környékén mozog, így a W-ben domináns anion az OH, tehát mindkét generáció a hidroxil-sorozatba tartozik.

A bükkisztvási turmalinról röntgen-pordiffrakciós felvétel is készült, melynek adatai a 7.7. táblázatban láthatók. A felvételen megjelenő, kis intenzitású kvarc- és albitcsúcsokat a táblázat nem tartalmazza. A kapott adatokból a turmalinra számolt rácsállandók: $a = 15,996(7) \text{ \AA}$, $c = 7,222(5) \text{ \AA}$ és $V = 1600(1) \text{ \AA}^3$ (7.6. ábra). Ezek az eredmények jó egyezést mutatnak Fehér (1998-99) korábbi adataival, melyek ugyanennek a lelőhelynek egy másik mintájáról, de egy lényegesen elavultabb röntgen-diffraktométerrel készültek: $a = 16,00 \text{ \AA}$, $c = 7,23 \text{ \AA}$. Mint azt Fehér (1998-99) megjegyezte, a kapott értékek közelebb állnak az irodalomban a drávitra közölt adatokhoz, bár ez inkább csak a „c” rácsállandóra igaz, ami magasabb, mint a sörlre általában közölt értékek (lásd pl. Deer és társai, 1997: $a = 15,93\text{--}16,03 \text{ \AA}$, $c = 7,12\text{--}7,19 \text{ \AA}$). A nagy „c” rácsállandó megnövekedett <Z-O> kötéshosszra utal, amely Bosi és Lucchesi (2004) egyenletéből számolva: $\langle \text{Z-O} \rangle = (c - 0,886)/3,272 = 1,936 \text{ \AA}$. Ebből pedig a Z-pozícióba, az Al helyére beépülő jelentősebb mennyiségű Mg (+ Fe^{2+} ?) jelenlétére következtethetünk.

7.3.3. Turmalin kötőanyagú breccsa

A préselt riolituffában megjelenő kvarc-földpát-telérek bizonyos helyeken breccsásodtak, a szögletes fragmentumokat pedig finomszemcsés, fekete turmalin cementálta (7.10.

ábra). Ezeket a turmalin kötőanyagú breccsákat ez ideig csak törmelékben sikerült megfigyelni, így laterális kiterjedésükről nincsenek adataink. Az eddig talált mintákban a breccsásodott zóna vastagsága legfeljebb 5 cm volt. A breccsát alkotó törmelékek mérete nagyon változatos. A legnagyobb klaszterek meghaladhatják az 1 cm-t, míg a legkisebbek mikroszkopikus (tized mm alatti) méretűek.

A breccsásodott kvarc-földpát-telérek fő alkotói a kvarc és a K-földpát (ortoklász), a Na-földpát (albit) mennyisége kevésbé számottevő. Járulékos komponensként még fluorapatit fordul elő, illetve a káliföldpát szericitesedése útján muszkovit is létrejött. A turmalin-kötőanyag képződési idejéhez képest a K-földpátoknak három generációja különíthető el (7.11. ábra): 1.) pregenetikus, vagyis a turmalinnál idősebb K-földpátok: ezek az eredeti kvarc-földpát-telérek alkotói (káliföldpát-I); 2.) szingenetikus, vagyis a turmalinnal egyidős K-földpátok: ezek a turmalinnal együtt váltak ki a breccsában és így a cementanyag felépítésében vesznek részt (káliföldpát-II); 3.) posztgenetikus, vagyis a turmalinnál fiatalabb K-földpátok: ezek a breccsát utólag átszelő, kvarcos-földpátos erek káliföldpátjai (káliföldpát-III).

Meg kell jegyezzük, hogy a II. káliföldpát-generációt két részre oszthatjuk: a.) a breccsásodott zónák szegélyén megjelenő, metasomatikus jellegű K-földpát (káliföldpát-IIa); b.) a kötőanyagban a turmalinnal keveredve megjelenő K-földpát (káliföldpát-IIb). A káliföldpátok mindhárom generációjáról készültek kémiai elemzések, melyek a 7.8. táblázatban láthatók. Mint az alacsony hőmérsékleten képződött káliföldpátok esetében várható volt, az összetételük nagyon közel esik az ortoklász ideális képletéhez, az Or-komponens részaránya 95,5–98,9% között változik. Így az egyes generációk összetételében különbségek nem mutathatók ki. Ugyanígy a Na-földpát is lényegében tiszta albitnak minősíthető.

A kötőanyagot alkotó turmalin fekete színű, rendkívül finomszemcsés anyag. Az egyes kristallitok még optikai mikroszkóp alatt sem különíthetők el, így méretében nagyon különbözik az előző alfejezetben leírt, fészkekben, illetve repedésekben megjelenő, oszlopos, akár 2 mm-es hosszúságot is elérő turmalinkristályoktól. Polarizációs mikroszkópban zöld színű (7.12. ábra), a zöld különböző árnyalataiban megfigyelhető pleokroizmust mutat. Keresztezett nikolállásnál a kis szemcseméret miatt előálló halmazpolarizáció következtében foltos megjelenésű.

A cementanyag visszaszórtelektron-képén azt láthatjuk, hogy a turmalin kémiai inhomogenitásokat nem mutat (7.13. ábra). Ezt megerősítik a 7.9. táblázatban lévő kémiai elemzések, melyek viszonylag szűk tartományban mozognak. Az elemzési adatokból a breccsacementként megjelenő turmalin kristálykémiajáról az alábbiak állapíthatók meg.

Az *X*-pozícióban a nátrium a domináns kation, mennyisége 0,66–0,75 *apfu* közötti. Jelentős a betöltetlen pozíciók (vakanciák) száma is, mely 0,22–0,31 *apfu* értéket mutat, elenyésző (0,03–0,05 *apfu*) Ca-tartalom mellett. Ez alapján a bükkszentlászlói turmalin az alkálicsoportba tartozik (7.4. ábra). A *T*-pozícióban – a rostos turmalinhoz hasonlóan – kizárólag Si található, némely elemzésben még némi Si felesleg is mérhető. Ez ugyanúgy magyarázható, mint az előző minta esetében. A *Z*-pozíciót pedig teljes egészében Al tölti be.

Az *Y*-pozícióban a domináns kation a Fe^{2+} , melynek mennyisége 1,69–1,86 *apfu* között változik. Az összes vasat két vegyértékkel vettük figyelembe, amit alátámaszt a turmalin vékonycsiszolatban látható zöld színe is. Nagyobb részarányban még Mg (0,89–0,99 *apfu*), kisebb mennyiségben pedig Al (0,06–0,17 *apfu*) épült be erre a szerkezeti helyre. A Ti (0,02–0,05 *apfu*) és az Mn (0–0,04 *apfu*) mennyisége nem számottevő. Az *Y*-pozíció betöltöttsége az ideális 3-nál legtöbbször kisebb, 2,76 és 3,00 *apfu* között változik. Mindezek alapján a breccsát cementáló turmalin a *sörl* ásványfajt képviseli (7.5. ábra).

A *V* és *W* anionpozíciókat együtt vesszük figyelembe. Itt lényegében a fluor mérése történik, mely elenyésző mennyiségben (0–0,03 *apfu*), a detektálási határ küszöbén lett kimutatva a turmalinban, tehát az ásvány a hidroxisorozatba tartozik.

Szerettem volna a turmalinról röntgen-pordiffrakciós felvételt készíteni, azonban ez az ásvány olyan finoman hálózza be a breccsát, hogy tiszta fázist nem tudtam belőle szeparálni. Magáról a közetről azonban készült röntgen-felvétel, melyet a 7.14. ábrán láthatunk. A felvétel érdekessége, hogy a breccsa olyan részéből sikerült mintát preparálni, melyben az egyébként gyakori földpát nem volt kimutatható mennyiségben jelen, viszont az átalakulásból képződött szericit (finomszemcsés muszkovit) már igen. Így a röntgen-felvételen három fázis jelenlétét dokumentáltam, ezek: kvarc, *sörl* és muszkovit (7.10. táblázat). Mivel a mintában a domináns fázis a kvarc volt, ezért a relatív intenzitások értékei a kvarcnál mutatnak jó egyezést az ICDD referenciaadatokkal, a *sörl* és a muszkovit esetében azonban jóval kisebbek, mert ezek csúcsintenzitásai a kvarc 100-as csúcsához vannak viszonyítva.

A kapott röntgen-adatokból a UnitCell programmal (Holland és Redfern, 1997) kiszámoltam a turmalin rácsállandóit. Mivel a röntgen-diffraktogramon a kvarcnak és a muszkovitnak vannak átfedő csúcsai a *sörl*lel, ezért a rácsállandó számításához 19 reflexiót használtam fel. Nem vettem számításba a kvarccal átfedésben lévő 4,25 és 1,543 és 1,383 Å-ös reflexiókat. A *sörl* így kapott rácsállandói: $a = 15,98(1) \text{ \AA}$, $c = 7,194(6) \text{ \AA}$; az elemi cella térfogata: $V = 1590(2) \text{ \AA}^3$ (lásd a 7.6. ábrát).

7.4. Diskusszió

A Szentistvánhegyi Metaandezit Formáció alsó részén, a tömeges megjelenésű, vörös metaandezit rideg nyírési felületein gyakran jelennek meg vékony (néhány mm vastag), színtelen kvarcerek, melyeket a hidrotermás fluidumcirkuláció bizonyítékainak tekinthetünk. Egy ilyen érben, a felsőhámori Puskaporos oldalában, a Mély-völgy felé eső részen szürkés-kék turmalin került kimutatásra, amely a kémiai elemzések alapján drávitnak bizonyult. A turmalin szálas formája és alacsony Ca-tartalma gyors, nem egyensúlyi kristályosodást jelez egy Na-gazdag fluidumból. Az összetétel azonban magyarázatra szorul, hiszen a magmás eredetű turmalinok általában vasdominánsak (Benard és társai, 1985). Ha a turmalint létrehozó hidrotermás oldat kizárólag a magmából származna, akkor ez lenne várható a felsőhámori minta esetében is, lévén, hogy a metaandezit kémiai összetételéből számolt molekuláris $\text{FeO}_{\text{tot}}/(\text{FeO}_{\text{tot}} + \text{MgO})$ arány 0,72. Ezzel szemben a kék drávitban a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})$ atomarány 0,36–0,37 (lásd a 7.5. ábrát). Mindez arra utal, hogy a turmalint létrehozó hidrotermás oldat kémiai komponensei közül legalább a Mg egy részének valamilyen külső forrásból kellett származnia. Ezt támasztja alá a nemzetközi szakirodalom is, mivel a kék drávitok szinte mindenhol Mg-ban gazdag kőzetben elhelyezkedő magmatitokban vagy metamorfítokban jelennek meg: pl. dolomit-kalcit márványba és szerpentinitbe nyomult pegmatitokban a Moldanubikumban (Novák, 1998 és hivatkozásai), illetve Lengyelországban (Piecza, 2007), vagy dolomitmárványban lévő plagioklász-muszkovit-szkapolit-metaevaporitban (Prosetin, Csehország: Bačik és társai, 2012).

A bükki kék drávit esetében a magnézium forrásának legkézenfekvőbb magyarázata a metaandezit fekvésében, illetve a formáció alján felszakított tömbökként megjelenő dolomit. A hidrotermás oldat Mg-tartalmának dolomitból való származtatása ellen szólhat a kék drávit nagyon alacsony Ca-tartalma ($\text{CaO} = 0,13\text{--}0,23\text{ t\%}$). Ugyanakkor a kvarcos erekben a turmalin mellett – bár nem közvetlen érintkezésben – megjelenik egy Ca-gazdag ásvány, az epidot, mely a turmalin képződéséhez feleslegben lévő kalciumot felhasználhatta.

A kék drávit összetétele az AFM-diagramban (7.15. ábra) a 4. mezőbe esik, amely Al-telített fázissal koegzisztens metapélites-metapszammitos forráslitológiára utal (Henry és Guidotti, 1985). Ez a hámori turmalin földtani helyzete miatt teljesen valószínűtlen, ugyanakkor alátámasztani látszik a fent vázolt kevert magmás-karbonátos elméletet. Ha a turmalint létrehozó oldat kationtartalma teljes egészében magmás eredetű lett volna, akkor az ásvány kémiája a 2. mezőbe, ha pedig karbonátos, akkor a 8. mezőbe kerülne. A két rezervoár ka-

tionjainak keveredése okozhatta azt, hogy a bükki kék drávit összetétele a 2. és 8. mező közé, vagyis a 4. mezőbe esik.

A *Bagolyhegyi Metariolit Formáció* préselt riolittufájában megjelenő kvarcos-albitos telérek (fészkek?) eredetéről a szakirodalomban megoszlanak a vélemények. Tekintették őket pegmatitoknak (Szentpétery, 1931, 1952), valamint metamorf (Kubovics és társai, 1989) és hidrotermás eredetűnek (Szabó és Vincze, 2013) egyaránt. A vegyes eredet is elképzelhető, vagyis egyes telérek lehetnek pl. pegmatitos, míg mások metamorf keletkezésűek. Kubovics és társai (1989) a lelőhely metamorfizált riolittufájának breccsás zónájában megjelenő foszfátos kitöltések vizsgálatakor e kőzet kialakulásának három szakaszát különböztették meg. Az első a metamorf szakasz, amikor a riolittufát gyenge regionális metamorfózis érte, melyhez kvarcból és albitból álló repedéskitöltések képződése párosult. Ezek a kvarcos telérek analógiát mutatnak az ún. alpi-típusú laterálszekréción repedéskitöltésekkel, melyek a metamorfózis csúcán jönnek létre kollíziós orogén övezetekben, majd képződésük folytatódik a retrográd szakaszban is. Az ilyen kvarc-albit-telérek kialakulásához szükséges elemek (Si, Al, Na, O) a metamorfózis során az anyakőzetből (jelen esetben a riolittufából) szabadulnak fel és a dehidratációs reakciókkal felszabaduló fluidumok segítségével vándorolnak a repedésrendszereken keresztül (Wagner és Cook, 2000). A második szakasz a katalázis, melynek során ezek a kvarcos-földpátos repedéskitöltések erősen deformálódtak, gyűrődtek és elnyíródtak. Ezt a harmadik szakaszban hidrotermás-metaszomatikus átalakulás követte, mely a katalázitokban lévő, véletlenszerűen elhelyezkedő törésrendszerekben kivált, kollomorf fluorapatit képződésével is járt. Ha elfogadjuk az előbbi hármas tagolású keletkezési sort, akkor ebben vajon hová kerül a turmalin kiválása és a kétféle turmalin (rostos-repedéskitöltő, illetve breccsacement) képződése egy időben játszódhatott le?

Nézzük először a rostos turmalinokat. A kőzetben való fészkes-eres elhelyezkedésük, valamint a kvarchoz és albithoz viszonyított sokkal kisebb kristálméretük miatt nehezen elképzelhető, hogy a telérek fő tömegét alkotó ásványokkal egyidősek legyenek. Ugyanakkor sok kristály töredezett, meghajlott (lásd a 7.9/D. és E. ábrákat), tehát képződésük a deformációs szakasz előtt történhetett. A kristályok oszcillációs zónássága arra utal, hogy kiválásuk nem egyensúlyi feltételek alatt történt, illetve, hogy az ásványosító fluidum kémiai összetétele fluktuációt mutatott, elsősorban a Fe- és Mg-tartalmat illetően (jól megfigyelhető ez a kémiai heterogenitás az AFM-diagramon is, a 7.15. ábrán). A 7.8. ábrán látható, hogy a turmalinképződés nem terjedt át a környező riolittufára, vagyis kialakulását nem metaszo-

A turmalin, bár kemény ásvány, gyakran mutat a megnyúlására merőlegesen – lényegében a {0001} szerint – elválást, ami a bükkszentlászlói mintában is megfigyelhető. Ezek a kristályok gyenge pontjai, a kataklázis alatt a turmalinok feldarabolódása e síkok mentén ment végbe. Mivel az erekben, fészkekben a turmalinkristályok nagyjából párhuzamosan rendeződnek, az elválási síkok csatornaként szolgálhattak a későbbi fluidumok számára (lásd a 7.9/C. ábrát). A turmalinok elválási síkok mentén történt átalakulása mindenképpen fluidumáramlással lehet kapcsolatban, mivel az ásvány nagy stabilitása miatt elemdiffúzió másként nem lehetséges ilyen alacsony hőmérsékleten elváltozott kőzetben. Ezek a kései fluidumok Na-ban és Fe-ban is szegényebbek voltak azoknál, melyek az 1. generációs turmalint (Tur1) létrehozták, így a Tur2 *X*-pozíciójában a Na-tartalom jelentősen lecsökkent és az *Y*-ban a Fe/(Fe + Mg) arány is némi csökkenést mutat a Tur1-hez képest. Ezzel párhuzamosan az Al-tartalom számottevő mértékben nőtt. Mindkét generáció magas Si-tartalommal rendelkezik, amit a környező kőzet (kvarctelér) magas Si-tartalma magyaráz.

A bükkszentlászlói turmalin a sörl és a foitit ásványfajokat képviseli, így összetételében a bórt leszámítva a földkéreg leggyakoribb elemei vesznek részt. Ezért, ha az ásványt létrehozó hidrotermás fluidum eredetét akarjuk meghatározni, akkor elsősorban a bór lehetséges forrását kellene megtalálnunk. Jó okunk van azt feltételezni, hogy ez nem más, mint maga a kvarc-földpát-telérek anyagát is szolgáltató befogadó kőzet, vagyis a riolittufa. Bár Kubovics és társai (1989) a kőzetre viszonylag alacsony B-tartalmakat mértek (60–160 ppm), ez a szám a bór nagy mobilitása miatt nem mérvadó, hiszen a riolittufából a metamorfózis során akár jelentős mennyiségű bór szabadulhatott fel és távozhatott anélkül, hogy ennek – a kevés turmalinon kívül – bármilyen nyoma maradt volna. A riolittufában a bórt elsősorban agyagásványok tartalmazhatták és belőlük szabadulhatott fel a kisfokú metamorfózis során. Bár Szabó és Vincze (2013) szerint a riolittufa hintetten 10–20 µm-es turmalinokat is tartalmaz, ezek nem lehettek a bór forrásai, hiszen az Árkai (1983) által az anchizónás metamorfózisra megadott 200–350 °C-os hőmérséklet és az 1,5–3 kbar fluidumnyomás (a zöldpalafácies alja) nagyon kevés ahhoz, hogy a turmalinból a bór felszabaduljon (Henry és Dutrow, 1996).

A turmalin riolitos (= gránitos) összetételű kőzetből való származtatását erősíti meg a Henry és Guidotti (1985) féle AFM-diagram, amelyben a bükkszentlászlói ásványról kapott eredményeket ábrázolva látható, hogy a Tur1 generáció elemzési pontjai a 2. és 3. mezők határára, míg a Tur2 generáció adatai a 2. mezőbe esnek (7.15. ábra; 2 = Li-szegény granitoidok és pegmatitjaik, ill. aplitjaik; 3 = Fe³⁺-gazdag kvarc-turmalin kőzetek).

A turmalin kiválásának csak egyik előfeltétele a megfelelő mennyiségű bór jelenléte. Gránitos (riolitos) összetételű protolit esetében külön gondot jelent a mafikus (ferromagnéziumos) ásványok kis mennyisége, melyek a turmalin képződéséhez szükséges vasat és magnéziumot szolgáltatják. Erre utalnak a Less és társai (2005) által a Bagolyhegyi Metariolit Formációba tartozó, lemezesre préselt, kovásodott metariolit kőzetkémiai adatai, ahol $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,50$; $\text{FeO} = 0,32$ és $\text{MgO} = 0,19$ t%. Ugyanígy a Balogh (1964) által közölt kőzetkémiai elemzési adatokban is a Fe_2O_3 , a FeO és az MgO mennyisége ebben a kőzettípusban rendre 1 t% alatt marad, vagy csak kis mértékben haladja azt meg. Egyes kloritosodott vagy pirittartalmú kőzettípusok bírhatnak ennél nagyobb értékekkel. Mindezek tükrében a területen nagymérvű, jelentősebb volumenű turmalinosodással nem számolhatunk.

A turmalin kötőanyagú breccsák képződésére is elfogadható magyarázatnak tűnik a Kubovics és társai (1989) által leírt fenti hármassorozat. Ugyanakkor azt érdemes megvizsgálni, hogy a breccsásodás tényleg tektonikai hatásra következett be, vagy a hidrotermás oldatok benyomulása váltotta ki? Más szavakkal kifejezve, tektonikus vagy hidrotermás breccsáról van szó?

A fenti kérdés megválaszolásához a turmalin cementanyag rendkívül kicsi szemcsemérete adhatja meg a kulcsot. Bár a tektonika által preformált, zárt törések minden bizonnyal már a breccsásodás előtt jelen voltak a kvarc-földpát-telésekben, a breccsásodás fő okozója az lehetett, hogy a hidrotermás fluidum belső nyomása meghaladta a litosztikus nyomást, s az ún. hidrorepesztés (az angol nyelvű szakirodalomban *hydrofracturing* a folyamat neve) hatására a teléryanag összeroppedezett. A fluidumnyomás emelkedésének számos oka lehet, de leginkább a kőzet alacsony permeabilitása okozza (Jébrak, 1997). Nem véletlen, hogy ilyen hidraulikus breccsák kialakulása az olyan alacsony permeabilitású kőzetekre jellemző, mint pl. a kvarcos-földpátos telések. A hidrorepesztés hatására a repedésrendszerben nyomásesés következett be, így a bór-gazdag, meleg vizes oldat turmalinra hirtelen túltelítetté vált, ami a turmalin nagyon gyors kristályosodását idézte elő. Erre utal a turmalin rendkívül finom szemcsemérete. Ha azonban a breccsásodás tektonikai hatásokra már korábban lezajlott volna, és a bór-gazdag hidrotermás fluidum az ily módon preformált repedésrendszerbe érkezik meg, akkor a turmalin kristályosodásának sebessége sokkal lassabb lett volna és itt is olyan tús-oszlopos sörölket figyelhetnénk meg, mint ugyanezen a lelőhelyen ereken, fészkekben megjelenő turmalin esetében. Emiatt a bükkszentlászlói turmalin kötőanyagú breccsát hidrotermás breccsának tekinthetjük, hangsúlyozva, hogy a tektonika által még a breccsásodás előtt létrehozott, zárt törésrendszerek jelenléte is erősen valószínűsíthető ezekben a kvarcos-földpátos kőzetekben. Egyébként ilyen turmalin kötőanyagú hidrotermás

breccsák világviszonylatban nem ritkák, számos előfordulását ismerjük pl. az Elba-szigeten (Toszkána, Olaszország; Dini és társai, 2008) vagy a Tátrában (Szlovákia és Lengyelország; Gawęda és társai, 2013).

Itt is felmerül kérdésként a turmalinképző hidrotermás oldat eredete, illetve az, hogy a breccsacement és az előzőekben tárgyalt fészkes-eres turmalinok képződése között lehet-e valamilyen genetikai kapcsolat. Annyi kapcsolat minden bizonnyal van, hogy a cementanyag turmalinját létrehozó fluidum oldott iontartalma itt is a riolitos anyakőzetből származhatott, amit az elemzési pontok AFM-diagramban elfoglalt helye is alátámaszt (7.15. ábra). Ugyanakkor az szembetűnő, hogy bár a breccsacement is a sörl fajt képviseli, nincs átfedés a fészkes-eres turmalinok (itt elsősorban a Tur1 generációra kell gondolni) és a breccsacement turmalinjának összetétele között, mint az a 7.5. és 7.15. ábrákból is látható. Ehhez jön még a kétféle turmalin morfológiai különbsége is.

A turmalin kötőanyagú breccsát a későbbiekben is érték még tektonikai hatások, melyet a turmalinos cementanyag némi irányítottsága (lásd a 7.12. ábrát), valamint a breccsát keresztülszelő repedések jeleznek. Ez utóbbiakat kvarc és kálföldpát-III tölti ki.

7.5. Összegzés

A középső-felső triász Szentistvánhegyi Metaandezit és Bagolyhegyi Metariolit Formációkhoz egyaránt kapcsolódik turmalinképződés. Előbbiben volumenében jelentéktelen, kevert eredetű (magma és karbonátos) kék drávit képződését sikerült dokumentálni a felsőhámori Puszkaporoson gyűjtött mintában, míg utóbbiban már jelentősebb mennyiségű sörl, kisebb részben foitit került kimutatásra a bükkszentlászlói Hideg-víz patak medrében. Megjelenését tekintve a bükkszentlászlói turmalin két csoportra osztható: 1.) rostos turmalinos erek, fészkek, tús kristályok; 2.) kriptokristályos breccsacement. Bár e két csoport turmalinjának kémiája a $Fe/(Fe + Mg)^Y - \square/(\square + Na)^X$ diagramban nem mutat átfedést (7.5. ábra), mindkettő komponensei a befogadó préselt metariolitból, metariolittufából származtatható.

8. A nagybörzsönyi turmalin

8.1. Bevezetés

Az egykori nagybörzsönyi ércbányászat több évszázados múltra tekint vissza (Nagy, 1984). Az ércesedés központi részét a Rózsa-hegy alkotja. Ezen a területen két különböző típusú ércesedést ismerünk, az egyik az É-i vagy rózsabányai terület, ahol „tömzsös”, impregnációs arzenopirités-pirrhotos ércesedés, a másik a D-i vagy fagyosasszonybányai és királyréti terület, ahol teléres kifejlődésű galenites-szfalerites ércesedés zajlott le (Nagy, 1978). Az északi, rózsabányai ércesedést kísérő turmalinosodás 1957 óta ismert (Erdélyi és társai, 1957; Koch, 1957).

A nagybörzsönyi turmalinról Koch (1957) közölt részletesebb leírást. Megadta a turmalin megjelenési módját, törésmutatóit és egy kémiai elemzést is közölt. Ez utóbbi alapján a későbbi szakirodalomba (Szakáll és társai, 2005, 2012) ez a turmalin – lévén, hogy az Mg mennyisége kissé meghaladta a vasét – drávitként került be. Az ásvány újvizsgálatára az utóbbi időkben került sor (Fehér, 2015a, 2017), ennek eredményeit tartalmazza ez a fejezet.

8.2. Földtani felépítés és ércesedés

A nagybörzsönyi Rózsa-hegyet és környékét a badeni vulkanizmushoz kapcsolódó kőzetek építik fel (8.1. ábra). A vulkáni aktivitás két fázisban zajlott le a Börzsönyben és mindkettő rövid ideig tartott (a teljes vulkáni aktivitás időtartama 400–700 ezer év lehetett) (Korpás és Lang, 1993). Az első fázis (alsó vulkáni egység, Nagyvölgyi Dácittufa Formáció) 2–10 km átmérőjű, egyedi vulkáni kúpokként fejlődött ki. Ezt a fázist explozív aktivitás jellemzi. Gyakoriak a kőzettelérek és a sekély mélységű intruzív testek, míg a lávafolyások meglehetősen ritkák. Az explozív vulkanizmus termékei a durva- vagy finomszemcsés piroklasztithullások és piroklasztitárak, valamint a hozzájuk kapcsolódó epiklasztitok. Ezek a törmelékek és a freatomagmás erupciókból származó lávafolyások gyorsan és majdnem teljesen kitöltötték a medencét, melynek eredménye egy vastag, andezitből és dácitból álló sztratovulkáni komplexum lett. A szubvulkáni intrúziók főleg a korai vulkáni aktivitás végén jelentek meg. A K/Ar adatok alapján az alsó andezit-dácit sztratovulkáni komplexum kora 10–20 millió év. A legtöbb koradat 14 és 15 millió év közé esik, az átlagos kor $15,2 \pm 0,8$ millió év (Korpás és Lang, 1993).

A második fázist (felső vulkáni egység, Magasbörzsönyi Andezit Formáció) egy kb. 10–12 km átmérőjű és kb. 1200 m magas, nagy sztratovulkáni szerkezet (a Magas-Börzsöny kúp) reprezentálja. A szárazföldi vulkanitok andezites összetételűek és durva piroklasztitokból állnak, melyek 5–7 közbetelepült lávafolyást tartalmaznak. A sztratovulkáni komplexum maximális vastagsága 450 m. Hornblendetartalmú, leukokrata andezittelérek képviselik a vulkáni aktivitás végső termékeit, melyek átszelik a sztratovulkáni komplexumot. A felső andezites sztratovulkáni komplexum kora 13–15 millió év, átlagosan $14,2 \pm 0,9$ millió év (Korpás és Lang, 1993).

A hidrotermás ásványosodás és átalakulás egy viszonylag korlátozott, kb. 15 km²-es területre terjed ki a Börzsöny központi részében, és a korai vulkáni fázishoz kötődik. A hidrotermás átalakulás során a felszín közelében egy agyagos zóna fejlődött ki, lokálisan Au-tartalmú polimetallikus, szulfidos ércesedéssel (Cu, Pb, Zn \pm Ag) telérekben és érhálózatokban. Ez a zóna laterálisan és a mélység felé átmegy a tömeges szulfidokkal és hintett Cu-ércesedéssel jellemezhető propilites zónába. A fémkoncentráció mindkét zónában nagyon alacsony (Korpás és Lang, 1993).

A nagybörzsönyi érces területet Pantó és Mikó (1964) négy részre osztotta: 1. Rózsa-bánya ércesedése, 2. Fagyosasszonybánya ércesedése, 3. Bányapusztai ércesedés és 4. Kurucpataki ércesedés. Közülük az első kettő található a Rózsa-hegyen; a rózsabányai ércesedést a Felső- és Alsó-Rózsa-táró, a Rózsa-akna, valamint az Altáró, míg a fagyosasszonybányai ércesedést a Felső- és Alsó-Fagyosasszony-táró tárja fel (lásd a 8.1. ábrát). A turmalinosodás a rózsabányai ércesedést kíséri.

A nagybörzsönyi ércesedés genetikájával számos kutató foglalkozott (pl. Pantó és Mikó, 1964; Nagy, 1978, 1983; Vetőné Ákos, 1982; Csillagné Teplánszky és társai, 1983; Korpás, 1998). A Rózsa-hegyen az érces zónák egy 1200 m hosszú és 200 m széles, ÉÉK-i irányú, bontott övben helyezkednek el. Az ércesedést három szakaszra szokás osztani, melyekhez a mellékközetekben hidrotermás elbontódási folyamatok is társulnak. Legalul (tszf. 100 m-es magasság alatt) található a korai, porfíros rézércesedés, melyet a mellékközet propilitesedése és káliföldpátosodása kísér. Fő ércásványai a pirrhotin és a kalkopirit, de megjelenik a pirit, a magnetit és a szfalerit is. Fő kísérő ásványai a klorit, a kvarc és a kalcit, illetve jellegzetes a másodlagos biotit. Vetőné Ákos (1982) fluidumzárvány-vizsgálatai alapján a rézérces paragenézis képződési hőmérséklete 260–360 °C lehetett. Felfelé haladva a propilites zónából egy átmeneti propilites-argillites öv fejlődik ki, polimetallikus ércesedéssel. Fő közetelváltozási jelenség az illitesedés és a karbonátosodás. Vastagsága a rózsahegy területén kb. 100 m, képződésének valószínűsített hőmérséklettartománya 160–260 °C. Fő

ércásványai a pirit, pirrhotin, szfalerit, galenit, kalkopirit, arzenopirit és markazit, míg a gyakori kísérőásványok a kalcit, klorit, illit és kvarc. A felső zóna tisztán agyagásványos-karbonátos-pirites kifejlődés, polimetallikus (rózsabányai és fagyosasszonybányai) ércesedéssel kísérve. Vastagsága 200–400 m közötti, képződésének hőmérséklete 160 °C alatti. Ércásványai a pirit, galenit, szfalerit, kalkopirit, markazit és arzenopirit (Vetőné Ákos, 1982; Csillagné Teplánszky és társai, 1983). A homogenizációs hőmérséklet-intervallumok valószínűsítik, hogy a hőmérsékletcsökkenés függvényében folyamatos ércesedésről van szó. A zárványokat tartalmazó kalcit- és kvarckristályok, valamint a velük előforduló ércásványok keletkezésekor csak hidrosztatikus nyomással kell számolnunk, amely 10 MPa alatti érték (Vetőné Ákos, 1982).

8.3. A nagybörzsönyi turmalin és egyes kísérői

A rózsabányai ércesedést kísérő turmalin első leírását Koch (1957) adta. Az Alsó-Rózsa-táróban, illetve annak meddőhányóján gyűjtött anyagból határozta meg az ásványt. A leírásában szereplő tús kristályok hosszúsága rendszerint csak 0,1 mm-es, de 1 mm-nél mindig kisebb. A turmalin nagyon finom szálai zárványként jelennek meg a kvarcban, kalcitban, sziderit-romboéderekben, de még az ércásványokban (pirrhotin, szfalerit) is. A kristályok trigonális vagy ditrigonális keresztmetszetet mutatnak. A tűk egyedül, vagy sugaras csoportokba rendeződve (ún. turmalinnapok) jelennek meg, máskor a szálak véletlenszerű orientációban, nemezszerű halmazokként figyelhetők meg. Koch (1957) leírása szerint az apró szálak színtelenek, míg a kicsi tűk csekély zöldes árnyalatot mutatnak. Immerziós módszerrel mért törésmutatóik: $\omega = 1,65$ és $\varepsilon = 1,63$.

A nagybörzsönyi turmalinos mintáról már Koch (1957) is közölt kémiai elemzést. Mint írta, a szulfidos szennyeződések (főleg pirit és arzenopirit) levonása után a maradék szilikátos rész 100%-ra átszámolt összetétele tömegszázalékban a következő: SiO₂ 36,22; B₂O₃ 11,24; Al₂O₃ 34,24; Fe₂O₃ 5,89; FeO 1,97; MgO 4,21; CaO 0,66; MnO 0,01; Na₂O 0,62; K₂O 1,17; P₂O₅ 0,26; F 1,10; H₂O 2,41; összesen 100,00 t%, ahol a B₂O₃ a különbségből lett számolva. Az elemzésből, főleg a turmalinoknál szokatlanul magas K₂O-tartalomról is látszik, hogy a mintában a szulfidok mellett más szennyező anyag, feltehetően a turmalinnal szoros együttest alkotó illit is jelen volt. Így a fenti összetétel még mindig egy keverékre vonatkozik, s talán emiatt nem számolt szerkezeti képletet az elemzési eredményből a szerző. Ugyanakkor a „Magyarország ásványai” című könyvben Koch (1966) a fenti elemzést úgy vezeti be, hogy „a kalcitból igen híg sósavval kioldott és a mikroszkópi méretű

szulfidos kísérőktől gondosan megtisztított turmalin elemzésének eredménye”. Vagyis kizárólag a turmalin elemzési eredményének tekintette az adatsort, képletet azonban itt sem adott meg rá. Ha a B_2O_3 - és H_2O -tartalomra nem a Koch (1957) által megadott értékeket használjuk, hanem a sztöchiometriából számított értékeket helyettesítjük be, akkor a fenti elemzésből a következő képletet írhatjuk fel: $(\square_{0,44}K_{0,24}Na_{0,20}Ca_{0,12})_{\Sigma=1,00} (Mg_{1,03}Fe^{3+}_{0,73}Al_{0,54}Fe^{2+}_{0,27})_{\Sigma=2,57} Al_{6,00} (Si_{5,93}Al_{0,07})_{\Sigma=6,00} O_{18} (BO_3)_3 (OH)_3 [F_{0,57}(OH)_{0,43}]_{\Sigma=1,00}$.

Erdélyi és társai (1957) a nagybörzsönyi ércesedés agyagásványáról és néhány kísérőásványáról szóló írásukban szintén foglalkoztak a turmalinnal. Szerintük a turmalin nagyító alatt finom, selymes fényű, hajlékony szálakból álló, vattára emlékeztető tömeg, mely nehezen választható külön a kísérőásványoktól, melyek főleg kvarc, kalcit, pirit, arzenopirit, galenit és szfalerit. A turmalin többnyire az érc üregeiben fenn-nőve, vattaszerű csomókban képződött. Finom szálai azonban megtalálhatók a „hidromuszkovit” (értsd illit) pikkelyei között, az ércásványokban és kvarckristályokban zárványként, vagy üregekben finom, selymes fényű tűkből álló kitöltés alakjában is.

Későbbi gyűjtések során turmalin jött még elő a Felső-Rózsa-tározó és az Altározó anyagából is. Dolgozatomban az Alsó-Rózsa-tározóból előkerült, teljesen átkovárosodott kőzet üregeiben lévő, fehér, fenn-nőtt, szálakristályokról (8.2. ábra) készült vizsgálati eredményeket ismertetem.

A rózsá-hegyi ércesedés ásványait Szakáll és társai (2012) mutatták be részletesen, így ennek közlésétől most eltekintek. Ehelyütt csak a TiO_2 -módosulatok jelenlétére kívánom felhívni a figyelmet. Rutilról már Erdélyi és társai (1957) is említést tettek; ők fehér, selymes fényű, tús kristályokként írták le, melyek a „hidromuszkovitot” (illitet) szövik át turmalinnal és apatittal együtt. Ilyen megjelenésével én magam nem talákoztam. Az általam megfigyelt rutil fekete, gyémántfényű, izometrikus vagy zömök oszlopos, 40–80 μm -es kristályokat alkot, melyek 0,1–0,4 mm-es halmazokká állnak össze színtelen, tús turmalinok kíséretében (Szakáll és társai, 2012). A másik TiO_2 -módosulat az anatáz, mely legfeljebb 0,1 mm átmérőjű, szürkés-kék, gyémántfényű, $\{001\}$ szerinti táblás kristályokat alkot (8.3. ábra), mindig turmalinszálakra nőve. Mindkét TiO_2 -módosulatot röntgen-pordiffrakciós vizsgálattal határoztam meg.

8.4. A nagybörzsönyi turmalin kristálykémiája

Valószínűleg az ásvány világos színe és a Koch (1957) által közölt elemzésből kiolvasható Mg- és Fe-tartalom miatt ($Mg > Fe$) egyes publikációkba (Szakáll és társai, 2005,

2012) a nagybörzsönyi turmalin drávitként vonult be. Abból a célból, hogy az ásvány kristálykémiáját meghatározzam és fajszintű besorolását lehetővé tegyem, elektronmikroszondás elemzéseket készítettem az üregekben fenn-nőtt szálakként megjelenő turmalinról, majd 31 anionra kiszámoltam a kationszámokat is (8.1. táblázat).

Az *X*-pozíciót vizsgálva láthatjuk, hogy betöltöttsége nagyon alacsony, az összes alkálifém (Na + K) mennyisége (0,24–0,37 *apfu*) minden elemzésben alatta marad a betöltetlen kationhelyek számának (0,45–0,67 *apfu*). Így a nagybörzsönyi ásvány az *X*-kationban hiányos turmalinok csoportjába tartozik (8.4. ábra).

Ha az *Y*-pozíciót vizsgáljuk, akkor azt látjuk, hogy az *X*-ben lévő kationhiány miatt, a töltéskiegyenlítés végett jelentős mennyiségű Al (0,77–0,91 *apfu*) épült ide be. Az ásványról készült visszaszórtelektron-képen (8.5. ábra) jól látható a turmalin kémiai zónássága. Ennek alapvető oka az *Y*-pozícióban lévő vas és magnézium változó arányú beépülése, azaz egymást történő helyettesítése (8.6. ábra). A visszaszórtelektron-képből nem a legjobban vehető ki, de a turmalinszálak közepe vasban, míg szegélye magnéziumban gazdagabb. Az *Y*-pozícióba még elhanyagolható mennyiségű titán épül be, a mangán mennyisége a detektálási küszöb alatt van.

Meg kell jegyeznem, hogy az *Y*-pozíció betöltöttsége minden mérés esetén az ideális 3 *apfu* alatt maradt (2,82–2,94), vagyis 0,06–0,18 *apfu* közötti kationhiány mérhető. Ilyen esetben az egyik eljárás az, hogy az üres kationok helyét lítiummal töltjük be (lásd pl. Henry és társai, 2011). A nagybörzsönyi turmalin esetében azonban ezt semmi sem indokolja; egyrészt a magas Mg-tartalom teszi valószínűtlenné komolyabb mennyiségű Li beépülését (lásd az 5.9. alfejezetet), másrészt pedig a rózsá-hegyi ércesedés geokémiai vizsgálata sem mutatott ki jelentősebb Li-dúsulást (Nagy, 1971). Ugyanakkor ilyen mértékű kationhiány viszonylag gyakran előfordul más lelőhelyeken is (lásd pl. Uher és társai, 2009). Az a kérdés még felvethető, hogy a képletszámítási procedúránál nem lenne-e szerencsésebb először az *Y*-pozíciót teljesen feltölteni alumíniummal, s ekkor a kationhiány a *Z*-pozícióra esne. Bosi (2010) kötésvegyérték-számításai alapján a turmalin szerkezetében az oktaédes vakanciák az *Y*-pozíciót preferálják a *Z*-vel szemben, s ez indokolja, hogy a teljes betöltöttséget a *Z*-pozícióban feltételezzük.

Végezetül az is lehetséges, hogy az *Y*-ban nincs sem kationhiány, sem Li-beépülés, hanem a turmalinunk valamelyest oxidált, vagyis a *V*- és *W*-pozíciókban van némi O²⁻-beépülés, azaz a képletszámításnál alkalmazott OH + F = 4 *apfu* feltételezés nem állja meg a helyét. Ha ez így van, akkor a turmalin képletét nem célszerű 31 anionra normálnunk, hanem a $T + Z + Y = 15$ kationra történő képletszámítás ad jobb eredményeket. A nagybörzsönyi

turmalinra kiszámoltam a képletet 15 kationra is, melyet a 8.2. táblázatban közlöm. A legnagyobb különbség természetesen az O-tartalomban volt a 31 anionra számolt képletekhez képest, ugyanis $O^{V+W} = 0,44$ és $0,67$ *apfu* között változott.

Külön figyelmet érdemelhet még az a kérdés, hogy a nagybörzsönyi turmalinban a vas egy része vajon lehet-e háromvegyértékű. A Koch (1957) által közölt elemzés alapján a $Fe^{3+}/(Fe^{2+} + Fe^{3+})$ arány $0,73$, vagyis eszerint a vas közel háromnegyed része háromvegyértékű formában van jelen. Az általam közölt elemzésben, mint azt a 8.1. táblázatban jeleztem, az összes vasat két vegyértékűnek számoltam. Saját mért adatok híján csak feltételezésekre bocsátkozhatom e kérdést illetően. Mivel az *Y*-pozícióban – mint fentebb jeleztem – némi kationhiány mérhető (ha 31 anionra számoljuk a képletet), ezért jelentősebb mennyiségű Fe^{3+} beépülése nem valószínű, mert az csak tovább növelné a kationhiányt. Ha a 15 (*Y* + *Z* + *T*) kationra számolt képletekből indulunk ki, ahol a *V* + *W* pozíciókban mért oxigén $0,44$ és $0,67$ *apfu* között változott (lásd fent), akkor a kationoknál jelentősnek mondható pozitív töltésfelesleg mutatkozik; ez szintén nem valószínűsít jelentősebb Fe^{3+} -beépülést, hiszen az csak fokozná a pozitív töltésfelesleget.

Vegyes kationbetöltés még a *T*-pozícióban fordul elő a nagybörzsönyi mintában, mivel a Si mennyisége mindig az ideális 6 *apfu* alatt marad ($5,67$ – $5,97$ *apfu*). Emiatt a tetraédes pozíció maradék kationhelyeit alumíniummal töltöttem fel.

Az elektronmikroszondás elemzésekből, illetve a kationszámokból látható, hogy a nagybörzsönyi turmalin kémiája a sörl-drávit-foitit-magneziofoitit fajok által meghatározott összetételi mezőkben mozog (8.7. ábra). Mivel az *X*-pozícióban a vakanciák mennyisége mindig meghaladta a Na mennyiségét, vagyis a $\square/(Na + \square) > 0,5$, ezért ásványunk a diagram felső, *X*-hiányos részében található. Az *Y*-pozícióban a Mg és Fe egymáshoz viszonyított mennyisége meglehetősen változó, a $Fe/(Fe + Mg)$ arány $0,236$ és $0,585$ között mozgott. Emiatt az elemzési pontok egy része a magneziofoitit, míg másik része a foitit mezejébe esik. Meg kell azonban jegyezni, hogy a 8.7. ábra által sugallt kémiai változatosság csak látszólagos. A visszaszórtelektron-kép (8.5. ábra) alapján a nagy-börzsönyi turmalin kémiáját valószínűleg két, viszonylag szűk összetételi tartománnyal jellemezhető, egy Mg-gazdag és egy Fe-gazdag zóna határozza meg, melyek összetételét legjobban a 8.1. táblázat 1. (Fe-dús) és 18. (Mg-dús) oszlopa jellemzi. A közbülső összetételek attól függenek, hogy az elektronnyaláb által gerjesztett elemzési térfogatban a két zóna milyen arányban vett részt. Ugyanakkor ezek az elemzések a turmalinban működő helyettesítési mechanizmusokra is rávilágítanak.

A közönséges (gyakori), $\text{Na}(\text{Fe}, \text{Mg})_3\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_4$ összetételű sörl-drávit sorból a kationhiányos, $\square[(\text{Fe}, \text{Mg})_2\text{Al}]\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_4$ összetételű foitit-magneziofoitit sorba párosított helyettesítéssel juthatunk el: az *X*-pozícióban a Na helyére „beépülő” vakanciák (\square) negatív töltésfelesleget eredményeznek, amit az *Y*-pozícióban a kétvegyértékű kationok (Fe^{2+} , Mg^{2+}) helyére beépülő alumínium egyenlíti ki; ezt legrövidebben a $\square\text{AlNa}_{-1}(\text{Fe}, \text{Mg})_{-1}$ cserevektorral (Burt, 1989) írhatjuk le. Ez a helyettesítési mechanizmus a nagybörzsönyi mintákon belül is működik (8.8/A. ábra), viszonylag magas korrelációs értékkel. Mivel egyes elemzési pontokban az ^{40}Ca mennyisége is számottevő (max. 0,18 apfu), ezért a $\text{NaAlCa}_{-1}(\text{Fe}, \text{Mg})_{-1}$ típusú helyettesítéssel is számolnunk kell. Ennek korrelációs együtthatója, így a turmalin összetételére gyakorolt hatása kisebb az előző helyettesítési mechanizmusnál (8.8/B. ábra). Ennek oka a vakanciákhoz mérten alacsony Ca-tartalom. Ugyanakkor érdekes, hogy ha a vakanciák függvényében ábrázoljuk a hatos koordinációjú alumíniumot (*Y* + *Z* pozíciók), akkor már a korreláció elég gyenge (8.8/C. ábra), ha viszont a tetraédes (*T*) pozícióban lévő alumíniumot vesszük, a negatív korreláció sokkal erősebb. Ez egy ritka, turmalinokban (magneziofoititben) korábban csak a kanadai Athabasca-medencéből leírt (Rosenberg és Foit, 2006), $\square\text{SiNa}_{-1}\text{Al}_{-1}$ típusú helyettesítést jelez (8.8/D. ábra).

Az oktaédes *Y*-pozícióba az alumínium kétféle helyettesítés útján kerülhet: alkálihiányos helyettesítéssel, melyet – mint fentebb már jeleztem – a $\square\text{AlNa}_{-1}(\text{Fe}, \text{Mg})_{-1}$ cserevektorral írhatunk le, illetve ún. protonhiányos helyettesítéssel, melynél az $\text{AlO}(\text{Fe}, \text{Mg})_{-1}(\text{OH})_{-1}$ cserevektor „működik” (Trumbull és Chaussidon, 1999). Ezt legjobban úgy szemléltethetjük, ha a turmalin $\text{Ca}+\text{Na}+\text{Fe}+\text{Mg}+\text{Mn}$ -tartalmát ábrázoljuk az $\text{Al}^{[6]}+1,33\text{Ti}$ függvényében. A 8.9/A. ábrából jól látszik, hogy a nagybörzsönyi turmalinban az ún. alkálihiányos helyettesítés dominál. Ez még akkor is így van, ha nem a 31 anionra, hanem a 15 (*Y* + *Z* + *T*) kationra számolt összetételeket ábrázoljuk. Ez utóbbi esetben – természetesen – némi eltolódás mutatkozik az összetételekben a protonhiányos helyettesítés felé. A fentiekből is látható, hogy a nagybörzsönyi turmalinban számos helyettesítési mechanizmus működik.

Megfigyelhető, hogy a kristályosodás előre haladtával, vagyis a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})$ arány csökkenésével a nagybörzsönyi turmalin Na-tartalma nem változik (8.9/B. ábra), ugyanakkor a Ca tartalom kis növekedést mutat (8.9/C. ábra), míg a vakanciák száma némileg csökken (8.9/D. ábra).

8.5. Röntgen-diffrakciós vizsgálat

A nagybörzsönyi turmalin első leírásakor Koch (1957) említette, hogy a prágai Károly Egyetem Ásványtani, Kristálytani és Geokémiai Intézetében Karel Paděra vizsgálta meg röntgen-pordiffrakcióval a finomszálal anyagot. A felvételt, illetve a reflexiók adatait azonban nem közölte, csupán a Paděra által küldött információt osztotta meg, miszerint „a röntgen-vizsgálat is megerősíti, hogy az ásvány turmalin. A legerősebb vonalak (mind a d -értékek, mind pedig az intenzitások) jó egyezést mutatnak az irodalomban közölt adatokkal.”

Az általam Gandolfi-kamerával készített röntgen-diffrakciós felvétel adatait a 8.3. táblázatban közölöm, összehasonlítva a magneziofoitit típuslelőhelyének (Kyonosawa, Mitomi-mura, Higashi-Yamanashi-gun, Yamanashi-ken prefektúra, Honshu, Japán) anyagán mért adatokkal. A táblázatból jól látszik, hogy a nagybörzsönyi mintán nagyjából kétszer annyi reflexiót sikerült kimérni, mint amennyit a típuspéldányra közöltek. A pordiffrakciós adatokból a következő rácsállandókat számoltam a nagybörzsönyi turmalinra: $a = 15,901(6) \text{ \AA}$; $c = 7,190(4) \text{ \AA}$, $V = 1574(1) \text{ \AA}^3$.

Uher és társai (2009) kapcsolatot találtak a turmalinokra (sörl, drávit, foitit, magneziofoitit) publikált rácsállandók és a kémiai összetételek között. Az összefüggéseket egy ábrán mutatták be (8.10. ábra). Ha ezen a diagramon ábrázoljuk a nagybörzsönyi turmalin „ a ” cellaparaméterét a „ c ” rácsállandó függvényében, akkor azt látjuk, hogy az az alkáli- és az X-hiányos turmalinok közötti határvonal közelébe esik a „magnéziumos” oldalon, közel a magneziofoitit típusásványára megadott értékhez: $a = 15,884(4) \text{ \AA}$; $c = 7,178(3) \text{ \AA}$, $V = 1568,0(6) \text{ \AA}^3$ (Hawthorne és társai, 1999).

8.6. Diskusszió

A turmalin széles stabilitási tartománya, összetételi változékonysága és az átalakulással szembeni ellenállása hasznos geokémiai indikátorrá teszi az ásványt (pl. Henry és Guidotti, 1985; Slack, 1996). A turmalin összetételét főleg a fluidum és/vagy a mellékközet összetétele, illetve a koegzisztens fázisok közti kémiai egyensúly szabja meg. Alacsony fluidum/közet arányú rendszerekben a turmalin kémiáját főleg a protolit összetétele kontrollálja, viszont magas fluidumáramlási rendszerekben általában a fluidumfázis állítja be (Slack és Trumbull, 2011). A nagybörzsönyi turmalin hidrotermás oldatokból vált ki, így összetételének kialakításában egyértelműen a fluidumfázis kémiája játszott a vezető szerepet. Erre utal az is, hogy az AFM-diagramban ábrázolt összetételi pontok a nem értelmezhető mezőbe

esnek (8.11. ábra), így a mellékkőzetnek nem lehetett nagy hatása a nagybörzsönyi turmalin összetételére.

A nagybörzsönyihez hasonlóan a világ más lelőhelyein előforduló magneziofoititek és foititek – hacsak nem összetett turmalinszemcsék egyes zónáit alkotják (mint pl. több helyen a Soproni-hegységben) – szintén tús kristályokat képeznek, mint pl. a kapkai (Remetevasgyár = Remetské Hámre, Szlovákia) magneziofoitit (Fehér és társai, 2016). Ennek Bačik és társai (2015) szerint kristálykémiai okai vannak és az Al-tartalomnak tulajdonítják a főszerepet. Adataik szerint az X -hiányos turmalinok esetében a szálas-tús habitus létrejöttéhez minimum 6,70 *apfu* Al-tartalom szükséges. Ennek oka, hogy az Al a turmalinban a ZO_6 -oktaédereket preferálja, melyek láncokat alkotnak a c -tengellyel párhuzamosan. Ugyanakkor az Y -pozíciót preferáló kationok (Fe^{2+} , Mg) kisebb mennyisége valószínűleg azt eredményezi, hogy az YO_6 -oktaéderek – melyek a ZO_6 -oktaéderekből álló láncokat kapcsolják össze – lassabban képződnek. Következésképpen, Al-gazdag környezetben feltételezhetjük, hogy a ZO_6 -oktaéderek polimerizációja dominál az a -tengely irányú növekedés felett (Bačik és társai, 2015), így a c -tengely szerint megnyúlt, tús kristályok jönnek létre. Ilyen megfontolások alapján a nagybörzsönyi turmalin tús habitusának kialakulásában ez a kristálykémiai tényező is szerepet játszhatott, hiszen a teljes Al-tartalom 6,88 és 7,16 *apfu* között mozgott.

Ugyanakkor a kristályosodási ráta, illetve a kristályosodás időtartama – melyek főleg a hőmérséklettől és a hűlési rátától függenek – szintén fontos tényezők a kristályok habitusának kialakulásában. Gyors kristályosodás esetén – mint az Nagybörzsönyben is feltételezhető – nincs elég idő arra, hogy a kristály a lassabb növekedés irányában (turmalin esetében az a -tengely irányában) is növekedjen, ezért a c -tengely szerint megnyúlt, tús habitusú turmalinkristályok fognak képződni.

A turmalin képződésekor uralkodó hőmérséklet- és nyomásviszonyokra Vetőné Ákos (1982) zárányvizsgálataiból következtethetünk. Mivel a turmalin a második ércesedési szakasz ásványaiban (kvarc, kalcit, sziderit, pirrotin, szfalerit; lásd Koch, 1957) zárányként előfordul, ezért azok képződési hőmérsékleténél (160–260 °C) magasabb hőfokon jöhetett létre. A nemzetközi szakirodalomban az ilyen szálas, hidrotermás turmalinokra közölt keletkezési hőmérsékletek 150 és 400 °C között változnak, az értékek mediánja 300 °C-nál van (Dutrow és Henry, 2016).

A turmalinok főelem-összetétele a képződési hőmérsékletnek nem túl jó indikátora. Alacsony fokon metamorfizált metapélites kőzetek turmalinjaiban Henry és Dutrow (1996) kapcsolatot talált a képződési hőmérséklet és az X -pozícióban lévő vakanciák száma között. Azt figyelték meg, hogy a \square^X mennyisége 0,6-ról 0,3 *apfu*-ra csökkent, amint a képződési

hőmérséklet 200 °C-ról 650 °C-ig növekedett. Hasonló eredményekre jutottak von Goerne és társai (2001) Mg-turmalinok hidrotermás szintézisekor. A 200 MPa nyomáson végrehajtott szintézisek esetében a turmalin Na-tartalma az oldat kiinduló Na-tartalmától és a képződési hőmérséklettől függött. Ha a kiinduló oldatban a Na mennyisége nem haladta meg a turmalin képződéséhez szükséges sztöchiometrikus érték háromszorosát ($\text{Na}_{\text{eq}} = 3$), akkor a növekvő hőmérséklettel nőtt a turmalin Na-tartalma, ebből következően a vakanciák száma csökkent a következők szerint: $\text{Na}_{\text{eq}} = 0,5$ -nél $\text{Na}^{\text{X}} = 0,13 \text{ apfu}$ (500 °C-on), $0,30 \text{ apfu}$ (700 °C-on); $\text{Na}_{\text{eq}} = 1$ -nél $\text{Na}^{\text{X}} = 0,29 \text{ apfu}$ (500 °C-on), $0,51 \text{ apfu}$ (700 °C-on); $\text{Na}_{\text{eq}} = 2$ -nél $\text{Na}^{\text{X}} = 0,45 \text{ apfu}$ (500 °C-on), $0,56 \text{ apfu}$ (700 °C-on); végül $\text{Na}_{\text{eq}} = 3$ -nál $\text{Na}^{\text{X}} = 0,62 \text{ apfu}$ (500 °C-on), $0,66 \text{ apfu}$ (700 °C-on). A drávit szélső-taghoz közeli összetételt ($\text{Na}^{\text{X}} = 0,95 \text{ apfu}$) akkor figyeltek meg, amikor a Na_{eq} mennyisége 4, a hőmérséklet pedig 500 °C volt. Ilyen Na-dús oldatból azonban már albit is kivált. Így elmondható, hogy a $\text{Na}_2\text{O-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O-HCl}$ rendszerben az alkáliturmalin (vagyis drávit, ahol $\text{Na}^{\text{X}} > 0,5 \text{ apfu}$) képződéséhez a hidrotermás oldatban magas, a sztöchiometrikus értéknél – hőmérséklettől függően – legalább kétszer magasabb Na-tartalomra van szükség.

A nagybörzsönyi turmalinképző hidrotermás fluidum Na-tartalmára nincsenek adataink. Vetőné Ákos (1982) ugyan közöl kvarcban és kalcitban lévő fluidzárványokra NaCl-koncentráció értékeket, azok az adatok azonban minden bizonnyal csak a NaCl-tartalommal ekvivalens sókoncentrációk. Érdekes, hogy ezek meglehetősen magas értékek: a kétfázisú (folyadék-gáz) zárványokban 7–12 t%, míg a háromfázisú zárványokban átlagosan 34 t%-ot mért. Utóbbiakban kőskristályok jelenlétét is valószínűsítette. Azon túlmenően, hogy ezekből az adatokból a hidrotermás oldat Na-koncentrációja nem számítható ki, további probléma, hogy ezeknek a fluidzárványoknak nincs bizonyítva a kapcsolata a turmalinképződéssel. Dutrow és Henry (2016) szerint foitites turmalint tartalmazó minták valószínűleg 0,25 mol/l-nél kevesebb Na-t és minimális Ca-t tartalmazó (vagy Ca-mentes) fluidumokkal koegzisztensek.

A turmalinképződés hőmérsékletéhez elvileg támpontot adhatnának a TiO_2 -módosulatok, nevezetesen az a megfigyelés, hogy míg a rutil a turmalin mellett, azzal nagyjából egy időben képződött, addig az anatóz az eddigi megfigyelések szerint csak a turmalinszálakra növe fordul elő, vagyis annál későbbi képződésű. Mivel turmalinszálakra növe rutilt nem figyeltem meg, azt is mondhatjuk, hogy a turmalin képződése után már csak anatózként kristályosodott a TiO_2 . Így a turmalinképződés hőfokát a rutil-anatóz inverzió hőmérsékleténél húzhatjuk meg, nagyjából földfelszíni nyomás mellett [az uralkodó nyomás 10 MPa-nál kevesebb lehetett Vetőné Ákos (1982) szerint]. Ezt a hőmérsékletet „száraz” rendszer esetében

600 °C-nak adták meg Dachille és társai (1968), ami jóval magasabb, mint ami a nagybörzsönyi turmalin képződési hőmérsékletére feltételezhető. A fenti szerzők azonban megjegyezték, hogy ez az átalakulási hőmérséklet víz jelenlétében jelentősen (485 °C alá) csökkenhet. Mivel alacsonyabb hőmérsékleten (már az anatóz „stabilitási” mezejében) is képződhet rutil, feltételezték, hogy az anatóz minden hőmérsékleten metastabil lehet. Ezt később többen megerősítették. Smith és társai (2009) szerint az anatóz csak apró kristallitokban stabil TiO₂-fázis viszonylag alacsony hőmérsékleteken és nyomásokon, de a 14 nm-nél nagyobb kristályoknak már nincs *P-T* stabilitási mezejük (legalábbis az egykomponensű TiO₂-rendszerben). Mindezek okán a nagybörzsönyi anatóz megjelenéséből csak azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a turmalin alacsony hőmérsékleten és nyomáson, magas víztartalmú rendszerben vált ki.

Érdemes még némi figyelmet szentelnünk az anatózkristályok morfológiájának. A legtöbb lelőhelyen az anatóz {101} szerinti meredek dipiramisos kristályokat alkot, melyeken legfeljebb csak kis méretben fejlődnek ki a {001} bázislapok. Ennek oka, hogy a termodinamikailag legstabilabb anatózkristályokon a B/A lenyesési arány (az A és B kristályélek értelmezését lásd a 8.3. ábrán) jellemző értéke 0,3–0,4 között mozog (Dozzi és Selli, 2013). Ez az érték a nagybörzsönyi anatózra (a 8.3. ábrán mért élhosszak alapján) 0,88, ami a jól fejlett {001} formának köszönhető. A {001} forma azonban nagyon reaktív, köszönhetően a felületén nagy sűrűségben lévő, koordinálatlan Ti-atomoknak, valamint a felületi atomok nagyon feszes konfigurációjának. Emiatt a {001} szerinti táblás anatózkristályok bizonyos kémiai reakciókat katalizálhatnak, így előállításuk számos iparágban jelentőséggel bír. Dozzi és Selli (2013) kísérletei azt igazolták, hogy az anatóz fluorozása stabilizálja a {001} formát az {101}-hez képest, magyarul a legnagyobb lenyesési arányt (B/A) úgy lehet elérni, ha az anatóz felületét fluorral kezelik. Ez felveti annak a lehetőségét, hogy a nagybörzsönyi turmalint (és anatózt) képző hidrotermás oldat jelentős F-tartalommal rendelkezhetett. Koch (1957) által a turmalinra közölt kémiai elemzésben is elég magas, 1,10 t% F-tartalom szerepelt, ugyanakkor az új elektronmikroszkopos mérések ezt nem támasztották alá. Bár mint korábban írtuk, a nagybörzsönyi turmalin kémiáját döntően a hidrotermás fluidum összetétele határozhatta meg, ez nem feltétlenül igaz a F-tartalomra. Henry és Dutrow (2011) adatai ugyanis arra utalnak, hogy kristályszerkezeti okokból az *X*-hiányos turmalinokba a fluor csak nagyon korlátozott mennyiségben (pl. $\square^X > 0,6$ *apfu* esetében $F < 0,15$ *apfu*) tud beépülni, függetlenül az ásványosító rendszer kémiájától.

Már Frondel és Collette (1957) leírta, hogy turmalint savanyú kémhatású oldatokból lehet szintetizálni, lúgos oldatokból nem képződik. Ezt London (2011) is megerősítette, aki

szerint a turmalin stabilitása neutrális vagy savas oldatokra korlátozódik; magas alkalinitás mellett a turmalin instabil, helyette albit és Na-amfibolok képződnek. Ilyen formán a nagybörzsönyi turmalin is savas kémhatású hidrotermás oldatból vált ki, melyet még az anatóz morfológiája is megerősít, mivel lúgos oldatokból képződött anatózon az {100} forma lapjai is megjelennek (Dozzi és Selli, 2013), melyeket a nagybörzsönyi anatózon nem figyeltünk meg.

A nagybörzsönyi turmalin képződése során a legszembevetőbb kémiai változás a Fe- és Mg-tartalomban lépett fel, vagyis a kezdetben Fe-gazdag turmalin (foitit) viszonylag hirtelen Mg-gazdag turmalinba (magneziofoititbe) ment át. Ezt azzal magyarázzuk, hogy az eleinte magmás forrásból – Korpás és Lang (1993) szerint egy mélységi dioritos intrúzióból – származó, Fe-gazdag hidrotermák keveredhettek a leszivárgó, Mg-ban gazdag felszíni vizekkel. Ezek a felszíni vizek azonban nemcsak Mg-ban, hanem Ca-ban is gazdagabbak voltak, ennek köszönhető, hogy a magneziofoititek Ca-tartalma magasabb, mint a foititeké (8.9/C. ábra), s így lényegében változatlan Na-tartalom (8.9/B. ábra) mellett a vakanciák száma csökkenést mutat (8.9/D. ábra) a kristályosodás előre haladtával. Ez utóbbi trend – vagyis hogy a hőmérséklet csökkenésével a vakanciák száma csökken – ellentétes a Henry és Dutrow (1996) által leírtakkal, illetve von Goerne és társai (2001) kísérletében tapasztalattal, azt jelezve, hogy a nagybörzsönyi turmalin összetételének kialakulásában a hőmérsékletnek jóval kisebb szerepe volt, mint az ásványosító oldatok összetételének. Nagybörzsönyben a hidrotermás fluidumok csapadékvizekkel való keveredését egyébként Vetőné Ákos (1982) is valószínűsítette. Külföldi analógiaként pedig a kanadai Kidd Creek érctelepet lehet felhozni, ahol a hidrotermás turmalinkristályokban a magtól a szegélyek felé haladva a Fe/(Fe+Mg) arány csökkenését leszivárgó tengervizek magas Mg-tartalmával magyarázták (Slack és Coad, 1989).

Koch (1957), majd később Nagy (1971) úgy vélte, hogy Nagybörzsönyben a hidrotermák felhatolása zárt hasadékrendszerben történt. A forró vizes oldatok kisebb repedések hátlózatán keresztül nyomultak fel, elbontva a mellékkőzetet. A preformált hasadékok hiánya miatt a rendszerben uralkodó nyomás sokkal nagyobb volt, mint amilyen a hidrotermás telérek keletkezésénél általában lenni szokott. Így a magas hőmérséklet és az átlagosnál nagyobb nyomás magyarázza a vulkáni kőzetek kíséretében fellépő érces telérekben a turmalin megjelenését. Ennek ellentmond Vetőné Ákos (1982) adata, mely szerint a terület ércesedése idején valószínűsíthető nyomás 100 barnál (10 MPa) kisebb volt. Ha elfogadjuk az előző bekezdésben leírtakat, miszerint a turmalin zónásságát a hidrotermás oldatok és a leszivárgó vizek keveredése okozta, akkor Vetőné Ákos (1982) megállapítása lehet helytálló és

számolnunk kell preformált hasadékok jelenlétével. Bár atmoszférikus nyomáson még nem szintetizáltak turmalint – London (2011) szerint 45–50 MPa volt a legkisebb fluidumnyomás, amely mellett sörl-drávitot hoztak létre –, Henry és Dutrow (1996) szerint a törmelékes turmalinszemcséken megfigyelt diagenetikus és epigén továbbnövekedések arra utalnak, hogy a turmalin stabil fázis felszíni, vagy felszínközeli feltételek mellett. Így képződéséhez a hidrotermás környezetek átlagos nyomásviszonyai megfelelőek.

8.7. Összegzés

Az előzőeket összefoglalva a nagybörzsönyi hidrotermás turmalinnal kapcsolatban a következő megállapításokat tehetjük: 1) A szálaskristályok zónás felépítésűek; a kristályok magja foitites, míg szegélye magneziofoitites összetételű. E két turmalinfajnak Nagybörzsöny az első ismert lelőhelye Magyarországon (Fehér, 2015a, 2017). 2) A turmalin hidrotermás oldatból vált ki, melynek hőmérséklete 260 °C fölött lehetett. 3) A képződő turmalin kémiáját elsősorban a hidrotermás oldat összetétele határozta meg, ebben a tekintetben a mellékközetek összetétele, illetve az uralkodó hőmérséklet- és nyomásviszonyok csak másodrangúak voltak. 4) Egyedüli kivétel a 3. pont alól a hidrotermás oldat feltételezhetően számottevő fluor-tartalma lehetett, mely kristályszerkezeti okokból nem tudott jelentősebb mennyiségben beépülni a turmalinba. 5) A kristályokon megfigyelhető kémiai zónásság elsősorban a Fe ↔ Mg helyettesítésből ered. A zónásság oka az lehet, hogy a hidrotermás oldatok összetételét a leszivárgó csapadékvíz megváltoztatta. 6) A turmalin tús habitusa is kristálykémiai okokra vezethető vissza, ugyanis a magas Al-tartalom és a viszonylag alacsony Fe+Mg-tartalom a *c*-tengely irányában való gyors növekedését segítette elő. 7) A turmalin képződéséhez nem szükséges magas nyomást, így zárt hasadérendszer feltételeznünk. Valószínűleg jelen voltak preformált hasadékok, melyeken keresztül a hidrotermás oldatok és a leszivárgó vizek keveredése megvalósult.

Beadva: 2022. március 25-én.



Fehér Béla

9. Irodalomjegyzék

- Aggarwal, J. (1999): Boron. In: Marshall, C. P. és Fairbridge, R. H. (Eds.): *Encyclopedia of geochemistry*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-London, pp. 44–49.
- Akizuki, M., Kuribayashi, T., Nagase, T. és Kitakaze, A. (2001): Triclinic liddicoatite and elbaite in growth sectors of tourmaline from Madagascar. *American Mineralogist*, **86**, 364–369.
- Andrijanyec-Bujko, A. A., Krasznova, N. I. és Petrov, T. G. (2007): Raznoobrazije szosztava turmalinov i ih himicseszakaja klasszifikacija na osnovje metoda RHA. *Zapiszki Rosszijszkava Minyeralogicseszakava Obscsesztva*, **136/1**, 26–41.
- Anthony, J. W., Bideaux, R. A., Bladh, K. W. és Nichols, M. C. (1995): *Handbook of mineralogy. Vol. II: Silica, silicates*. Mineral Data Publishing, Tucson, Arizona. 904 p.
- Árkai, P. (1973): Pumpellyite-prehnite-quartz facies Alpine metamorphism in the Middle Triassic volcanogenic-sedimentary sequence of the Bükk Mountains, Northeast Hungary. *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, **17**, 67–83.
- Árkai, P. (1983): Very low- and low-grade Alpine regional metamorphism of the Paleozoic and Mesozoic formations of the Bükkium, NE-Hungary. *Acta Geologica Hungarica*, **26**, 83–101.
- Árkai, P., Balogh, K. és Dunkl, I. (1995): Timing of low-temperature metamorphism and cooling of the Paleozoic and Mesozoic formations of the Bükkium, innermost Western Carpathians, Hungary. *Geologische Rundschau*, **84**, 334–344.
- Árváné Sós E., Balogh K., Ravaszné Baranyai L. és Ravasz Cs. (1987): Mezozóos magmás kőzetek K/Ar kora Magyarország egyes területein. *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1985. évről*, 295–307.
- Bačík, P., Uher, P., Sýkora, M. és Lipka, J. (2008): Low-Al tourmalines of the scorl-dravite-povondraite series in redeposited tourmalinites from the Western Carpathians, Slovakia. *Canadian Mineralogist*, **46**, 1117–1129.
- Bačík, P., Uher, P., Cempírek, J. és Vaculovič, T. (2012): Magnesian tourmalines from plagioclase-muscovite-scapolite metaevaporite layers in dolomite marble near Prosetín (Olešnice Unit, Moravicum, Czech Republic). *Journal of Geosciences*, **57**, 143–153.
- Bačík, P., Cempírek, J., Uher, P., Novák, M., Ozdín, D., Filip, J., Škoda, R., Breiter, K., Klementová, M., Ďud'a, R. és Groat, L. A. (2013): Oxy-schorl, $\text{Na}(\text{Fe}^{2+}_2\text{Al})\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}$ -

- (BO_3)₃(OH)₃O, a new mineral from Zlatá Idka, Slovak Republic and Příbyslavice, Czech Republic. *American Mineralogist*, **98**, 485–492.
- Bačík, P., Ertl, A., Števkó, M., Giester, G. és Sečkář, P. (2015): Acicular zoned tourmaline (magnesian-foitite to foitite) from a quartz vein near Tisovec, Slovakia: The relationship between crystal chemistry and acicular habit. *Canadian Mineralogist*, **53**, 221–234.
- Balogh K. (1964): A Bükkhegység földtani képződményei. *Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve*, **48/2**, 241–719.
- Balogh K. (1980): A magyarországi triász korrelációja. *Általános Földtani Szemle*, **15**, 5–67.
- Balogh, K. és Dunkl, I. (2005): Argon and fission track dating of Alpine metamorphism and basement exhumation in the Sopron Mts. (Eastern Alps, Hungary): thermochronology or mineral growth? *Mineralogy and Petrology*, **83**, 191–218.
- Barryman, E., Wunder, B. és Rhede, D. (2014): Synthesis of K-dominant tourmaline. *American Mineralogist*, **99**, 539–542.
- Benard, F., Moutou, P. és Pichavant, M. (1985): Phase relations of tourmaline leucogranites and the significance of tourmaline in silicic magmas. *Journal of Geology*, **93**, 271–291.
- Benkó, Zs. (2008): *Reconstruction of multi-phase fluid flow history and tectonic evolution in a Variscan granite intrusion (Velence Mts., Hungary)*. Doctoral thesis, Department of Mineralogy, Eötvös Loránd University, Budapest and Université Henri Poincaré, Nantes. 161 p.
- Benkó, Zs., Molnár, F., Lespinasse, M. és Váczi, T. (2014): Evidence for exhumation of a granite intrusion in a regional extensional stress regime based on coupled microstructural and fluid inclusion plane studies – An example from the Velence Mts., Hungary. *Journal of Structural Geology*, **65**, 44–58.
- Biagioni, C., Bosi, F., Mauro, D., Skogby, H., Dini, A. és Zaccarini, F. (2020): Dutrowite, IMA2019-082. CNMNC Newsletter No. 53. *European Journal of Mineralogy*, **32**, p. 209.
- Blamart, D., Boutaleb, M., Sheppard, S., Marignac, C. és Weisbrod, A. (1992): A comparative thermobarometric (chemical and isotopic) study of a tourmalinized pelite and its Sb-Be vein, Walmès, Morocco. *European Journal of Mineralogy*, **4**, 355–368.
- Bloodaxe, E. S., Hughes, J. M., Dyar, M. D., Grew, E. S. és Guidotti, C. V. (1999): Linking structure and chemistry in the schorl-dravite series. *American Mineralogist*, **84**, 922–928.

- Bosi, F. (2008): Disordering of Fe²⁺ over octahedrally coordinated sites of tourmaline. *American Mineralogist*, **93**, 1647–1653.
- Bosi, F. (2010): Octahedrally coordinated vacancies in tourmaline: A theoretical approach. *Mineralogical Magazine*, **74**, 1037–1044.
- Bosi, F. és Lucchesi, S. (2004): Crystal chemistry of the schorl-dravite series. *European Journal of Mineralogy*, **16**, 335–344.
- Bosi, F. és Skogby, H. (2013): Oxy-dravite, Na(Al₂Mg)(Al₅Mg)(Si₆O₁₈)(BO₃)₃(OH)₃O, a new mineral species of the tourmaline supergroup. *American Mineralogist*, **98**, 1442–1448.
- Bosi, F., Reznitskii, L. és Skogby, H. (2012a): Oxy-chromium-dravite, NaCr₃(Cr₄Mg₂)(Si₆O₁₈)(BO₃)₃(OH)₃O, a new mineral species of the tourmaline supergroup. *American Mineralogist*, **97**, 2024–2030.
- Bosi, F., Skogby, H., Agrosi, G. és Scandale, E. (2012b): Tsilaisite, NaMn₃Al₆(Si₆O₁₈)(BO₃)₃(OH)₃(OH), a new mineral species of the tourmaline supergroup from Grotta d’Oggi, San Pietro in Campo, island of Elba, Italy. *American Mineralogist*, **97**, 989–994.
- Bosi, F., Andreozzi, G. B., Skogby, H., Lussier, A. J., Abdu, Y. és Hawthorne, F. C. (2013a): Fluor-elbaite, Na(Li_{1.5}Al_{1.5})Al₆(Si₆O₁₈)(BO₃)₃(OH)₃F, a new mineral species of the tourmaline supergroup. *American Mineralogist*, **98**, 297–303.
- Bosi, F., Reznitskii, L. Z. és Sklyarov, E. V. (2013b): Oxy-vanadium-dravite, NaV₃(V₄Mg₂)(Si₆O₁₈)(BO₃)₃(OH)₃O: Crystal structure and redefinition of the “vanadium-dravite” tourmaline. *American Mineralogist*, **98**, 501–505.
- Bosi, F., Reznitskii, L., Skogby, H. és Hålenius, U. (2014a): Vanadio-oxy-chromium-dravite, NaV₃(Cr₄Mg₂)(Si₆O₁₈)(BO₃)₃(OH)₃O, a new mineral species of the tourmaline supergroup. *American Mineralogist*, **99**, 1155–1162.
- Bosi, F., Skogby, H., Reznitskii, L. és Hålenius, U. (2014b): Vanadio-oxy-dravite, NaV₃(Al₄Mg₂)(Si₆O₁₈)(BO₃)₃(OH)₃O, a new mineral species of the tourmaline supergroup. *American Mineralogist*, **99**, 218–224.
- Bosi, F., Andreozzi, G. B., Agrosi, G. és Scandale, E. (2015): Fluor-tsilaisite, NaMn₃Al₆(Si₆O₁₈)(BO₃)₃(OH)₃F, a new tourmaline from San Pietro in Campo (Elba, Italy) and new data on tsilaisitic tourmaline from the holotype specimen locality. *Mineralogical Magazine*, **79**, 89–101.

- Bosi, F., Skogby, H., Ciriotti, M. E., Gadas, P., Novák, M., Cempírek, J., Všianský, D. és Filip, J. (2017a): Lucchesiite, $\text{CaFe}^{2+}_3\text{Al}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3\text{O}$, a new mineral species of the tourmaline supergroup. *Mineralogical Magazine*, **81**, 1–14.
- Bosi, F., Skogby, H. és Hålenius, U. (2017b): Oxy-foitite, $\square(\text{Fe}^{2+}\text{Al}_2)\text{Al}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3\text{O}$, a new mineral species of the tourmaline supergroup. *European Journal of Mineralogy*, **29**, 889–896.
- Bragg, W. L. (1937): *Atomic structure of minerals*. Cornell University Press, Ithaca, New York. 292 p.
- Bröcker, M. és Frantz, L. (2000): The contact aureole on Tinos (Cyclades, Greece): Tourmaline-biotite geothermometry and Rb-Sr geochronology. *Mineralogy and Petrology*, **70**, 257–283.
- Bucher, K. és Grapes, R. (2011): *Petrogenesis of metamorphic rocks*. 8th Edition. Springer, Berlin-Heidelberg. 428 p.
- Buda, Gy. (1969): Genesis of the granitoid rocks of the Mecsek and Velence Mountains on the basis of the investigation of the feldspars. *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, **13**, 131–155.
- Buda, Gy. (1974): Investigation of the alkali feldspar polymorphs of the Hungarian granitoid rocks. *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, **18**, 465–480.
- Buda, Gy. (1981): Genesis of the Hungarian granitoid rocks. *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, **24**, 309–318.
- Buda Gy. (1985): *Variszkuszi korú kollíziós granitoidok képződése Magyarország, Ny-Kárpátok és a Központi Cseh (Bohémiai) masszívum granitoidjainak példáin*. Kandidátusi értekezés, MTA Kézirattár, Budapest. 148 p.
- Buda, Gy. (1993): Enclaves and fayalite-bearing pegmatitic “nests” in the upper part of the granite intrusion of the Velence Mts., Hungary. *Geologica Carpathica*, **44**, 143–153.
- Buda, Gy., Koller, F., Kovács, J. és Ulrych, J. (2004a): Compositional variation of biotite from Variscan granitoids in Central Europe: A statistical evaluation. *Acta Mineralogica-Petrographica*, **45/1**, 21–37.
- Buda, Gy., Koller, F. és Ulrych, J. (2004b): Petrochemistry of Variscan granitoids of Central Europe: Correlation of Variscan granitoids of the Tisia and Pelsonia Terranes with granitoids of the Moldanubicum, Western Carpathian and Southern Alps. A review: Part I. *Acta Geologica Hungarica*, **47**, 117–138.
- Budai T. és Síkhegyi F. (2005): *Magyarország földtani térképe. L-34-2 Dorog (Esztergom)*. 1:100 000. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.

- Burns, R. G. (1993): *Mineralogical applications of crystal field theory*. 2nd Edition. Cambridge University Press, Cambridge, etc. 551 p.
- Burt, D. M. (1989): Vector representation of tourmaline compositions. *American Mineralogist*, **74**, 826–839.
- Castro, A., Moreno-Ventas, I. és de la Rosa, J. D. (1991): H-type (hybrid) granitoids: A proposed revision of the granite-type classification and nomenclature. *Earth-Science Reviews*, **31**, 237–253.
- Čech, V. I. (1963): About the antagonism between tourmaline and biotite. *Časopis Národního Muzea, Oddíl Přírodovědy*, **132**, 146–148.
- Černý, P. és Ercit, T. S. (2005): The classification of granitic pegmatites revisited. *Canadian Mineralogist*, **43**, 2005–2026.
- Chappell, B. W. és White, A. J. R. (1974): Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, **8**, 173–174.
- Christ, C. L. és Harder, H. (1978): Boron. In: Wedepohl, K. H. (Ed.): *Handbook of geochemistry. Vol. II/1. Elements H(1) to Al(13)*. Springer, Berlin-Heidelberg-New York.
- Clark, C. M. (2007): Tourmaline: Structural formula calculations. *Canadian Mineralogist*, **45**, 229–237.
- Colopietro, M. R. és Friberg, L. M. (1987): Tourmaline-biotite as a potential geothermometer for metapelites, Black Hills, South Dakota. *The Geological Society of America Annual Meeting, Abstracts with Programs*, **19**, 624.
- Csillagné Teplánszky E., Csongrádi J., Korpás L., Pentelényi L. és Vetőné Ákos É. (1983): A Börzsöny hegység központi területének földtani felépítése és ércesedése. *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1981. évről*, 77–127.
- Dachille, F., Simons, P. Y. és Roy, R. (1968): Pressure-temperature studies of anatase, brookite, rutile and TiO₂-II. *American Mineralogist*, **53**, 1929–1939.
- Dana, E. S. (1892): *The system of mineralogy of James Dwight Dana*. 6th Edition. John Wiley & Sons, New York. 1134 p.
- Deer, W. A., Howie, R. A. és Zussman, J. (1997): *Rock-forming minerals. Vol. 1B: Disilicates and ring silicates*. 2nd Edition. The Geological Society, London. 629 p.
- Demény A. (1987): Turmalinszemcsék geokémiai vizsgálata (Kőszegi-hegység). *Földtani Közlöny*, **117**, 131–140.
- Demény, A., Sharp, Z. D. és Pfeifer, H.-R. (1997): Mg-metasomatism and formation conditions of Mg-chlorite-muscovite-quartzphyllites (leucophyllites) of the Eastern Alps

- (W. Hungary) and their relations to Alpine whiteschists. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **128**, 247–260.
- Dietrich, R. V. (1985): *The tourmaline group*. Van Nostrand Reinhold, New York. 300 p.
- Dini, A., Mazzarini, F., Musumeci, G. és Rocchi, S. (2008): Multiple hydro-fracturing by boron-rich fluids in the Late Miocene contact aureole of eastern Elba Island (Tuscany, Italy). *Terra Nova*, **20**, 318–326.
- Donnay, G., Ingamells, C. O. és Mason, B. (1966): Buergerite, a new species of tourmaline. *American Mineralogist*, **51**, 198–199.
- Dozzi, M. V. és Selli, E. (2013): Specific facets-dominated anatase TiO₂: Fluorine-mediated synthesis and photoactivity. *Catalysts*, **3**, 455–485.
- Draganits, E. (1998): Seriengliederung im Kristallin des südlichen Ödenburger Gebirges (Burgenland) und deren Stellung zum Unterostalpin am Alpenostrand. *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, **141**, 113–146.
- Dunn, P. J., Appleman, D. E. és Nelen, J. E. (1977): Liddicoatite, a new calcium end-member of the tourmaline group. *American Mineralogist*, **62**, 1121–1124.
- Dutrow, B. L. és Henry, D. J. (2011): Tourmaline: A geologic DVD. *Elements*, **7**, 301–306.
- Dutrow, B. L. és Henry, D. J. (2016): Fibrous tourmaline: A sensitive probe of fluid compositions and petrologic environments. *Canadian Mineralogist*, **54**, 311–335.
- Dutrow, B. L. és Henry, D. J. (2018): Tourmaline compositions and textures: Reflections of the fluid phase. *Journal of Geosciences*, **63**, 99–110.
- Dyar, M. D., Taylor, M. E., Lutz, T. M., Francis, C. A., Guidotti, C. V. és Wise, M. (1998): Inclusive chemical characterization of tourmaline: Mössbauer study of Fe valence and site occupancy. *American Mineralogist*, **83**, 848–864.
- Embey-Isztin, A. (1974): Petrochemistry of the dike-rocks in the Velence Hills (Hungary). *Annales Historico-Naturales Musei Nationalis Hungarici*, **66**, 23–32.
- Embey-Isztin A. (1975): Dilatációs és kiszorításos (metaszomatikus) telérek a Velencei-hegységben. *Fragmenta Mineralogica et Palaeontologica*, **6**, 43–61.
- Erdélyi J., Koblenz V. és Tolnay V. (1957): A nagybörzsönyi agyagásvány és az ércesedés néhány újabb kísérőásványa. *Földtani Közlöny*, **87**, 400–418.
- Ertl, A., Hughes, J. M., Prowatke, S., Ludwig, T., Prasad, P. S. R., Brandstätter, F., Körner, W., Schuster, R., Pertlik, F. és Marschall, H. (2006): Tetrahedrally coordinated boron in tourmalines from the liddicoatite-elbaite series from Madagascar: Structure, chemistry, and infrared spectroscopic studies. *American Mineralogist*, **91**, 1847–1856.

- Ertl, A., Mali, H., Schuster, R., Körner, W., Hughes, J. M., Brandstätter, F. és Tillmanns, E. (2010): Li-bearing, disordered Mg-rich tourmaline from a pegmatite-marble contact in the Austroalpine basement units (Styria, Austria). *Mineralogy and Petrology*, **99**, 89–104.
- Ertl, A., Baksheev, I. A., Giester, G., Lengauer, C. L., Prokofiev, V. Yu. és Zorina, L. D. (2016): Bosiite, $\text{NaFe}^{3+}_3(\text{Al}_4\text{Mg}_2)(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3\text{O}$, a new ferric member of the tourmaline supergroup from the Darasun gold deposit, Transbaikalia, Russia. *European Journal of Mineralogy*, **28**, 581–591.
- Fehér B. (1998-99): Hidrotermás turmalin Bükk-szentlászlóról. *Folia Historico Naturalia Musei Matraensis*, **23**, 5–15.
- Fehér B. (2014): Egy nagyméretű turmalinkristály a Soproni-hegységből. *Geoda*, **24/3**, 35–37.
- Fehér, B. (2015a): Reinvestigation of tourmaline from Nagybörzsöny, Börzsöny Mts., Hungary. *Acta Mineralogica-Petrographica, Abstract Series*, **9**, 15.
- Fehér B. (2015b): Turmalin kötőanyagú hidrotermás breccsa Miskolc-Bükk-szentlászlóról. *Herman Ottó Múzeum Évkönyve*, **54**, 11–23.
- Fehér B. (2017): Foitit-magneziofoitit a rózs-hegyi ércesedésből, avagy a nagybörzsönyi turmalin újvizsgálata. *Földtani Közlöny*, **147**, 133–148.
- Fehér, B. (2018): The first crystal-chemical data of tourmalines from the Velence Granite Formation, Velence Mts., Hungary. In: Ondrejka, M., Cempírek, J. és Bačík, P. (Eds.): *Joint 5th Central-European Mineralogical Conference and 7th Mineral Sciences in the Carpathians Conference, Book of Abstracts*. Comenius University, Bratislava, p. 22.
- Fehér B. (2020a): A 2020. év ásványa, a turmalin. In: Fehér B. (szerk.): *XXXVIII. Miskolci Nemzetközi Ásványfesztivál*. Miskolci Egyetem, Miskolc, pp. 5–19.
- Fehér B. (2020b): A magyarországi turmalinok. *Geoda*, **30/2**, 35–46.
- Fehér, B. és Zajzon, N. (2021): Tourmalines of the Velence Granite Formation and the surrounding contact slate, Velence Mountains, Hungary. *Central European Geology*, **64**, 38–58.
- Fehér, B., Szakáll, S., Kristály, F. és Zajzon, N. (2016): Mineralogical mosaics from the Carpathian-Pannonian region 3. *Földtani Közlöny*, **146**, 47–60.
- Filipović, I., Jovanović, D., Sudar, M., Pelikán, P., Kovács, S., Less, Gy. és Hips, K. (2003): Comparison of the Variscan-Early Alpine evolution of the Jardar Block (NW Serbia) and “Bükkium” (NE Hungary) terranes; some paleogeographic implications. *Slovak Geological Magazine*, **9**, 23–40.

- Fleet, M. E. (2003): *Rock-forming minerals. Vol. 3A: Sheet silicates: Micas*. 2nd Edition. The Geological Society, London. 758 p.
- Foit, F. F., Jr. és Rosenberg, P. E. (1977): Coupled substitutions in the tourmaline group. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **62**, 109–127.
- Foit, F. F., Jr. és Rosenberg, P. E. (1979): The structure of vanadium-bearing tourmaline and its implications regarding tourmaline solid solutions. *American Mineralogist*, **64**, 788–798.
- Foord, E. E., Martin, R. F., Fitzpatrick, J. J., Taggart, J. E., Jr. és Crock, J. G. (1991): Boromuscovite, a new member of the mica group, from the Little Three mine pegmatite, Ramona district, San Diego County, California. *American Mineralogist*, **76**, 1998–2002.
- Fron del, C. és Collette, R. L. (1957): Synthesis of tourmaline by reaction of mineral grains with NaCl-H₃BO₃ solution, and its implications in rock metamorphism. *American Mineralogist*, **42**, 754–758.
- Fülöp J. (1990): *Magyarország geológiája. Paleozoikum I.* Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest. 325 p.
- Gál P., Lukács R., Józsa S., Dunkl I. és Németh N. (2018): A bükkszentlászlói triász metavulkanitok közettani, geokémiai és geokronológiai újvizsgálatának eredményei. In: Berkesi M., Cseresznyés D., Gelencsér O., Király Cs., Pálos Zs., Spráncz T. és Szabó Zs. (szerk.): *Az asztenoszféától az atmoszféráig*. 9. Közettani és Geokémiai Vándorgyűlés, Szentkút, 2018. szeptember 6-8. Absztrakt kötet. ELTE Litoszféra Fluidum Kutató Laboratórium, Budapest, pp. 53–54.
- Gawęda, A., Müller, A., Stein, H., Kądziołko-Gaweł, M. és Mikulski, S. (2013): Age and origin of the tourmaline-rich hydraulic breccias in the Tatra Granite, Western Carpathians. *Journal of Geosciences*, **58**, 133–148.
- Gméling K. (2010): *A Kárpát-Pannon térség miocén-kvarter mészkáli vulkáni kőzeteinek bór geokémiai összetétele és kapcsolata a szubdukciós folyamatokkal: Prompt-gamma aktivációs analitikai vizsgálatok*. Doktori értekezés, ELTE Közzettan-Geokémiai Tanszék, Budapest. 161 p.
- Goldschmidt, V. (1923): *Atlas der Krystallformen*. Band IX. Carl Winters Universitätsbuchhandlung, Heidelberg. 192 p. (Text) + 128 p. (Tafeln).
- Goldstein, J. I., Lyman, C. E., Newbury, D. E., Lifshin, E., Echlin, P., Sawyer, L., Joy, D. C. és Michael, J. R. (2003): *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis*.

- 3rd Edition. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York-Boston-Dordrecht-London-Moscow. 689 p.
- Göd, R., Heiss, G. és Koller, F. (2010): Geochemistry of metapelite hosted tourmalinites, Eastern Alps, Austria. *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, **150**, 325–341.
- Grice, J. D. és Ercit, T. S. (1993): Ordering of Fe and Mg in the tourmaline crystal structure: The correct formula. *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen*, **165**, 245–266.
- Grice, J. D., Ercit, T. S. és Hawthorne, F. C. (1993): Povondraite, a redefinition of the tourmaline ferridravite. *American Mineralogist*, **78**, 433–436.
- Guidotti, C. V. (1984): Micas in metamorphic rocks. In: Bailey, S. W. (Ed.): Micas. *Reviews in Mineralogy*, **13**, 357–468.
- Guillot, S. és Le Fort, P. (1995): Geochemical constraints on the bimodal origin of High Himalayan leucogranites. *Lithos*, **35**, 221–234.
- Gyalog L. (szerk.) (1996): *A földtani térképek jelkulcsa és a rétegtani egységek rövid leírása*. A Magyar Állami Földtani Intézet Alkalmi Kiadványa 187. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest. 171 p.
- Gyalog L. (2005a): *Magyarország földtani térképe. L-34-25 Székesfehérvár*. 1:100 000. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- Gyalog L. (2005b): *Magyarország földtani térképe. L-34-26 Százhalombatta (Ráckeve)*. 1:100 000. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- Gyalog L. és Horváth I. (szerk.) (2004): *A Velencei-hegység és a Balatonfő földtana. Magyarázó a Velencei-hegység földtani térképéhez (1:25 000) és a Balatonfő–Velencei-hegység mélyföldtani térképéhez (1:100 000)*. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest. 316 p.
- Hamburger, G. E. és Buerger, M. J. (1948): The structure of tourmaline. *American Mineralogist*, **33**, 532–540.
- Hamlin, A. C. (1873): *The tourmaline*. James R. Osgood and Company, Boston. 107 p.
- Hatert, F. és Burke, E. A. J. (2008): The IMA-CNMNC dominant-constituent rule revisited and extended. *Canadian Mineralogist*, **46**, 717–728.
- Hawthorne, F. C. (1996): Structural mechanisms for light-element variations in tourmaline. *Canadian Mineralogist*, **34**, 123–132.
- Hawthorne, F. C. (2002): Bond-valence constraints on the chemical composition of tourmaline. *Canadian Mineralogist*, **40**, 789–797.
- Hawthorne, F. C. és Henry, D. J. (1999): Classification of the minerals of the tourmaline group. *European Journal of Mineralogy*, **11**, 201–215.

- Hawthorne, F. C., MacDonald, D. J. és Burns, P. C. (1993): Reassignment of cation site occupancies in tourmaline: Al-Mg disorder in the crystal structure of dravite. *American Mineralogist*, **78**, 265–270.
- Hawthorne, F. C., Burns, P. C. és Grice, J. D. (1996): The crystal chemistry of boron. In: Grew, E. S. és Anovitz, L. M. (Eds.): Boron. Mineralogy, petrology and geochemistry. *Reviews in Mineralogy*, **33**, 41–115.
- Hawthorne, F. C., Selway, J. B., Kato, A., Matsubara, S., Shimizu, M., Grice, J. D. és Vajdak, J. (1999): Magnesiofoitite, $\square(\text{Mg}_2\text{Al})\text{Al}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_4$, a new alkali-deficient tourmaline. *Canadian Mineralogist*, **37**, 1439–1443.
- Henry, D. J. és Dutrow, B. L. (1996): Metamorphic tourmaline and its petrologic applications. In: Grew, E. S. és Anovitz, L. M. (Eds.): Boron. Mineralogy, petrology and geochemistry. *Reviews in Mineralogy*, **33**, 503–557.
- Henry, D. J. és Dutrow, B. L. (2011): The incorporation of fluorine in tourmaline: Internal crystallographic controls or external environmental influences? *Canadian Mineralogist*, **49**, 41–56.
- Henry, D. J. és Guidotti, C. V. (1985): Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: An example from the staurolite-grade metapelites of NW Maine. *American Mineralogist*, **70**, 1–15.
- Henry, D. J., Novák, M., Hawthorne, F. C., Ertl, A., Dutrow, B. L., Uher, P. és Pezzotta, F. (2011): Nomenclature of the tourmaline-super group minerals. *American Mineralogist*, **96**, 895–913.
- Holland, T. J. B. és Redfern, S. A. T. (1997): Unit cell refinement from powder diffraction data: The use of regression diagnostics. *Mineralogical Magazine*, **61**, 65–77.
- Horváth I., Ódor L. és Ó. Kovács L. (1989): A velencei-hegységi gránit metallogéniai sajátosságai. *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1987. évről*, 349–365.
- Hraško, Ľ., Bezák, V. és Molák, B. (1997): Postorogénne peraluminózne dvojsľudné granity a granitové porfýry v kohútskej zóne veporika (oblasť Klenovec-Zlatno). *Mineralia Slovaca*, **29**, 113–135.
- Hughes, J. M., Ertl, A., Dyar, M. D., Grew, E. S., Shearer, C. K., Yates, M. G. és Guidotti, C. V. (2000): Tetrahedrally coordinated boron in a tourmaline: Boron-rich olenite from Stoffhütte, Koralpe, Austria. *Canadian Mineralogist*, **38**, 861–868.
- Hughes, J. M., Rakovan, J., Ertl, A., Rossman, G. R., Baksheev, I. és Bernhardt, H.-J. (2011): Dissymetrization in tourmaline: The atomic arrangement of sectorally zoned triclinic Ni-bearing dravite. *Canadian Mineralogist*, **49**, 29–40.

- Jantsky B. (1957): A Velencei-hegység földtana. *Geologica Hungarica – Series Geologica*, **10**, 1–170.
- Jébrak, M. (1997): Hydrothermal breccias in vein-type ore deposits: A review of mechanisms, morphology and size distribution. *Ore Geology Reviews*, **12**, 111–134.
- Jolliff, B. L., Papike, J. J. és Shearer, C. K. (1986): Tourmaline as a recorder of pegmatite evolution: Bob Ingersoll pegmatite, Black Hills, South Dakota. *American Mineralogist*, **71**, 472–500.
- Kisházi, P. (1977): Contributions to the knowledge of metamorphic rocks of Sopron Hills (Western Hungary). *Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt*, **1977/2**, 35–43.
- Kisházi, P. és Ivancsics, J. (1985): Genetic petrology of the Sopron Crystalline Schist Sequence. *Acta Geologica Hungarica*, **28**, 191–213.
- Kisházi P. és Ivancsics J. (1987): A Soproni Csillámpala Formáció genetikai közettana. *Földtani Közlöny*, **117**, 203–221.
- Kisházi P. és Ivancsics J. (1988): Adatok a Zempléni-szerkezet kristályos paláinak közettanához. *Földtani Közlöny*, **118**, 109–124.
- Kisházi P. és Ivancsics J. (1989): A Soproni Gneisz Formáció genetikai közettana. *Földtani Közlöny*, **119**, 153–166.
- Koch, S. (1957): Hydrothermal tourmaline from Nagybörzsöny. *Acta Mineralogica-Petrographica*, **10**, 47–50.
- Koch S. (1966): *Magyarország ásványai*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Koch S. és Sztrókay K. I. (1967): *Ásványtan II*. 2. kiadás. Tankönyvkiadó, Budapest. 936 p.
- Kolitsch, U., Husdal, T. A., Brandstätter, F. és Ertl, A. (2011): New crystal-chemical data for members of the tourmaline group from Norway: Occurrences of fluor-schorl and luinaite-(OH). *Norsk Bergverksmuseum Skrift*, **46**, 17–24.
- Kolitsch, U., Andresen, P., Husdal, T. A., Ertl, A., Haugen, A., Ellingsen, H. V. és Larsen, A. O. (2013): Tourmaline-group minerals from Norway, part II: Occurrences of luinaite-(OH) in Tvedalen, Larvik and Porsgrunn, and fluor-liddicoatite, fluor-elbaite and fluor-schorl at Ågskardet, Nordland. *Norsk Bergverksmuseum Skrift*, **50**, 23–41.
- Kornyetova, V. A. (1975): O klasszifikacii minyeralov gruppi turmalina. *Zapiski Vsesozhuznava Minyeralogiceszkava Obscsesztva*, **104/3**, 332–336.
- Korpás L. (szerk.) (1998): *Magyarázó a Börzsöny és a Visegrádi-hegység földtani térképéhez*. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest. 216 p.
- Korpás, L. és Lang, B. (1993): Timing of volcanism and metallogenesis in the Börzsöny Mountains, Northern Hungary. *Ore Geology Reviews*, **8**, 477–501.

- Kubovics, I., Nagy, B., Nagy-Balogh, J. és Puskás, Z. (1989): Beryllium and some other rare element contents of acid volcanics (tuffs) and metamorphites in Hungary. *Acta Geologica Hungarica*, **21**, 219–231.
- Kuti L. és Pentelényi L. (2005): *Magyarország földtani térképe. M-34-128 Sátoraljaújhely.* M = 1:100 000. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- Lázár I. (2004): *A kristálytérelmélet alapjai.* Debreceni Egyetem, Debrecen. 17 p.
- Leeman, W. P. és Sisson, V. B. (1996): Geochemistry of boron and its implications for crustal and mantle processes. In: Grew, E. S. és Anovitz, L. M. (Eds.): Boron. Mineralogy, petrology and geochemistry. *Reviews in Mineralogy*, **33**, 645–708.
- Lelkes-Felvári, Gy., Sassi, F. P. és Visonà, D. (1982): On the genesis of some leuchtenbergite-bearing metamorphic rocks and their phase relations. *Rendiconti Società Italiana di Mineralogia e Petrologia*, **38**, 607–615.
- Lelkesné Felvári Gy., Sassi, F. P. és Visonà, D. (1986): A Soproni-hegység kristályos képződményeinek pre-alpi és alpi fejlődéstörténete. *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1984. évről*, 65–94.
- Less Gy., Kovács S., Pelikán P., Pentelényi L. és Sásdi L. (2005): *A Bükk hegység földtana.* Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest. 284 p.
- Livi, K. J. T., Christidis, G. E., Árkai, P. és Veblen, D. R. (2008): White mica domain formation: A model for paragonite, margarite, and muscovite formation during prograde metamorphism. *American Mineralogist*, **93**, 520–527.
- Loiselle, M. C. és Wones, D. R. (1979): Characteristics of anorogenic granites. *Geological Society of America, Abstracts with Programme*, **11**, 468.
- London, D. (1999): Stability of tourmaline in peraluminous granite systems: The boron cycle from anatexis to hydrothermal aureoles. *European Journal of Mineralogy*, **11**, 253–262.
- London, D. (2011): Experimental synthesis and stability of tourmaline: A historical overview. *Canadian Mineralogist*, **49**, 117–136.
- London, D. és Manning, D. A. C. (1995): Chemical variation and significance of tourmaline from Southwest England. *Economic Geology*, **90**, 495–519.
- London, D., Hervig, L. R. és Morgan, G. B. (1988): Melt-vapor solubilities and elemental partitioning in peraluminous granite-pegmatite systems: Experimental results with Macusani glass at 200 MPa. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **99**, 360–373.

- London, D., Morgan, G. B. és Wolf, M. B. (1996): Boron in granitic rocks and their contact aureoles. In: Grew, E. S. és Anovitz, L. M. (Eds.): Boron. Mineralogy, petrology and geochemistry. *Reviews in Mineralogy*, **33**, 299–330.
- Lussier, A. J. (2011): *Zonation in tourmaline from granitic pegmatites és the occurrence of tetrahedrally coordinated aluminum and boron in tourmaline*. PhD Thesis, University of Manitoba, Winnipeg. 405 p.
- Lussier, A., Ball, N. A., Hawthorne, F. C., Henry, D. J., Shimizu, R., Ogasawara, Y. és Ota, T. (2016): Maruyamaite, $K(\text{MgAl}_2)(\text{Al}_5\text{Mg})\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3\text{O}$, a potassium-dominant tourmaline from the ultrahigh-pressure Kokchetav massif, northern Kazakhstan: Description and crystal structure. *American Mineralogist*, **101**, 355–361.
- Lyckberg, P. (1997): Giant tourmaline crystals in granitic pegmatites. *Tourmaline 1997, International Symposium on Tourmaline, Nové Město na Moravě, Czech Republic. Abstracts*, p. 120.
- Lynch, G. és Ortega, J. (1997): Hydrothermal alteration and tourmaline-albite equilibria at the Coxheath porphyry Cu-Mo-Au deposit, Nova Scotia. *Canadian Mineralogist*, **35**, 79–94.
- Maniar, P. D. és Piccoli, P. M. (1989): Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, **101**, 635–643.
- Mills, S. J., Hatert, F., Nickel, E. H. és Ferraris, G. (2009): The standardisation of mineral group hierarchies: Application to recent nomenclature proposals. *European Journal of Mineralogy*, **21**, 1073–1080.
- Molnár, F. (2004): Characteristics of Variscan and Paleogene fluid mobilization and ore forming processes in the Velence Mts., Hungary: A comparative fluid inclusion study. *Acta Mineralogica-Petrographica*, **45/1**, 55–63.
- Molnár, F., Török, K. és Jones, P. (1995): Crystallization conditions of pegmatites from the Velence Mts, western Hungary, on the basis of thermobarometric studies. *Acta Geologica Hungarica*, **38**, 57–80.
- Morgan, G. B. (2016): A spreadsheet for calculating normative mole fractions of end-member species for Na-Ca-Li-Fe²⁺-Mg-Al tourmalines from electron microprobe data. *American Mineralogist*, **101**, 111–119.
- Nabelek, P. I., Russ-Nabelek, C. és Denison, J. R. (1992): The generation and crystallization conditions of the Proterozoic Harney Peak leucogranite, Black Hills, South Dakota, USA: Petrologic and geochemical constraints. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **110**, 173–191.

- Nagy B. (1967a): A sukorói turmalinos pegmatitelfordulás ásványkőzettani, geokémiai vizsgálata. *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1965. évről*, 507–515.
- Nagy B. (1967b): A velencei-hegységi gránitos kőzetek ásvány-kőzettani, geokémiai vizsgálata. *Földtani Közlöny*, **97**, 423–436.
- Nagy B. (1971): Jelentés a nagybörzsönyi hidrotermális ércesedés geokémiai vizsgálatáról. *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1969. évről*, 245–269.
- Nagy B. (1978): Börzsöny hegységi ércesedési típusok ásványtani-geokémiai és ércföldtani vizsgálata. *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1976. évről*, 77–93.
- Nagy B. (1983): Adatok a nagybörzsönyi Rózsabánya ércesedésének genetikai ismereteihez. *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1981. évről*, 129–154.
- Nagy B. (1984): A nagybörzsönyi ércbányászat és érckutató története. *Földtani Közlöny*, **114**, 387–403.
- Németh N. és Gál P. (2018): A bükk-szentlászlói metavulkanitok szövetének deformációs jelenségei. In: Berkesi M., Cseresznyés D., Gelencsér O., Király Cs., Pálos Zs., Spráncz T. és Szabó Zs. (szerk.): *Az asztenoszférától az atmoszféráig*. 9. Közzétani és Geokémiai Vándorgyűlés, Szentkút, 2018. szeptember 6-8. Absztrakt kötet. ELTE Litoszféra Fluidum Kutató Laboratórium, Budapest, pp. 133–134.
- Neugebauer, J. (1988): The Variscan plate tectonic evolution: An improved “Iapetus model”. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, **68**, 313–333.
- Nishio-Hamane, D., Minakawa, T., Yamaura, J., Oyama, T., Ohnishi, M. és Shimobayashi, N. (2014): Adachiite, a Si-poor member of the tourmaline supergroup from the Kiura mine, Oita Prefecture, Japan. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **109**, 74–78.
- Novák, M. (1998): Blue dravite as an indicator of fluid composition during subsolidus replacement processes in Li-poor granitic pegmatites in the Moldanubicum, Czech Republic. *Journal of the Czech Geological Society*, **43**, 24–30.
- Novák, M., Škoda, R., Filip, J., Macek, I. és Vaculovič, T. (2011): Compositional trends in tourmaline from intragranitic NYF pegmatites of the Třebíč pluton, Czech Republic: An electron microprobe, Mössbauer and LA-ICP-MS study. *Canadian Mineralogist*, **49**, 359–380.
- Novák, M., Ertl, A., Povondra, P., Vašinová Galiová, M., Rossman, G. R., Pristacz, H., Prem, M., Giester, G., Gadas, P. és Škoda, R. (2013): Darrellhenryite, $\text{Na}(\text{LiAl}_2)\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_3\text{O}$, a new mineral from the tourmaline supergroup. *American Mineralogist*, **98**, 1886–1892.

- Ondrejka, M., Bačík, P., Sobocký, T., Uher, P., Škoda, R., Mikuš, T., Luptáková, J. és Konečný, P. (2018): Minerals of the rhabdophane group and the alunite supergroup in microgranite: Products of low-temperature alteration in a highly acidic environment from the Velence Hills, Hungary. *Mineralogical Magazine*, **82**, 1277–1300.
- Ozdín, D. és Szakáll, S. (2014): Chemical composition of axinite-(Fe) from Miskolc-Lillafüred, Bükk Mountains, Hungary. In: Fehér B. (szerk.): *Az ásványok vonzásában. Tanulmányok a 60 éves Szakáll Sándor tiszteletére*. Herman Ottó Múzeum és Magyar Minerofil Társaság, Miskolc, pp. 203–217.
- Pantó G. (1951): Az eruptívumok földtani helyzete Diósgyőr és Bükkzentkereszt között. *Földtani Közlöny*, **81**, 137–145.
- Pantó G. (1965): A Tokaji-hegység harmadkor előtti képződményei. *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1963. évről*, 227–241.
- Pantó G. és Mikó L. (1964): A nagybörzsönyi ércesedés. *Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve*, **50/1**, 1–153.
- Pantó, Gy. (1977): Genetic significance of rare earth elements in the granitoid rocks of Hungary. *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, **21**, 105–113.
- Pantó, Gy., Jović, V., Fórizs, I. és Vukov, M. (1988): Genetic significance of REE accessory minerals in granitic rocks. *Vesnik, Beograd*, **44**, 89–100.
- Pesquera, A., Torres, F., Gil-Crespo, P. és Torres-Ruiz, J. (2008): TOURCOMP: A program for estimating end-member proportions in tourmalines. *Mineralogical Magazine*, **72**, 1021–1034.
- Pesquera, A., Torres-Ruiz, J., García-Casco, A. és Gil-Crespo, P. P. (2013): Evaluating the controls on tourmaline formation in granitic systems: A case study on peraluminous granites from the Central Iberian Zone (CIZ), Western Spain. *Journal of Petrology*, **54**, 609–634.
- Petrík, I., Broska, I., Bezák, V. és Uher, P. (1995): Granit typu Hrončok – hercýnski granit A typu v strižnej zone. *Mineralia Slovaca*, **27**, 351–364.
- Pezzotta, F. és Laurs, B. M. (2011): Tourmaline: The kaleidoscopic gemstone. *Elements*, **7**, 331–336.
- Pieczka, A. (2007): Blue dravite from the Szklary pegmatite (Lower Silesia, Poland). *Mineralogia*, **38/2**, 209–218.
- Pitcher, W. S. (1993): *The nature and origin of granite*. Chapman & Hall, London. 321 p.

- Pouchou, J.-L. és Pichoir, F. (1984): A new model for quantitative X-ray micro-analysis. Part I: Application to the analysis of homogeneous samples. *La Recherche Aerospatiale*, **3**, 13–38.
- Povondra, P. (1981): The crystal chemistry of tourmalines of the schorl-dravite series. *Acta Universitatis Carolinae – Geologica*, **3**, 223–264.
- Pozsgai I. (1995): *A pásztázó elektronmikroszkópia és az elektronsugaras mikroanalízis alapjai*. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest. 172 p.
- Pozsgai I. (2016): *Képkalkotás, kémiai analízis és szerkezeti vizsgálat a korszerű pásztázó elektronmikroszkópban*. Typotex Kiadó, Budapest. 333 p.
- Reed, S. J. B. (2005): *Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology*. 2nd Edition. Cambridge University Press, Cambridge. 192 p.
- Rónai A. és Less Gy. (2005): *Magyarország földtani térképe. M-34-138 Miskolc*. 1:100 000. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- Rosenberg, P. E. és Foit, F. F., Jr. (2006): Magnesiofoitite from the uranium deposits of the Athabasca Basin, Saskatchewan, Canada. *Canadian Mineralogist*, **44**, 959–965.
- Scaillet, B., Pichavant, M. és Roux, J. (1995): Experimental crystallization of leucogranite magmas. *Journal of Petrology*, **36**, 663–705.
- Scharek P., Kaiser M., Szeiler R., Tullner T., Ivancsics J. és Síkhegyi F. (2005a): *Magyarország földtani térképe 1:100 000*. L-33-9, L-33-10, Wiener Neustadt (Görbehalomtelep), Sopron. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- Scharek P., Kaiser M., Szeiler R., Tullner T., Síkhegyi F. és Ivancsics J. (2005b): *Magyarország földtani térképe 1:100 000*. L-33-21, L-33-22, Friedberg (Brennbergbánya), Kőszeg. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- Schreyer, W., Wodara, U., Marler, B., van Aken, P. A., Seifert, F. és Robert, J.-L. (2000): Synthetic tourmaline (olenite) with excess boron replacing silicon in the tetrahedral site I. Synthesis conditions, chemical and spectroscopic evidence. *European Journal of Mineralogy*, **12**, 529–541.
- Selway, J. B. (1999): *Compositional evolution of tourmaline in granitic pegmatites*. PhD Thesis, University of Manitoba, Winnipeg. 363 p.
- Selway, J. és Xiong, J. (2002): *Tourmaline recalculation spreadsheet (Tourmaline.xls)*. Letöltve a <http://www.open.ac.uk/earth-research/tindle> oldalról (jelenleg nem elérhető).
- Shand, S. J. (1943): *The eruptive rocks*. 2nd Edition. John Wiley, New York. 444 p.

- Shimizu, R. és Ogasawara, Y. (2013): Diversity of potassium-bearing tourmalines in diamondiferous Kokchetav UHP metamorphic rocks: A geochemical recorder from peak to retrograde metamorphic stages. *Journal of Asian Earth Sciences*, **63**, 39–55.
- Shtukenberg, A., Rozhdestvenskaya, I., Frank-Kamenetskaya, O., Bronzova, J., Euler, H., Kirfel, A., Bannova, I. és Zolotarev, A. (2007): Symmetry and crystal structure of biaxial elbaite-liddicoatite tourmaline from the Transbaikalia region, Russia. *American Mineralogist*, **92**, 675–686.
- Slack, J. F. (1996): Tourmaline associations with hydrothermal ore deposits. In: Grew, E. S. és Anovitz, L. M. (Eds.): Boron. Mineralogy, petrology and geochemistry. *Reviews in Mineralogy*, **33**, 559–643.
- Slack, J. F. és Coad, P. R. (1989): Multiple hydrothermal and metamorphic events in the Kidd Creek volcanogenic massive sulphide deposit, Timmins, Ontario: Evidence from tourmalines and chlorites. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **26**, 694–715.
- Slack, J. F. és Trumbull, R. B. (2011): Tourmaline as a recorder of ore-forming processes. *Elements*, **7**, 321–326.
- Slack, J. F., Herriman, N., Barnes, R. G. és Plimer, I. R. (1984): Stratiform tourmalinites in metamorphic terranes and their geologic significance. *Geology*, **12**, 713–716.
- Smith, S. J., Stevens, R., Liu, S., Li, G., Navrotsky, A., Boerio-Goates, J. és Woodfield, B. F. (2009): Heat capacities and thermodynamic functions of TiO₂ anatase and rutile: Analysis of phase stability. *American Mineralogist*, **94**, 236–243.
- Sokolov, M. és Martin, R. F. (2009): A Pb-dominant member of the tourmaline group, Minh Tien granitic pegmatite, Luc Yen district, Vietnam. *Estudios Geológicos*, **19**, 352–353.
- Spránitz T. (2017): *A Soproni-hegység turmalinban gazdag metamorf kőzeteinek petrográfiai elemzése és genetikai értelmezése*. Diplomamunka, ELTE Közettan-Geokémiai Tanszék, Budapest. 138 p.
- Spránitz, T., Kovács, Z., Váczi, B., Török, K. és Józsa, S. (2017): Petrographic study of tourmaline-rich metamorphic rocks in the Sopron area, Eastern Alps (W-Hungary). *Tourmaline 2017 International Symposium, Book of Abstracts*. Skalský dvůr, Czech Republic, June 23–28, 2017, pp. 81–83.
- Spránitz, T., Józsa, S., Kovács, Z., Váczi, B. és Török, K. (2018): Magmatic and metamorphic evolution of tourmaline-rich rocks of the Sopron area, Eastern Alps (W-Hungary). *Journal of Geosciences*, **63**, 175–191.
- Strunz, H. és Nickel, E. H. (2001): *Strunz mineralogical tables*. 9th Edition. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. 870 p.

- Szabó I. és Vincze J. (2013): A bükk-szentkereszti riolit (kvarcporfir)-tufa Mn-ércesedéssel társult U-Be tartalmú foszfátásványosodása. *Földtani Közlöny*, **143**, 3–28.
- Szakáll S. és Földvári M. (1995): Magyarország új ásványai III. Ferroaxinit és krizokolla Miskolc-Lillafüredről. *Földtani Közlöny*, **125**, 433–442.
- Szakáll S., Gatter I. és Szendrei G. (2005): *A magyarországi ásványfajok*. Köország Kiadó, Budapest. 427 p.
- Szakáll S., Fehér B., Kristály F. és Zajzon N. (2012): A nagybörzsönyi Rózsa-hegy ércesedésének ásványai. *Geoda*, **22/3**, 16–47.
- Szakáll S., Gyalog L., Kristály F., Zajzon N. és Fehér B. (2014): Ritkaföldfémek a velencei-hegységi granitoidokban és alkáli magmás kőzetekben. In: Szakáll S. (szerk.): *Ritkaföldfémek magyarországi földtani képződményekben*. CriticEl Monográfia-sorozat 5. Milagrossa kft., Miskolc, 67–90.
- Szentpétery, Zs. (1929): Eruptivserie im Savóstale bei Lillafüred. *Acta Chemica, Mineralogica et Physica*, **1**, 72–128.
- Szentpétery Zs. (1931): A Bagolyhegy quarzporphyryja, Lillafürednél. *Acta Chemica, Mineralogica et Physica*, **2**, 81–150.
- Szentpétery, Zs. (1934a): Petrologische Verhältnisse des Fehérkő-Berges und die detaillierte Physiographie seiner Eruptivgesteine. *Acta Chemica, Mineralogica et Physica*, **4**, 18–123.
- Szentpétery, Zs. (1934b): Porphyritserie ober Hámor im Bükkgebirge. *Acta Chemica, Mineralogica et Physica*, **3**, 149–181.
- Szentpétery Zs. (1935): A Fehérkő aljának eruptív része Lillafürednél. *Matematikai és Természettudományi Értesítő*, **52**, 253–286.
- Szentpétery Zs. (1936): A lillafüredi Szentistván-hegy eruptívumainak általános közettani viszonyai. *Matematikai és Természettudományi Értesítő*, **54**, 279–308.
- Szentpétery Zs. (1952): Az Alsóbagolyhegy kvarcporfirja a Bükkhegységben. *Földtani Közlöny*, **82**, 368–373.
- Szokolov, P. B., Gorszkaja, M. G., Gordijenko, V. V., Petrova, M. G., Krečer, Ju. L. és Frank-Kamenyckij, V. A. (1986): Olenit $\text{Na}_{1-x}\text{Al}_3\text{Al}_6\text{B}_3\text{Si}_6\text{O}_{27}(\text{O}, \text{OH})_4$ – novij viszokoglinozemisztij minyeral iz gruppi turmalinov. *Zapiski Vseszojuznava Minyerologicseskava Obscsesztva*, **115/1**, 119–123.
- Szoldán, Zs. (1990): Middle Triassic magmatic sequences from different tectonic settings in the Bükk Mts. NE Hungary. *Acta Mineralogica-Petrographica*, **31**, 25–42.

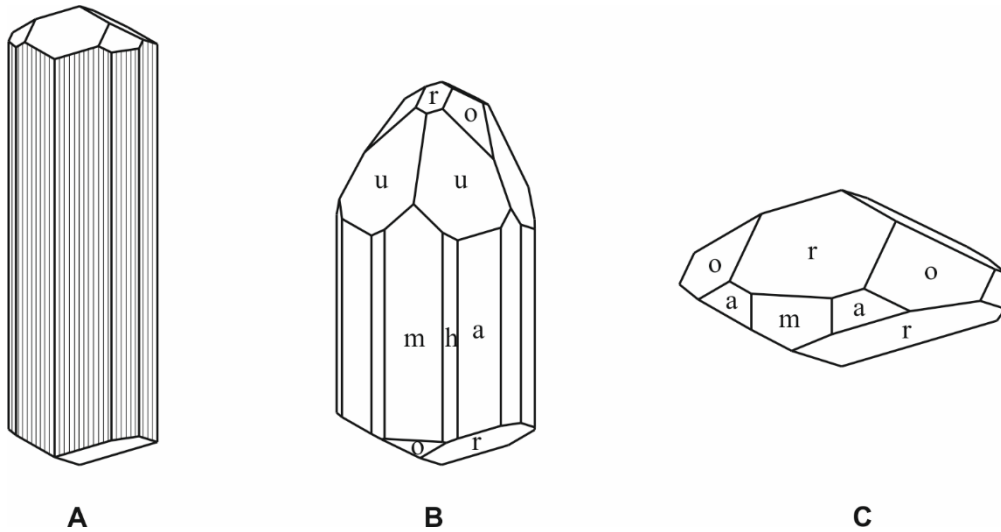
- Szoldán Zs. (1993): Szentistvánhegyi Metaandezit („Szentistvánhegyi Porfirit”) Formáció. In: Haas J. (szerk.): *Magyarország litosztratigráfiai alapegységei. Triász*. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 115–117.
- Sztanó, O., Bodó, K., Bartha, A. és Gál-Solymos, K. (1987–88): Electron microprobe analysis of tourmaline grains, Mecsek Mountains, Hungary. *Acta Mineralogica-Petrographica*, **29**, 27–33.
- Tagg, S. L., Cho, H., Dyar, M. D. és Grew, E. S. (1999): Tetrahedral boron in naturally occurring tourmaline. *American Mineralogist*, **84**, 1451–1455.
- Török, K. (1998): Magmatic and high-pressure metamorphic development of orthogneisses in the Sopron area, Eastern Alps (W-Hungary). *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen*, **173**, 63–91.
- Török, K. (1999): Pre-Alpine development of the andalusite-sillimanite-biotite-schist from the Sopron Mountains (Eastern Alps, Western Hungary). *Acta Geologica Hungarica*, **42**, 127–160.
- Török, K. (2001): Multiple fluid migration events in the Sopron Gneisses during the Alpine high-pressure metamorphism, as recorded by bulk-rock and mineral chemistry and fluid inclusions. *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen*, **177**, 1–36.
- Török, K. (2003): Alpine P-T path of micaschists and related orthogneiss veins near Óbrennberg (W-Hungary, Eastern Alps). *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen*, **179**, 101–142.
- Trumbull, R. B. és Chaussidon, M. (1999): Chemical and boron isotopic composition of magmatic and hydrothermal tourmalines from the Sinceni granite-pegmatite system in Swaziland. *Chemical Geology*, **153**, 125–137.
- Uher, P. és Broska, I. (1994): The Velence Mts granitic rocks: Geochemistry, mineralogy and comparison to Variscan Western Carpathian granitoids. *Acta Geologica Hungarica*, **37**, 45–66.
- Uher, P. és Broska, I. (1996): Post-orogenic Permian granitic rocks in the Western Carpathian-Pannonian area: Geochemistry, mineralogy and evolution. *Geologica Carpathica*, **47**, 311–321.
- Uher, P. és Gregor, T. (1992): Turčocký granit – produkt postorogénneho magmatizmu A-typu? *Mineralia Slovaca*, **24**, 301–304.
- Uher, P. és Ondrejka, M. (2009): The Velence granites, Transdanubic Superunit: A product of Permian A-type magmatism and Alpine overprint (results of zircon SHRIMP and monazite EMPA dating). *HUNTEK 2009, Proceedings of the 7th Meeting of the*

- Central European Tectonic Studies Group (CETeG) and 14th Meeting of the Czech Tectonic Studies Group (CTS) at Pécs, Hungary. Abstracts*, p. 32.
- Uher, P., Marschalko, R., Martiny, E., Puškelová, L., Streško, V., Toman, B. és Walzel, E. (1994): Geochemical characterization of granitic rock pebbles from Cretaceous to Paleogene flysch of the Pieniny Klippen belt. *Geologica Carpathica*, **45**, 171–183.
- Uher, P., Bačík, P. és Ozdín, D. (2009): Turmalín (magneziofoitit a dravit) v kremennej žile pri Limbachu (Malé Karpaty). *Mineralia Slovaca*, **41**, 445–456.
- van Hinsberg, V. J. és Schumacher, J. C. (2007): Intersector element partitioning in tourmaline: A potentially powerful single crystal thermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **153**, 289–301.
- van Hinsberg, V. J. és Schumacher, J. C. (2009): The geothermobarometric potential of tourmaline, based on experimental and natural data. *American Mineralogist*, **94**, 761–770.
- van Hinsberg, V. J., Henry, D. J. és Marschall, H. R. (2011): Tourmaline: An ideal indicator of its host environment. *Canadian Mineralogist*, **49**, 1–16.
- Vendl A. (1914): A Velencei hegység geológiai és petrográfiai viszonyai. *Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve*, **22/1**, 1–169.
- Vendl M. (1923): Újabb adatok a Velencei hegység kőzeteinek ismeretéhez. *Annales Musei Nationalis Hungarici*, **20**, 81–84.
- Vetőné Ákos É. (1982): Folyadék-gáz zárványok és az ércesedés kapcsolata a Börzsöny hegység központi részén. *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1980. évről*, 59–76.
- von Goerne, G., Franz, G. és Heinrich, W. (2001): Synthesis of tourmaline solid solutions in the system Na₂O-MgO-Al₂O₃-SiO₂-B₂O₃-H₂O-HCl and the distribution of Na between tourmaline and fluid at 300 to 700°C and 200 MPa. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **141**, 160–173.
- Wagner, T. és Cook, N. J. (2000): Late-orogenic Alpine-type (apatite)-quartz fissure vein mineralization in the Rheinisches Schiefergebirge, NW Germany: Mineralogy, formation conditions and lateral-secretory origin. *Mineralogical Magazine*, **64**, 539–560.
- Walenta, K. és Dunn, P. J. (1979): Ferridravite, a new mineral of the tourmaline group from Bolivia. *American Mineralogist*, **64**, 945–948.
- Wise, M. (1999): Characterization and classification of NYF-type pegmatites. *Canadian Mineralogist*, **37**, 802–803.

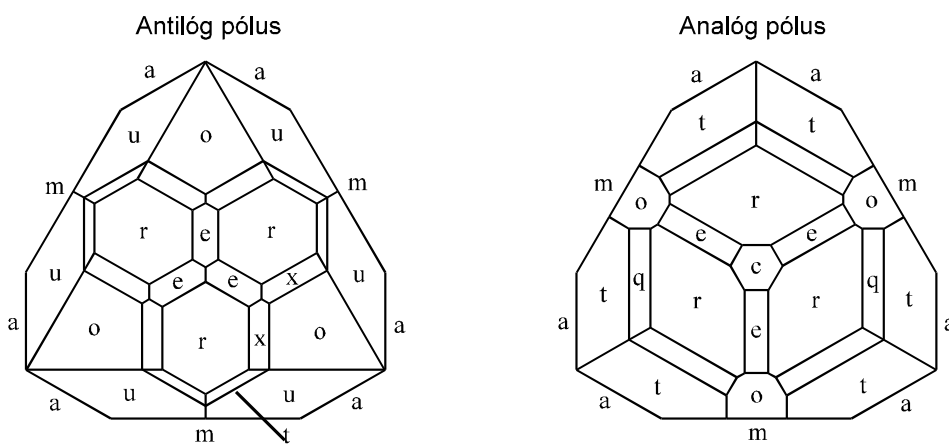
- Wolf, M. B. és London, D. (1997): Boron in granitic magmas: Stability of tourmaline in equilibrium with biotite and cordierite. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **130**, 12–30.
- Yavuz, F., Gültekin, A. H. és Karakaya, M. Ç. (2002): CLASTOUR: A computer program for classification of the minerals of the tourmaline group. *Computers és Geosciences*, **28**, 1017–1036.
- Yavuz, F., Yavuz, V. és Sasmaz, A. (2006): WinClastour – A Visual Basic program for tourmaline formula calculation and classification. *Computers és Geosciences*, **32**, 1156–1168.
- Yavuz, F., Karakaya, N., Yıldırım, D. K., Karakaya, M. Ç. és Kumral, M. (2014): A Windows program for calculation and classification of tourmaline-supergroup (IMA-2011). *Computers és Geosciences*, **63**, 70–87.
- Zajzon, N., Szakáll, S., Kristály, F., Váczi, T. és Fehér, B. (2015): Gadolinite-bearing NYF-type pegmatite from Sukoró, Velence Hills, Hungary. *Acta Mineralogica-Petrographica, Abstract Series*, **9**, 75.
- Zelenszkij, M. Je., Macejevskij, A. B. és Pekov, I. V. (2009): Programma QSpectr dlja avtomatycseszkaj obrabotki debajegramm. *Zapiszki Rosszijszkava Minyeralogicseskava Obscsesztva*, **138/4**, 103–112.
- Zolotarjov, A. A., Frank-Kamenyeckaja, O. V. és Rozsgyesztvenszkaja, I. V. (2006): Krisztallohimicseskije formul i opregyelenyije vidovoj prinadlezsnosztji minyeralog gruppi turmalina. *Zapiszki Rosszijszkava Minyeralogicseskava Obscsesztva*, **135/5**, 1–11.

Mellékletek I. Ábrák

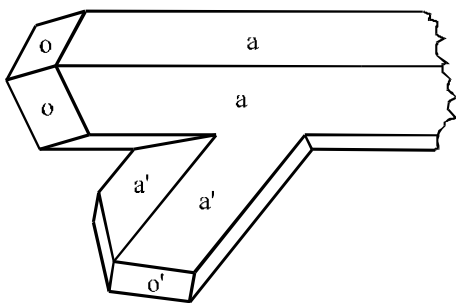
2. A turmalinok általános jellemzése



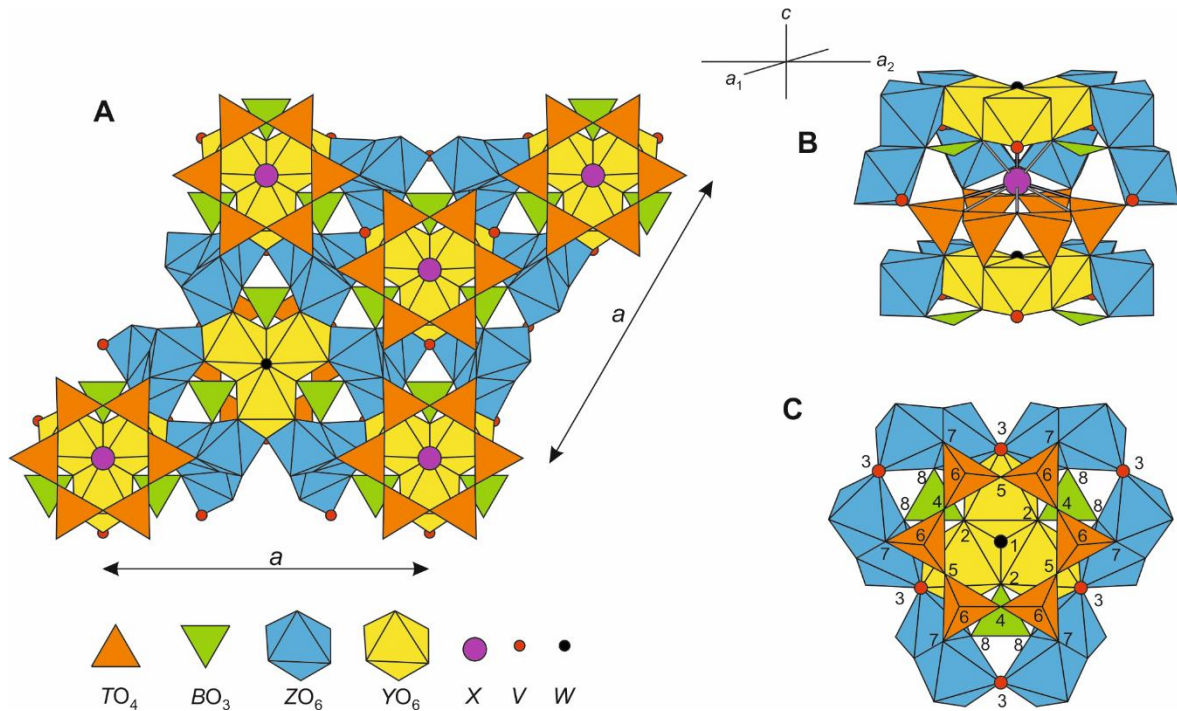
2.1. ábra: Jellemzőes turmalinkristályok (Goldschmidt, 1923): A) hosszanti irányban barázdált, oszlopos termet; B) zömök, oszlopos kristály; C) lencseszerű kristály (a betűkkel jelölt kristályformákhoz tartozó indexeket lásd a szövegben).



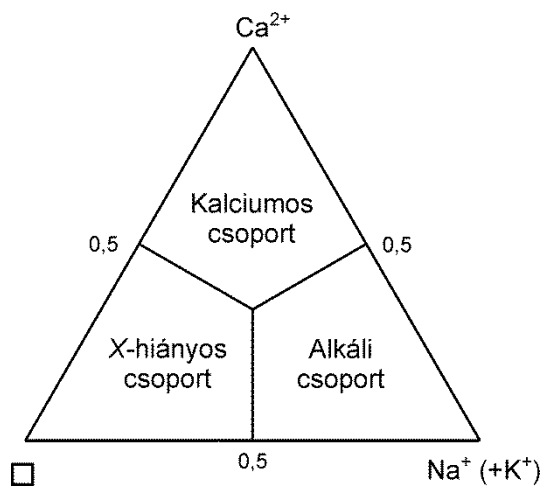
2.2. ábra: Egy turmalinkristály antilóg és analog végeinek fejképe (Dana, 1892) (a betűkkel jelölt kristályformákhoz tartozó indexeket lásd a szövegben).



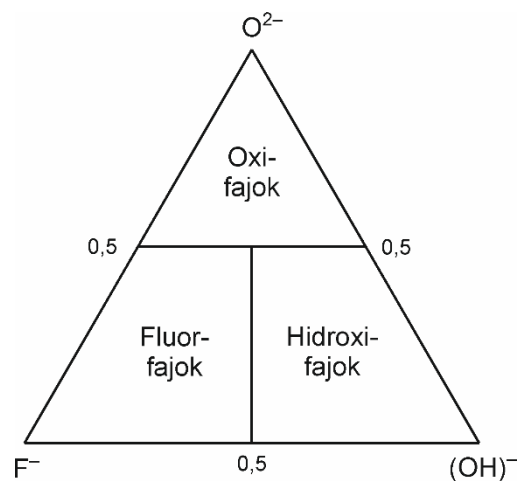
2.3. ábra: $\{10\bar{1}1\}$ szerint ikresedett turmalinkristály (Goldschmidt, 1923). A betűkkel jelölt kristályformákhoz tartozó indexeket lásd a szövegben.



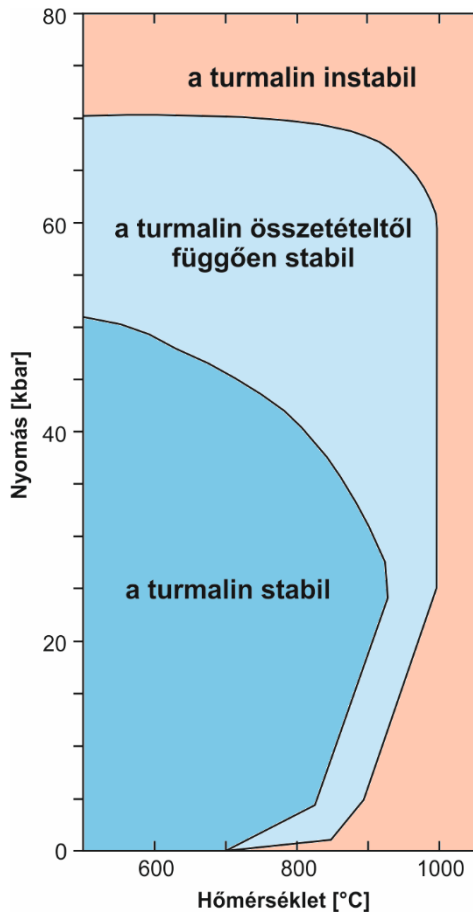
2.4. ábra: A turmalin kristályszerkezetének poliéderez ábrázolása. Az ábra Foit és Rosenberg (1979) szerkezeti adatainak felhasználásával, Atoms 6.1 programmal készült (szerző saját szerkesztése). A) a szerkezet {0001} szerinti metszetben; B) ferde nézet; C) az anionpozíciók ábrázolása (a számok az O-pozíciók sorszámának felelnek meg).



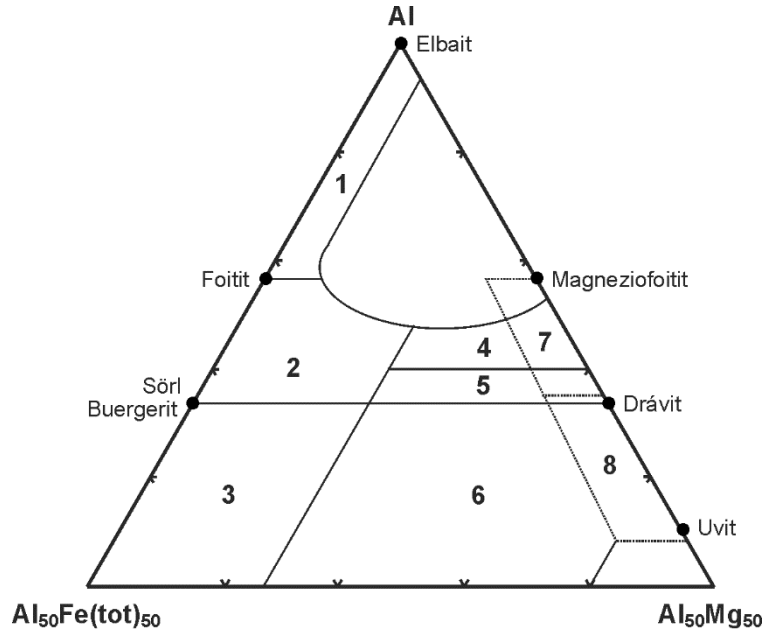
2.5. ábra: Az X-pozíció betöltöttségén alapuló elsődleges turmalincsoportok terner rendszere (Henry és társai, 2011).



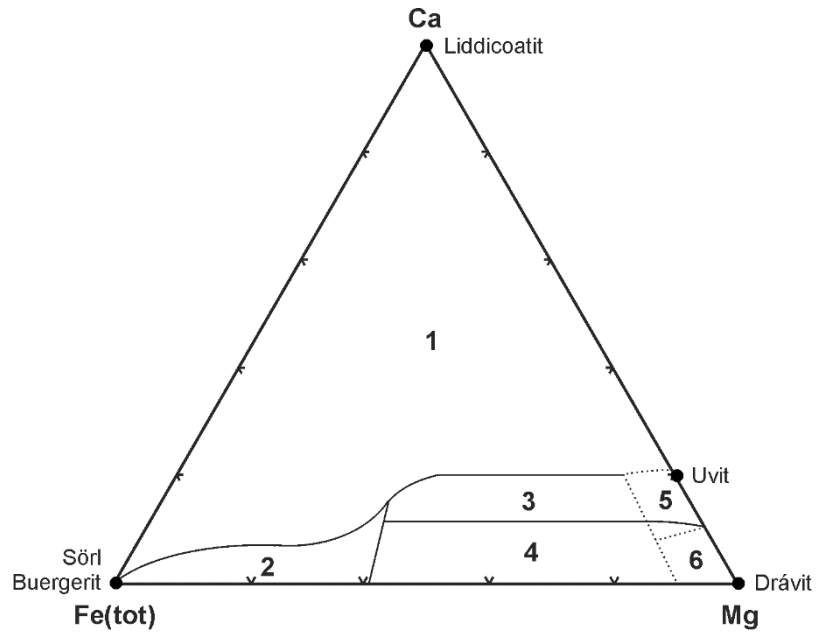
2.6. ábra: A W-pozíció betöltöttségén alapuló turmalinsorozatok terner rendszere (Henry és társai, 2011).



2.7. ábra: A turmalin stabilitási viszonyai van Hinsberg és társai (2011) alapján, egyszerűsítve.

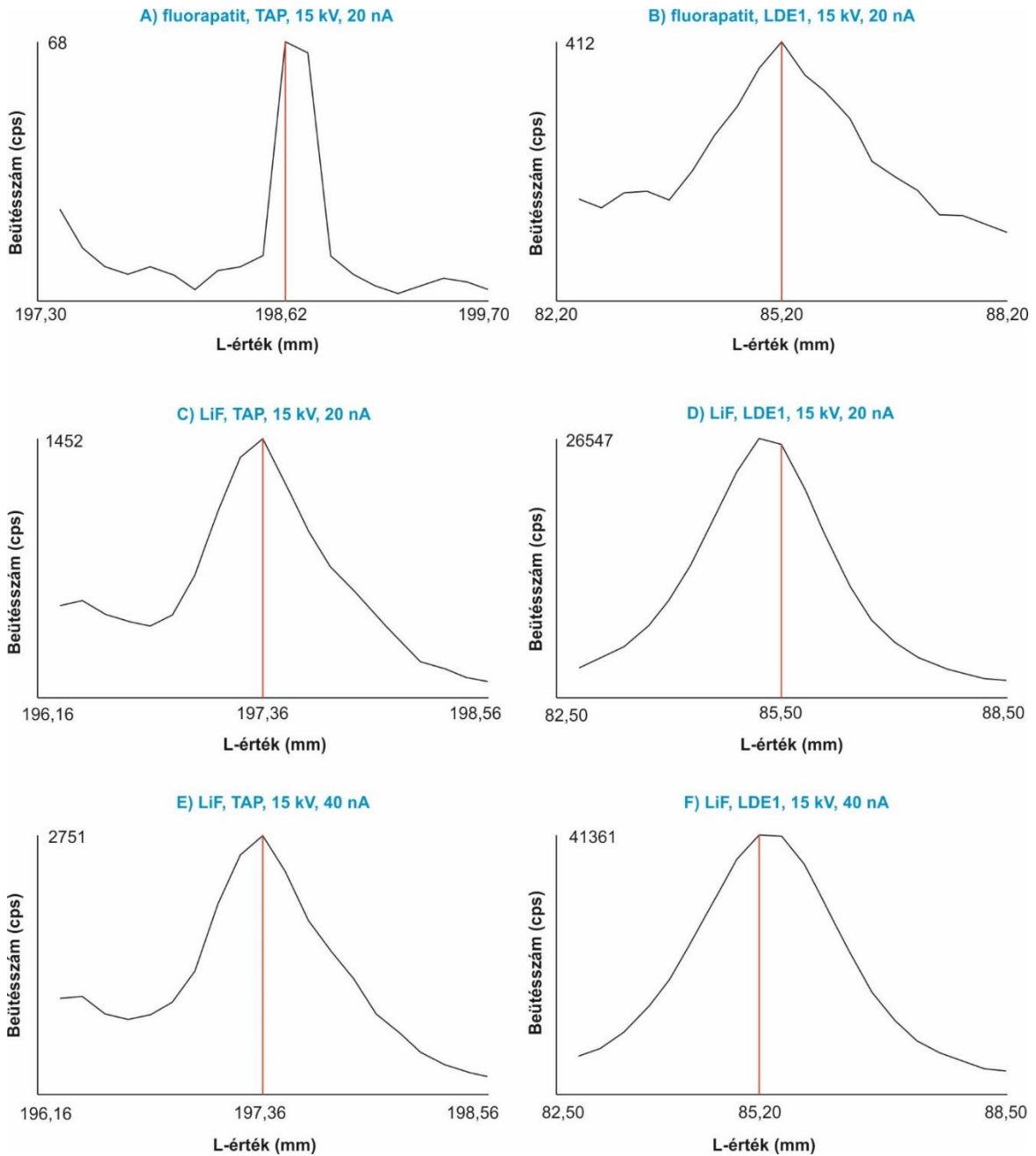


2.8. ábra: Az Al-Fe-Mg (AFM) diagram (Henry és Guidotti, 1985). Mezők: 1 = Li-gazdag granitoid pegmatitok és aplitok; 2 = Li-szegény granitoidok és pegmatitjaik, ill. aplitjaik; 3 = Fe^{3+} -gazdag kvarc-turmalin kőzetek (hidrotermásan átalakult gránitok); 4 = metapélitok és metapszammitok koegzisztens Al-telített fázissal; 5 = metapélitok és metapszammitok koegzisztens Al-telített fázis nélkül; 6 = Fe^{3+} -gazdag kvarc-turmalin kőzetek, Ca-szilikát kőzetek és metapélitok; 7 = alacsony Ca-tartalmú metaultramafitok és Cr-V-gazdag metaszedimentek; 8 = metakarbonátok és metapiroxenitok.



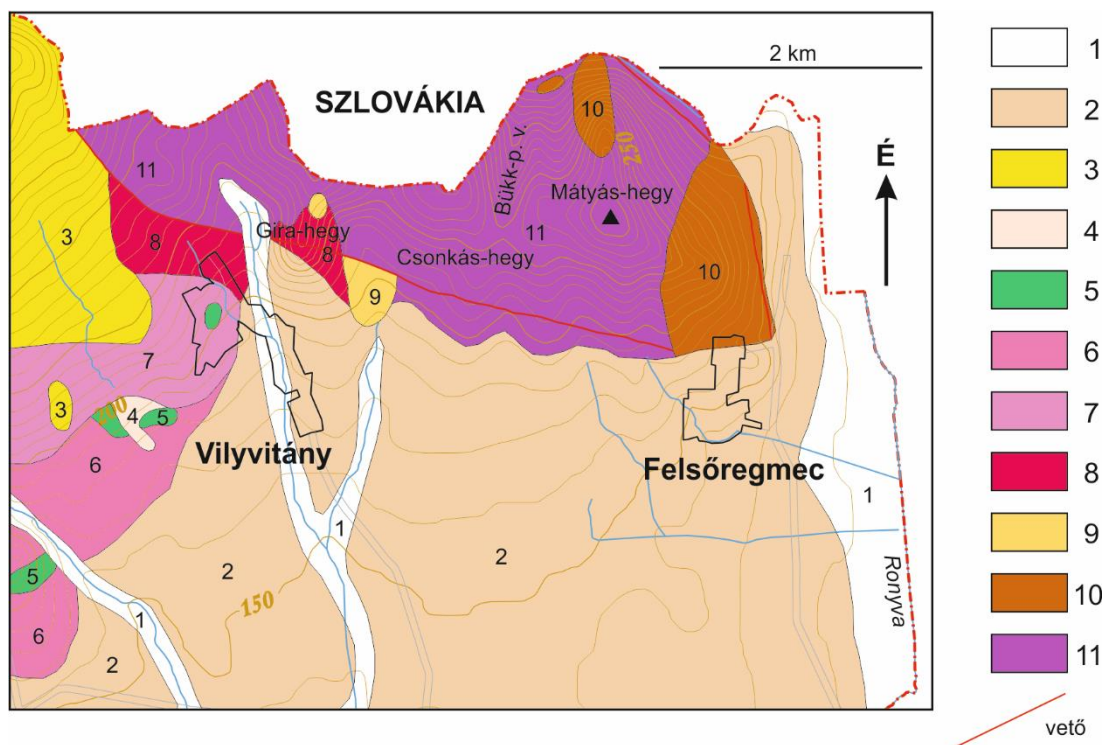
2.9. ábra: A Ca-Fe-Mg (CFM) diagram (Henry és Guidotti, 1985). Mezők: 1 = Li-gazdag granitoid pegmatitok és aplitok; 2 = Li-szegény granitoidok és pegmatitjaik, ill. aplitjaik; 3 = Ca-gazdag metapélitok, metapszammitok és Ca-szilikát kőzetek; 4 = Ca-szegény metapélitok, metapszammitok és kvarc-turmalin kőzetek; 5 = metakarbonátok; 6 = metaultramafitok.

3. Vizsgálati módszerek és számítási eljárások

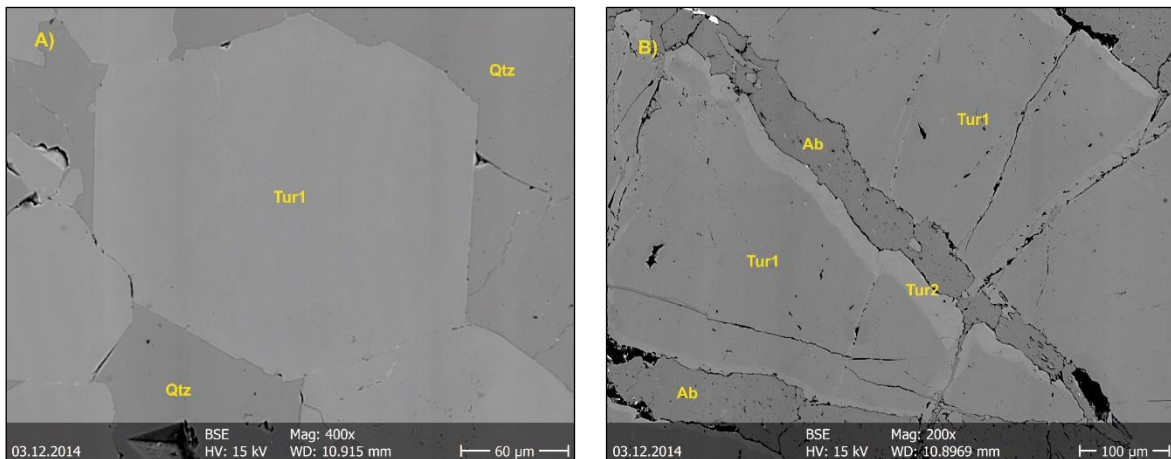


3.1. ábra: Fluor standardizálása különböző standardok (fluorapatit, LiF), analizátorkristályok (TAP, LDE1) és mintaáramok (20 nA, 40 nA) használatával. Az ábrákon az egyes összeállításokkal kapott WDS-spektrumok láthatók. $L = (R/d) \times n\lambda$, ahol R = a mintán, az analizátorkristályon és a detektoron is átmenő Rowland-kör sugara (= 140 mm), d = az analizátorkristály effektív rácssíkainak távolsága, λ = a mért karakterisztikus röntgensugárzás hullámhossza, n = egész szám (szerző saját szerkesztése).

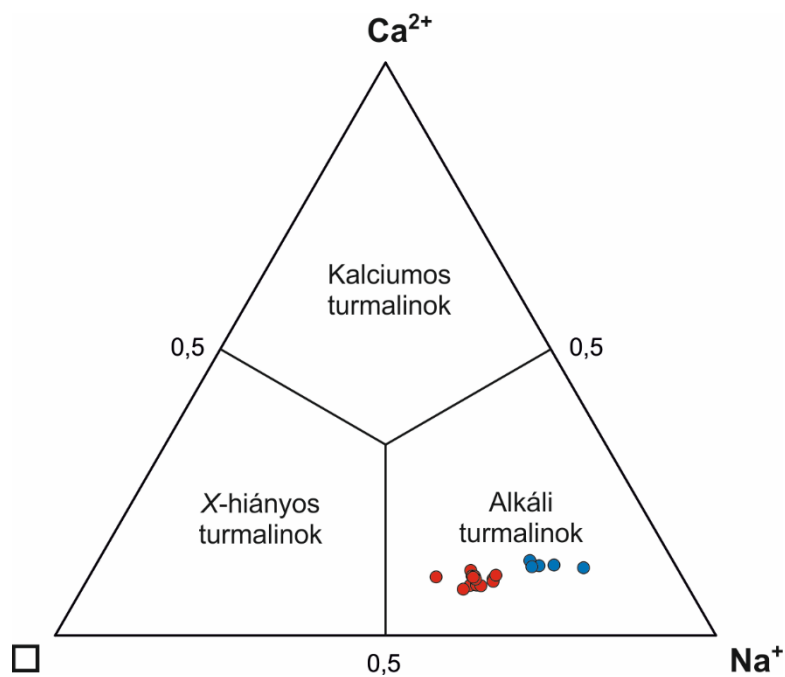
4. A Vilyvitányi Csillámpala Formáció turmalinja



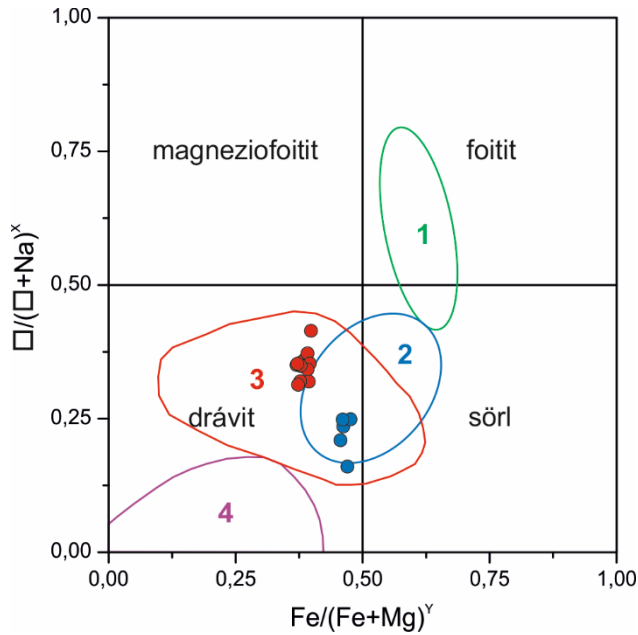
4.1. ábra: Vilyvitány és Felsőregmec környékének földtani térképe (Kuti és Pentelényi, 2005 alapján). Jelmagyarázat: 1 = holocén folyóvízi üledék; 2 = pleisztocén-holocén deluviális üledék; 3 = felső miocén (felső szarmata-alsó pannóniai) Erdőbényei Formáció Rátkai Kvarcit Tagozata; 4 = felső miocén (szarmata) Kozárdi Formáció; 5 = felső miocén (alsó szarmata) Baskói Andezit Formáció; 6 = felső miocén (alsó szarmata) Szerencsi Riolittufa Formáció Kékedi Tagozata; 7 = felső miocén (alsó szarmata) Szerencsi Riolittufa Formáció Füzérkomlói Tagozata; 8 = középső miocén (felső badeni) Sátoraljaújhelyi Riolittufa Formáció Mikóházai Tagozata; 9 = középső miocén (felső badeni) Szilágyi Agyagmárga Formáció; 10 = alsó perm Kásói Formáció; 11 = alsó paleozoikumi Vilyvitányi Csillámpala Formáció.



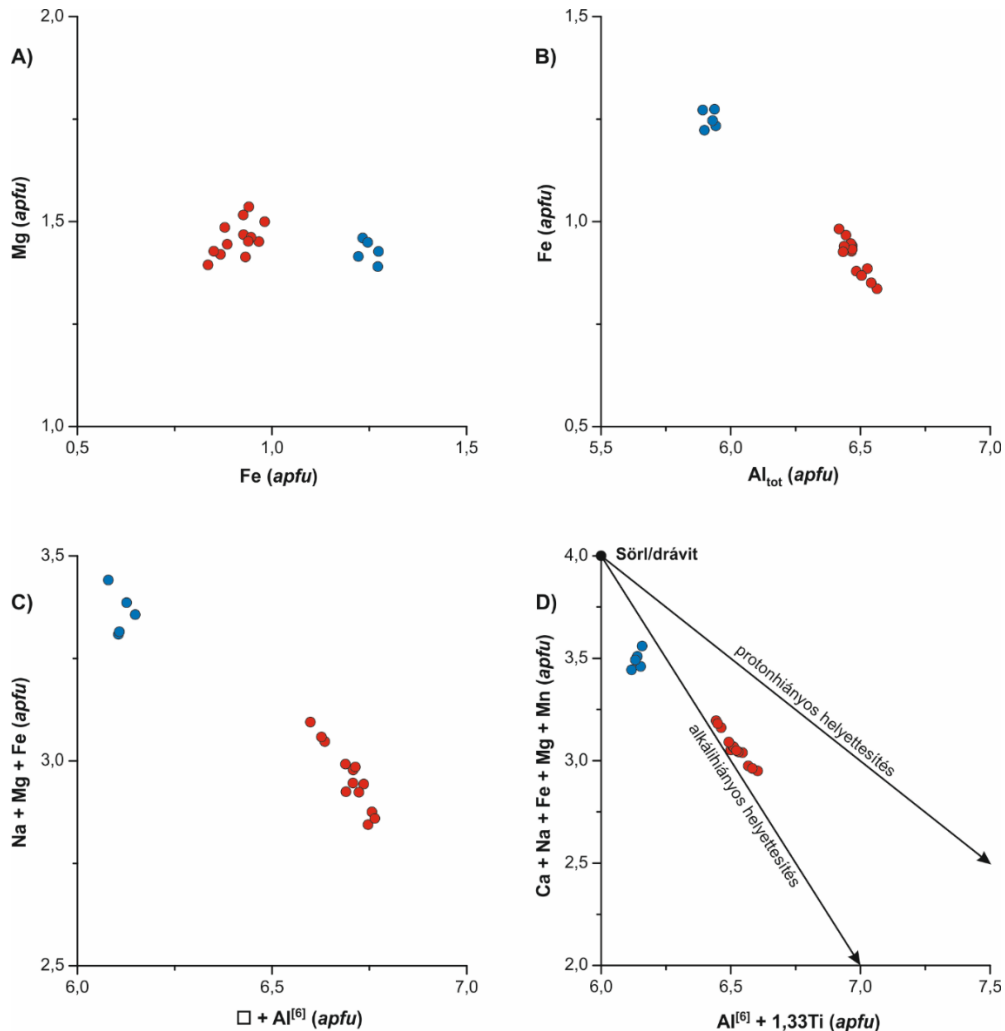
4.2. ábra: A Vilyvitányi Csillámpala Formáció turmalinos mintáiról készült visszaszórtelektron-képek. A) Kémiaiailag homogén turmalinkristályok (Tur1) kvarccal (Qtz). A képen látható függőleges sávokat detektorhiba okozza. B) Turmalinkristályok (Tur1) albittal (Ab), a kristályok szegélyén és a törések mentén megjelenő átalakulási szegélyekkel (Tur2). Szerző saját szerkesztése.



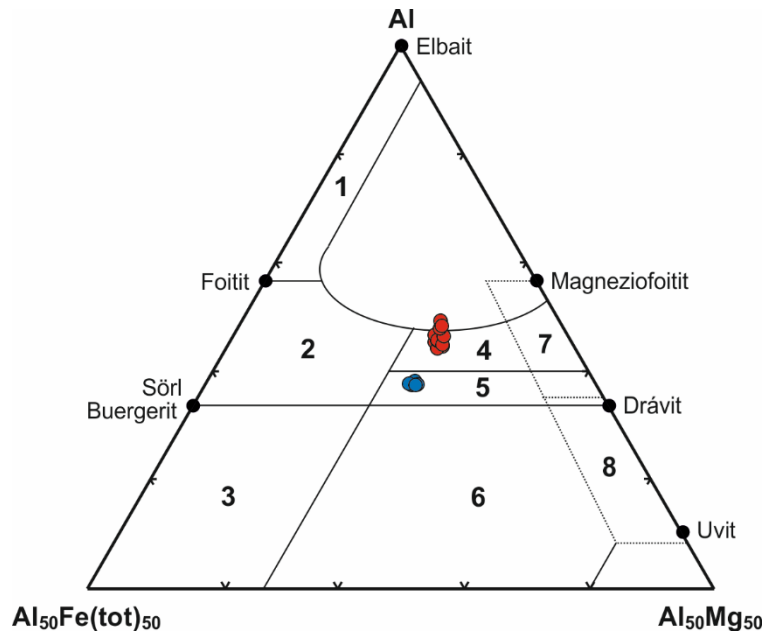
4.3. ábra: A vilyvitányi turmalinok X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszögdiagramjában ábrázolva. Tur1 = piros pontok, Tur2 = kék pontok. Szerző saját szerkesztése.



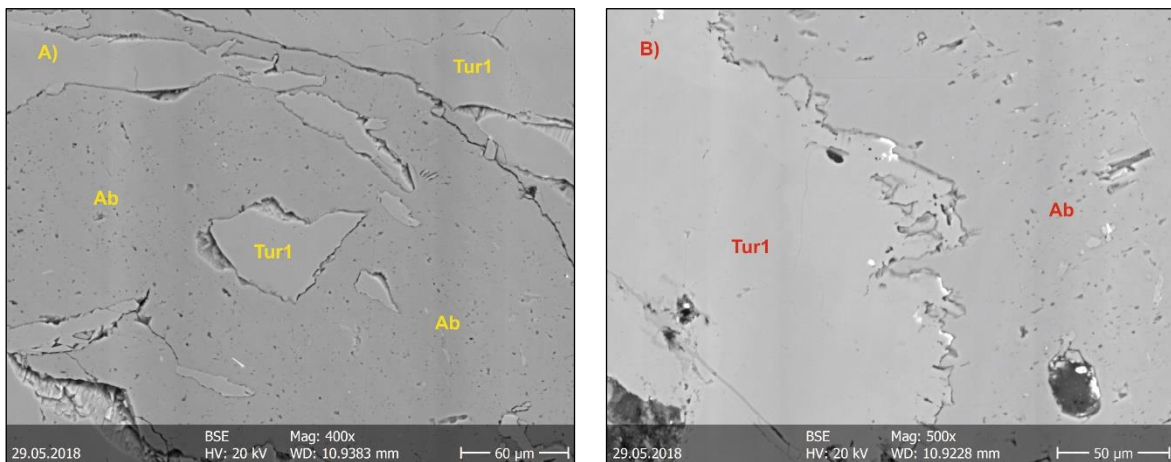
4.4. ábra: A vilyvitányi csillámpala turmalinjainak kémiai összetétele a $Fe/(Fe + Mg)^y - \square/(\square + Na)^x$ diagramban ábrázolva. Piros pontok: a kristályok fő tömege (Tur1); kék pontok: egyes kristályok szegélyén megfigyelhető átalakulási zóna (Tur2). A számmal jelölt mezők a különböző metamorf fokú turmalinok jellemző összetételi tartományait mutatják Henry & Dutrow (1996) alapján: 1 = diagenetikus turmalinok; 2 = alacsony fokú turmalinok; 3 = közepes fokú turmalinok; 4 = magas fokú turmalinok. Szerző saját szerkesztése.



4.5. ábra: Helyettesítési mechanizmusok a vilyvitányi csillámpala turmalinjában: A) Fe-Mg diagram; B) Al_{tot} -Fe diagram; C) $\square + Al^{[6]} - Na + Mg + Fe$ diagram; D) $Al^{[6]} + 1,33Ti - Ca + Na + Fe + Mg + Mn$ diagram. Tur1 = piros pontok; Tur2 = kék pontok. Szerző saját szerkesztése.

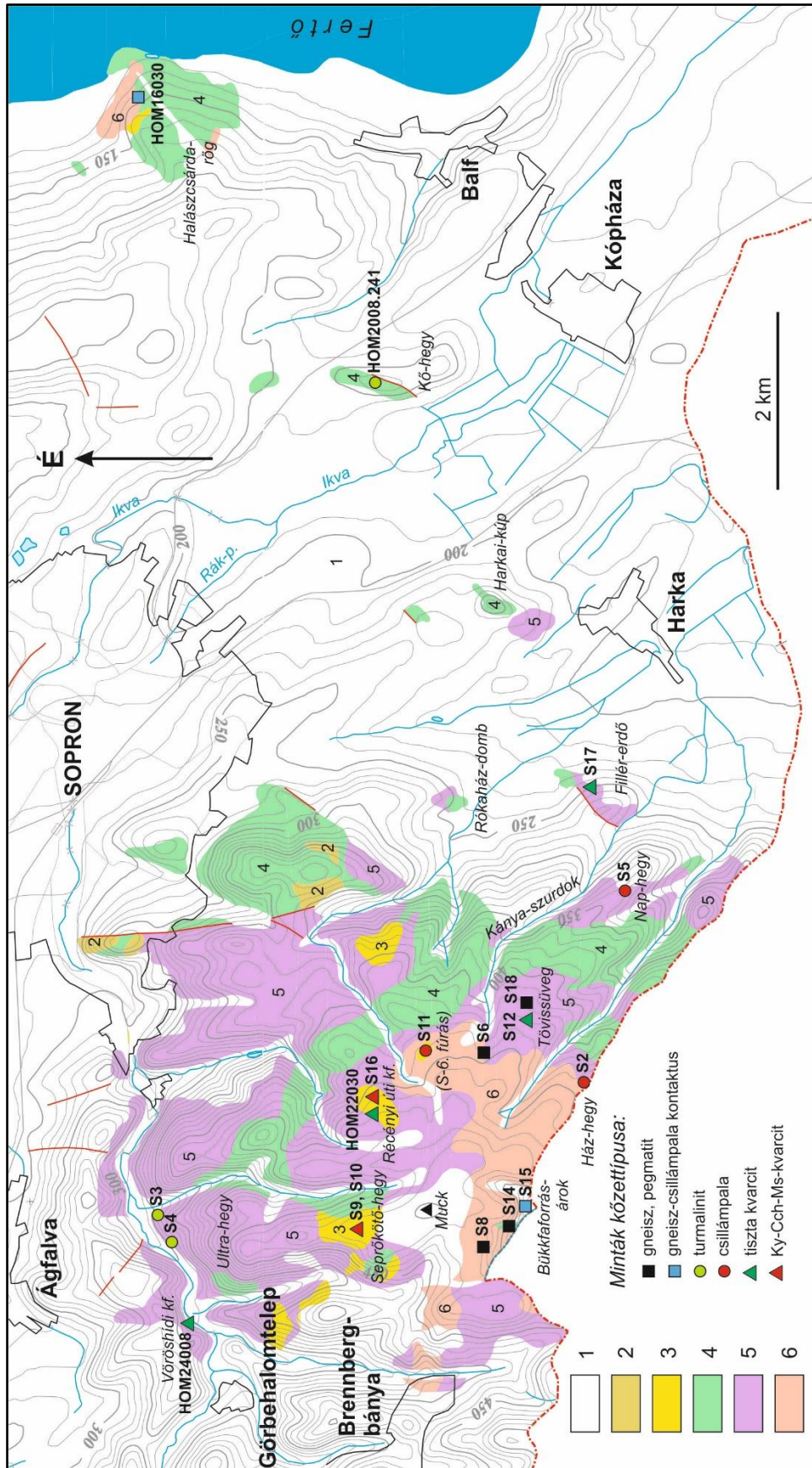


4.6. ábra: A vilyvitányi turmalinok összetételének ábrázolása az AFM-diagramban (Henry és Guidotti, 1985 alapján). Az egyes mezők jelentését lásd a 2.8. ábrán. Tur1 = piros pontok; Tur2 = kék pontok. Szerző saját szerkesztése.



4.7. ábra: A) Feldarabolódott turmalinok (Tur1) albitban (Ab); B) Csipkézett szegélyű turmalin (Tur1) albittal (Ab) érintkezve. Visszaszórtelektron-képek. Szerző saját szerkesztése.

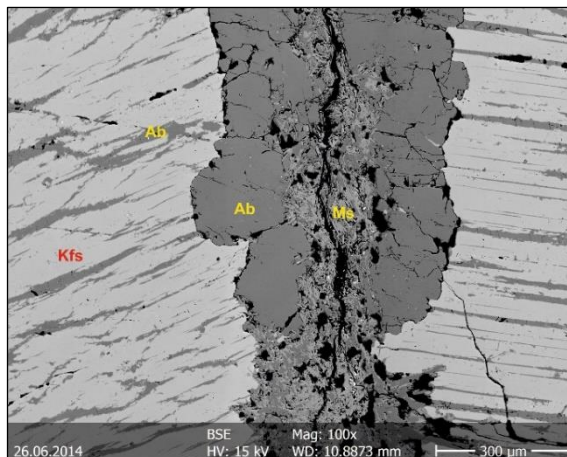
5. A Soproni-hegység turmalinjai



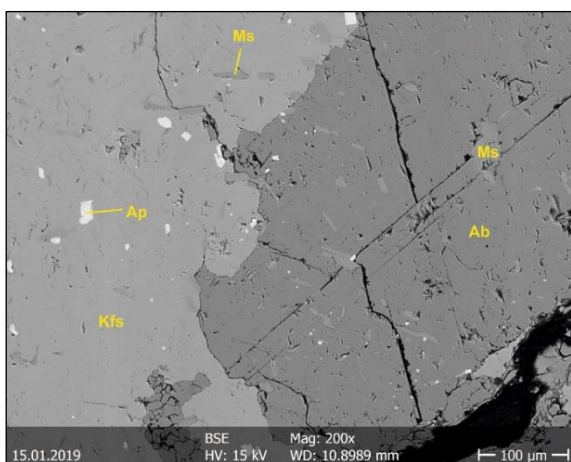
5.1. ábra: A Soproni-hegység vázlatos földtani térképe (Scharek és társai, 2005a, b alapján). Jelmagyarázat: 1 = fiatal (neogén és kvarter) üledékek; 2 = paleozoikumai Füzesárki Fehérsárki Fehérpala Formáció Tolvajárki Leukofilit Tagozata; 3 = paleozoikumai Füzesárki Fehérpala Formáció Seprőkötőhegyi Kvarcit Tagozata; 4 = paleozoikumai Sopronbánfalvi Gneisz Formáció; 5 = paleozoikumai Vöröshídi Csillámpala Formáció; 6 = alsó paleozoikumai Óbrennbergi Csillámpala Formáció.



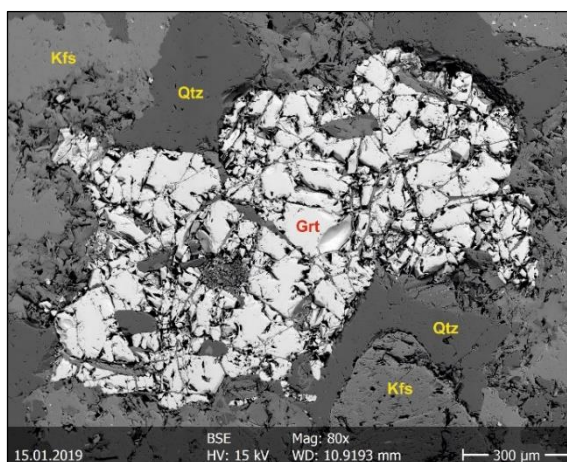
5.2. ábra: Zömök oszlopos turmalinkristály pegmatitban. S6 minta. Képszélesség: 8 mm. Szerző saját szerkesztése.



5.3. ábra: Perthites káliföldpát (Kfs), mely a repedések mentén albittá (Ab) és muszkovittá (Ms) alakult át. S8 minta. Visszaszórteelektron-kép. Szerző saját szerkesztése.



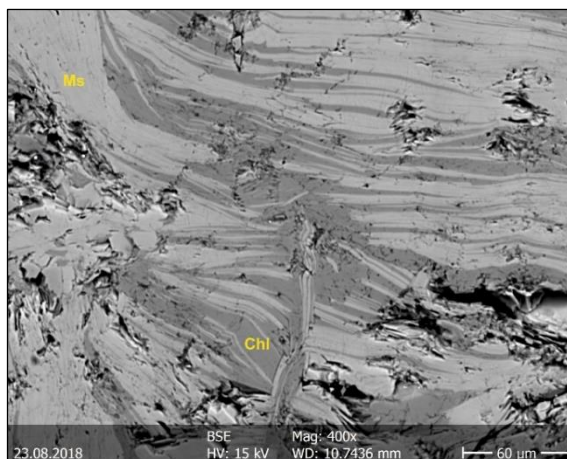
5.4. ábra: Káliföldpát (Kfs) és albit (Ab) érintkezése. A káliföldpátban alig láthatóak a perthites albit-szételegyedések, viszont mindkét földpátban jelen van zárványként a muszkovit (Ms) és az apatit (Ap). S14 minta. Visszaszórteelektron-kép. Szerző saját szerkesztése.



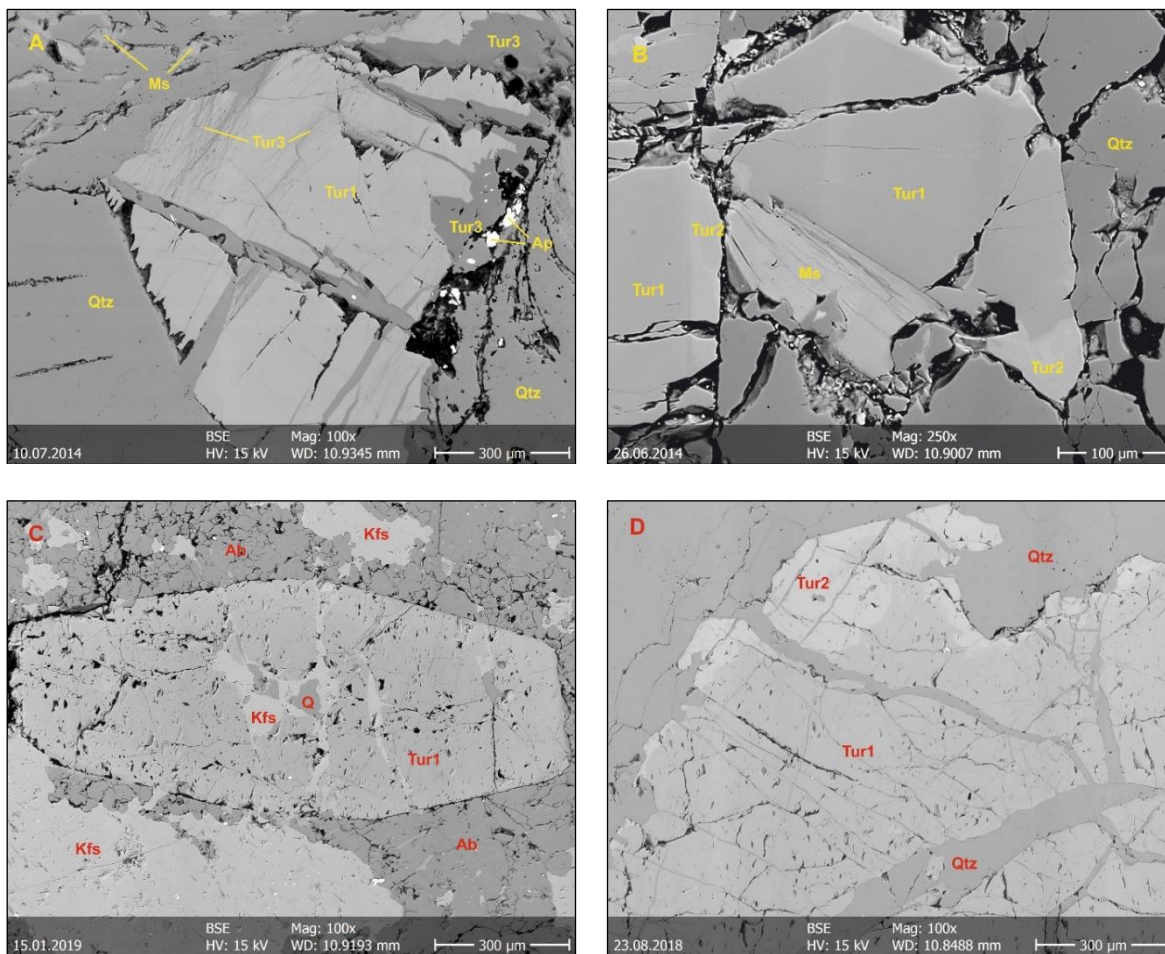
5.5. ábra: Erősen repedezett, alaktalan, kissé megnyúlt gránatkristály (Grt). S14 minta. Visszaszórteelektron-kép. Rövidítések: Kfs = káliföldpát, Qtz = kvarc. Szerző saját szerkesztése.



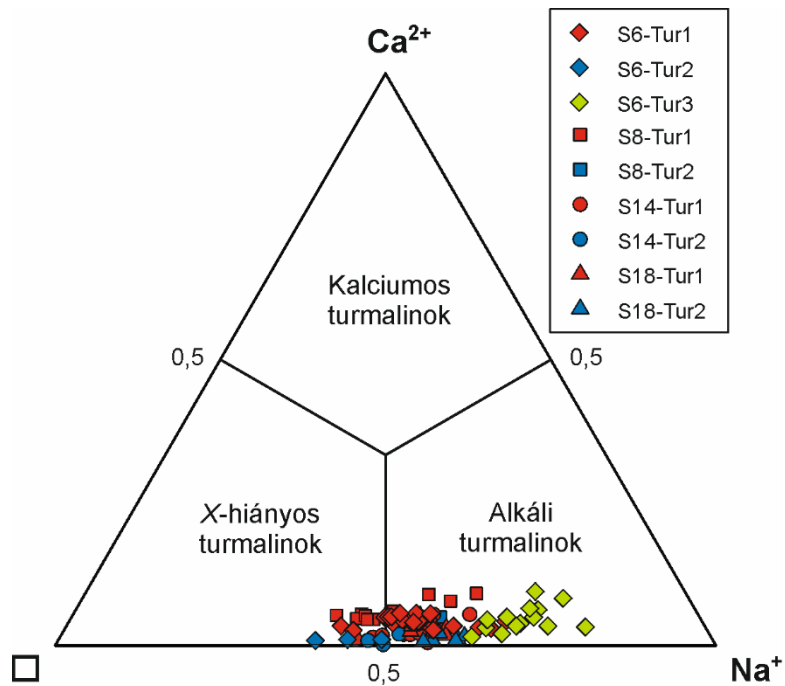
5.6. ábra: Turmalinos pegmatit a soproni Tövissüvegről (S18 minta). A példány 7,5 cm hosszú. Szerző saját szerkesztése.



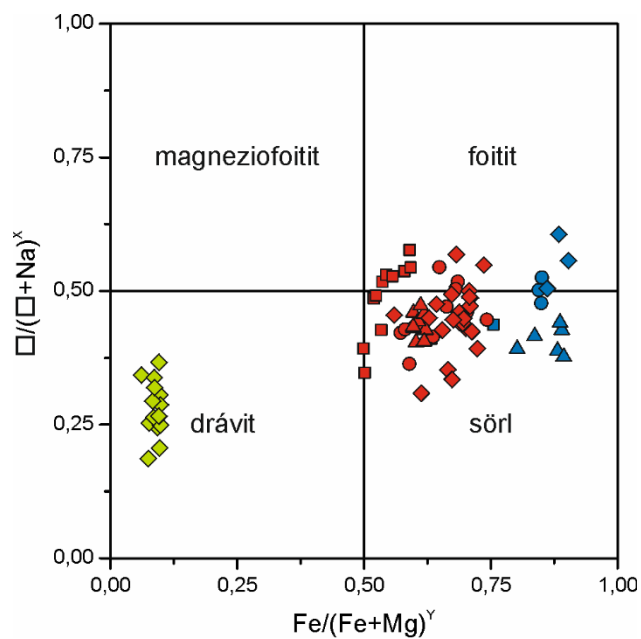
5.7. ábra: Muszkovit (Ms) és klorit (Chl) váltakozásából álló halmaz. S18 minta. Visszaszórtelektron-kép. Szerző saját szerkesztése.



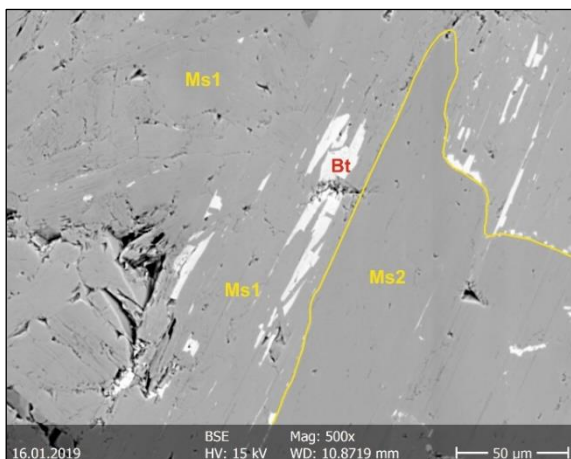
5.8. ábra: Gneiszek és pegmatitok turmalinjairól készült visszaszórtelektron-képek. A) S6 minta (Sopron, Kánya-szurdok): kémiai homogén turmalin (Tur1), szegélyén Mg-ban gazdag zónával (Tur3), mely vékony beszüremkedéseként is megjelenik. A Tur2 zóna ezen a példányon nem fejlődött ki. B) S8 minta (Sopron, Muck): kémiai homogén turmalinok (Tur1), a szegélyükön vasban gazdagabb átalakulási zónával (Tur2); C) S14 minta (Sopron, Bükkfaforrás-árok): idiomorf turmalinkristály, melynek belsejét kvarc és káliföldpát helyettesíti; D) S18 minta (Sopron, Tövissüveg): nagyméretű, xenomorf, szétrepesztett turmalinkristály (Tur1), a szegélyén megfigyelhető, vasban gazdagabb átalakulási zónával (Tur2). Rövidítések: Ab = albit, Ap = apatit, Kfs = káliföldpát, Ms = muszkovit, Q vagy Qtz = kvarc. Szerző saját szerkesztése.



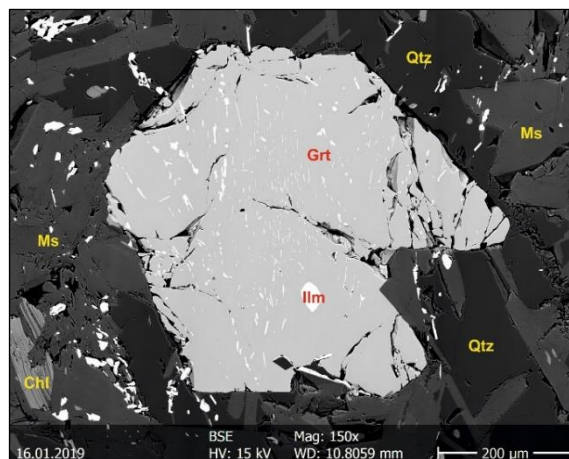
5.9. ábra: A gneiszek és pegmatitok turmalinjainak X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszögdiagramjában ábrázolva.
Szerző saját szerkesztése.



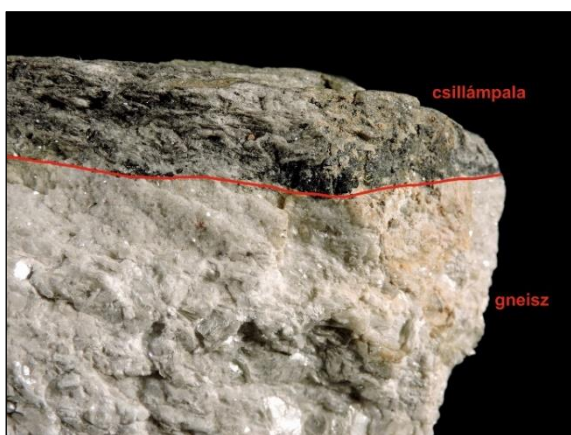
5.10. ábra: A gneiszek és pegmatitok turmalinjainak kémiai összetétele a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})^Y - \square/(\square + \text{Na})^X$ diagramban ábrázolva. A jelmagyarázatot lásd az előző ábrán.
Szerző saját szerkesztése.



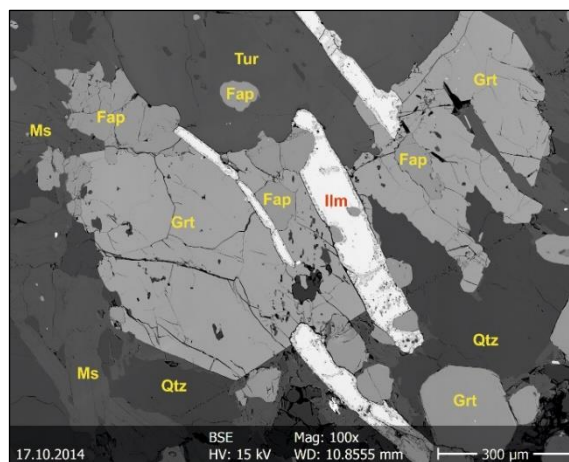
5.11. ábra: A muszkovit két generációja (Ms) és biotit (Bt) az S15 mintában (Sopron, Bükkfafürás-árok). Visszaszórteltron-kép. Szerző saját szerkesztése.



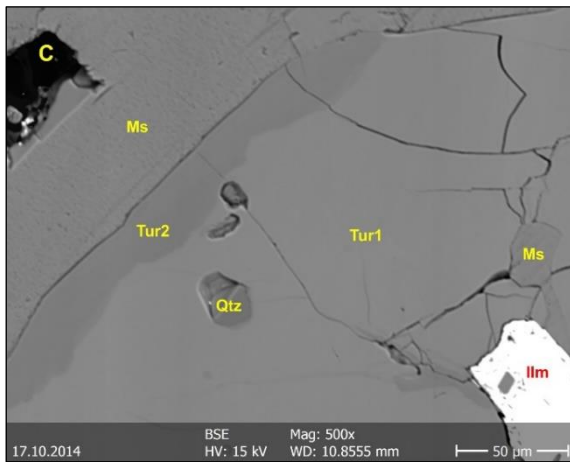
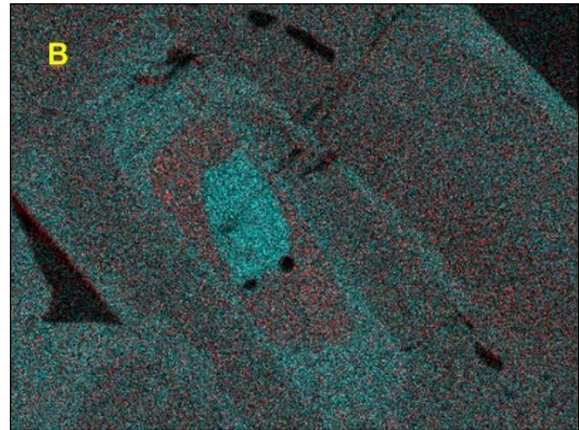
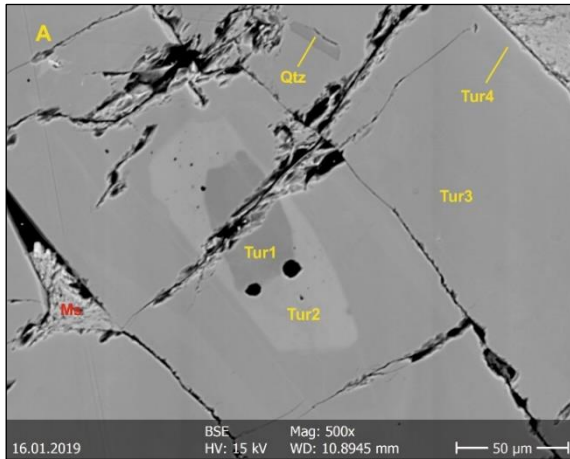
5.12. ábra: Ilmenitzárványos (Ilm) gránát (Grt) az S15 mintában (Sopron, Bükkfafürás-árok). Visszaszórteltron-kép. Egyéb ásványok: Chl = klorit, Ms = muszkovit, Qtz = kvarc. Szerző saját szerkesztése.



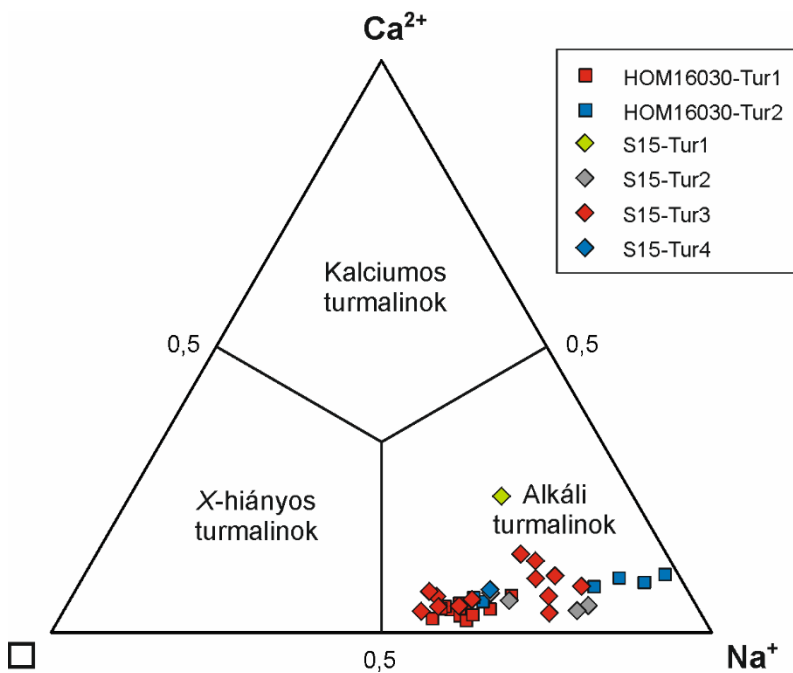
5.13. ábra: Fehér gneisz és csillámpala érintkezése (HOM16030 minta, Sopron, Halászcásárda-rög). A csillámpalában jól láthatók a fekete turmalinkristályok. Képszélesség: 6 cm. Szerző saját szerkesztése.



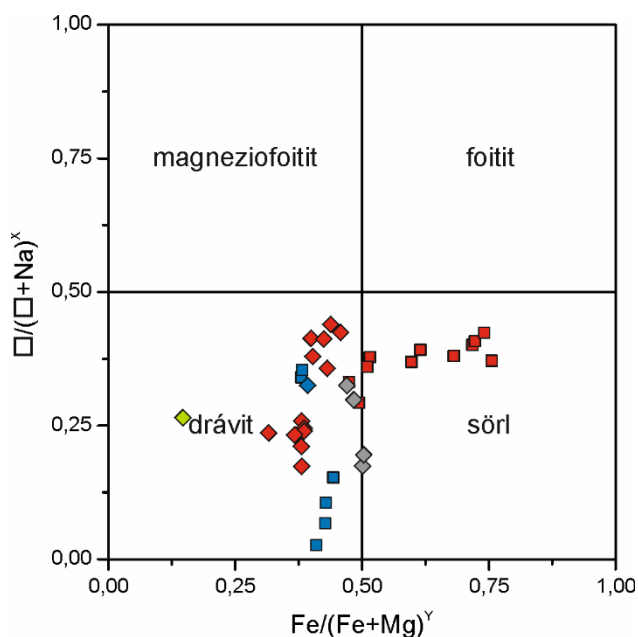
5.14. ábra: A csillámpala ásványtársulása (HOM16030 minta, Sopron, Halászcásárda-rög) visszaszórteltron-képen. Rövidítések: Fap = fluorapatit, Grt = gránát, Ilm = ilmenit, Ms = muszkovit, Qtz = kvarc, Tur = turmalin. Szerző saját szerkesztése.



5.15. ábra: A gneiszek és csillámpalák szegélyén megjelenő turmalinok visszaszórtelektron-képei (A, C) és röntgen-térképe (B). A) Kémiailag zónás turmalinkristály (Tur1-Tur4), kvarczárvánnyal (Qtz) és muszkovittal (Ms). S15 minta (Sopron, Bükkfafürrás-árok). B) Az előző turmalinról készült röntgen-térkép az Mg- (kék) és Fe-tartalom (vörös) változását mutatja. A képméretet lásd az A. ábrán. C) Kémiailag viszonylag homogén turmalinkristály (Tur1), a muszkovittal (Ms) érintkező szegélyén megváltozott összetétellel (Tur2), valamint kvarc- (Qtz) és ilmenitzárvánnyal (Ilm). HOM16030 minta (Sopron, Halászcserdárög). Szerző saját szerkesztése.



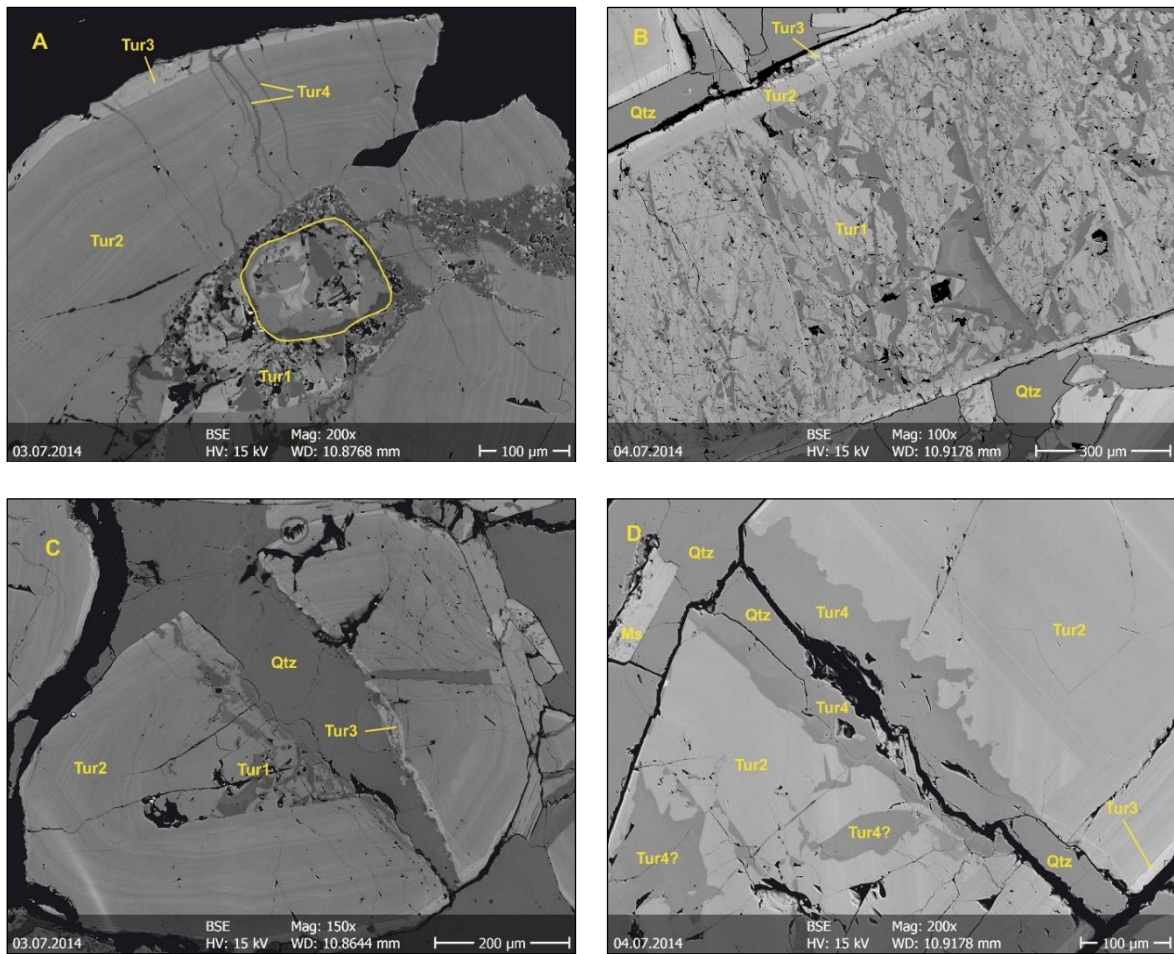
5.16. ábra: A gneiszek és csillámpalák kontaktusán képződött turmalinok X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszögdiagramjában ábrázolva. Szerző saját szerkesztése.



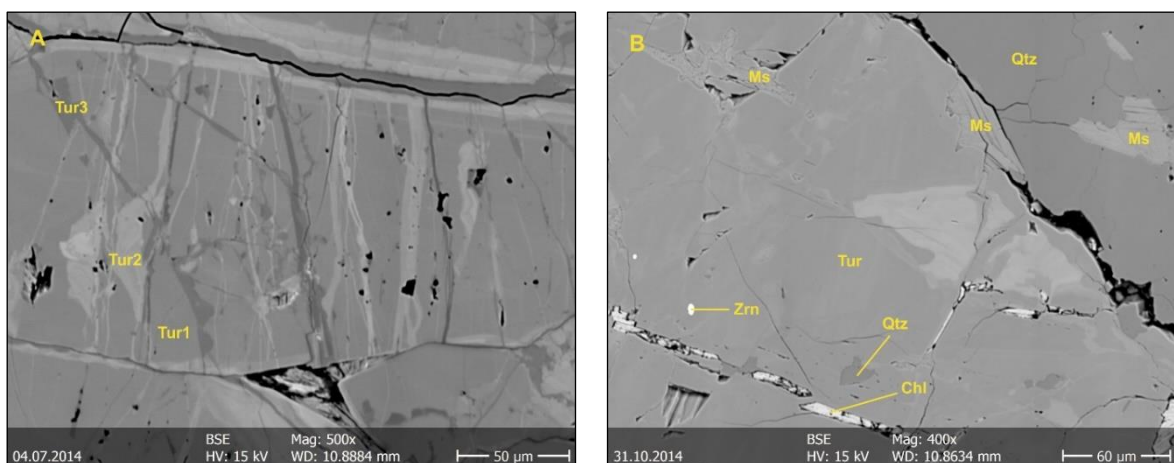
5.17. ábra: A gneiszek és csillámpalák kontaktusán képződött turmalinok kémiai összetétele a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})^y - \square/(\square + \text{Na})^x$ diagramban ábrázolva. A jelmagyarázatot lásd az előző ábrán. Szerző saját szerkesztése.



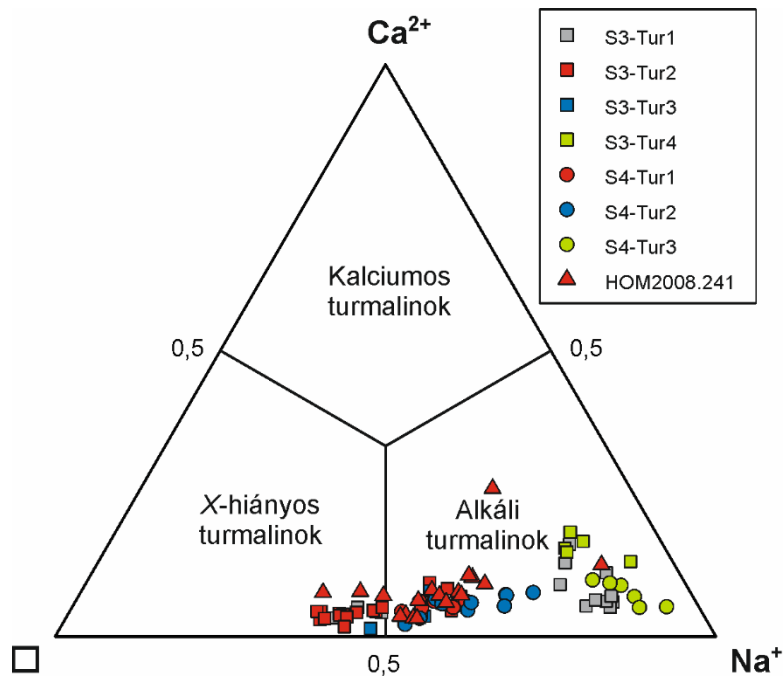
5.18. ábra: A) Barnásszürke, oszlopos turmalinkristályok kvarcban. Sopron, Ultra-hegy (S3 minta). Képszélesség: 8 mm. B) Barnásfekete, tűs turmalinkristályok sugaras halmaza tömeges turmalinitben. Sopron, Ultra-hegy (S4 minta). Képszélesség: 6 cm. C) Turmalinit a kópházai Kő-hegyről (HOM2008.241 minta). Képszélesség: 10 cm. Szerző saját szerkesztése.



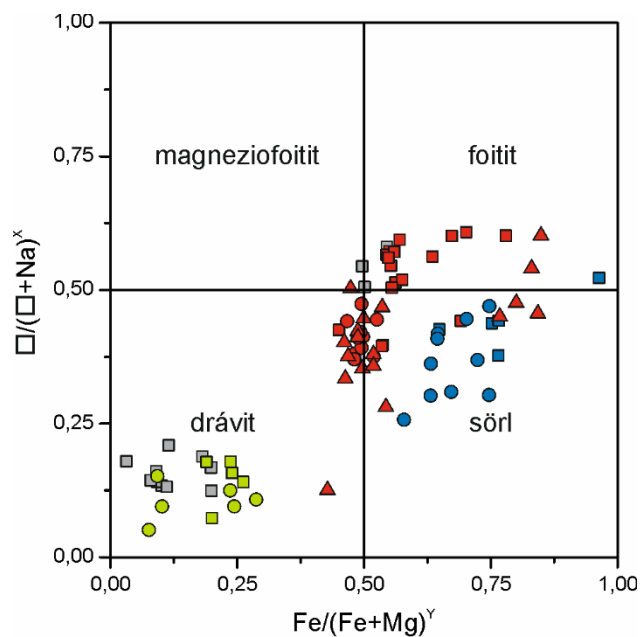
5.19. ábra: Az S3 minta (Sopron, Ultra-hegy) turmalinjainak visszaszórtelektron-képei. A) A négy zóna megjelenése egy kristályban. A sárga körvonal esetleg törmelékes magot jelöl. B) A rendkívül kaotikus Tur1 zóna által dominált kristály. C) Széttört turmalinkristály. A törési felületen megjelenő Tur3 zóna jelzi a tektonizmus utáni turmalinképződést. D) Elrepedt turmalinkristály, a repedés mentén a Tur4 zóna fejlődött ki. Rövidítések: Ms = muszkovit, Qtz = kvarc, Tur = turmalin. Szerző saját szerkesztése.



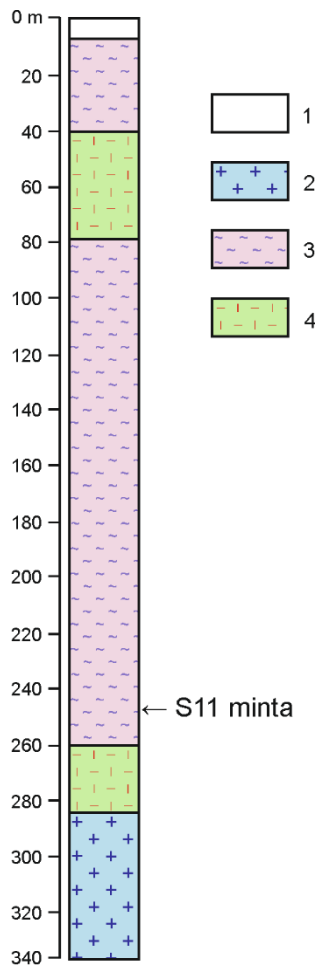
5.20. ábra: Turmalinitekből származó turmalinok visszaszórtelektron-képei. A) S4 minta (Sopron, Ultra-hegy). Jól látszik a kémiaailag viszonylag homogén Tur1 generáció, melyet a Tur2 és a Tur3 generáció erei szelnek át. B) HOM2008.241 minta (Kópháza, Kő-hegy). Foltos zónásságot mutató turmalin (Tur), benne különböző zárványokkal: klorit (Chl), muszkovit (Ms), kvarc (Qtz) és cirkon (Zrn). Szerző saját szerkesztése.



5.21. ábra: A turmalinitek turmalinjainak X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszögdiagramjában ábrázolva. Szerző saját szerkesztése.



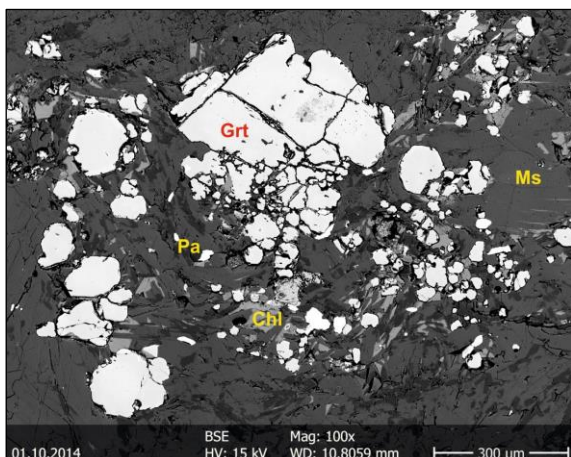
5.22. ábra: A turmalinitek turmalinjainak kémiai összetétele a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})^Y - \square/(\square + \text{Na})^X$ diagramban ábrázolva. A jelmagyarázatot lásd az előző ábrán. Szerző saját szerkesztése.



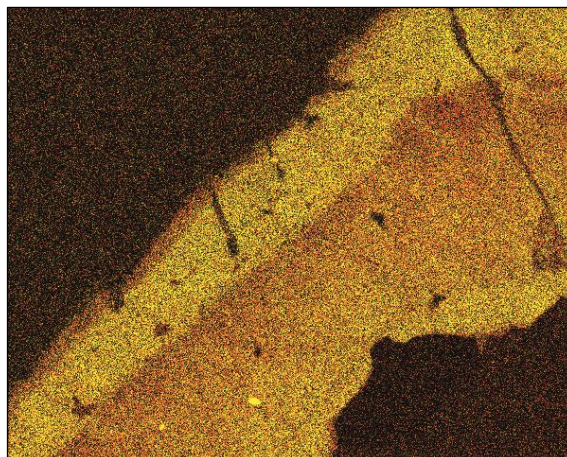
5.23. ábra: Az S-6. sz. fúrás rétegsora Fülöp (1990) alapján, feltüntetve az S11 minta helyzetét. Képződmények: 1 = fiatal fedőképződmények; 2 = Sopronbánfalvi Gneisz Formáció; 3 = Vöröshídi Csillámpala Formáció; 4 = Óbrennbergi Csillámpala Formáció.



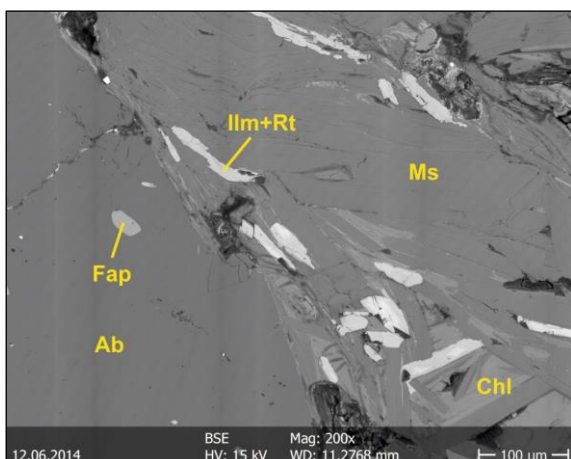
5.24. ábra: Fekete, oszlopos turmalinok és barna, lekerekített gránátok csillámpalában. Sopron, Ház-hegy (S2 minta). Képszélesség: 8 mm. Szerző saját szerkesztése.



5.25. ábra: Szétaprózódott, illetve rotálódott gránátkristály (Grt). Világosszürke = klorit (Chl), középszürke = muszkovit (Ms), sötétszürke = paragonit (Pa). Viasszórtelektron-kép (S2 minta). Szerző saját szerkesztése.



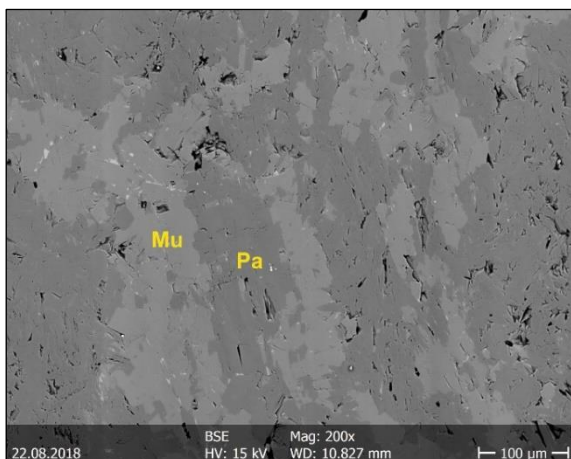
5.26. ábra: Egy gránátkristály kompozit röntgenképe (S2 minta). Sárga = kalcium, vörös = mangán. Figyeljük meg, hogy a kristály legkülső szegélye a kristálymaghoz hasonló összetételi képet mutat. Képszélesség: 0,32 mm. Szerző saját szerkesztése.



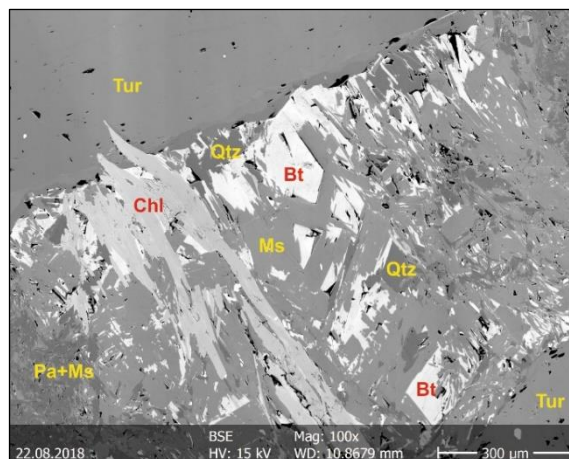
5.27. ábra: A nap-hegyi (Sopron, S5) minta jellegzetes ásványtársulása. Viasszórtelektron-kép. Rövidítések: Ab = albit, Chl = klorit, Fap = fluorapatit, Ilm = ilmenit, Ms = muszkovit, Rt = rutil. Szerző saját szerkesztése.



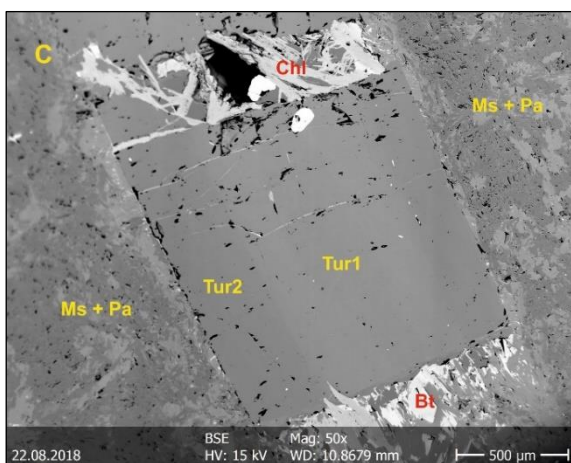
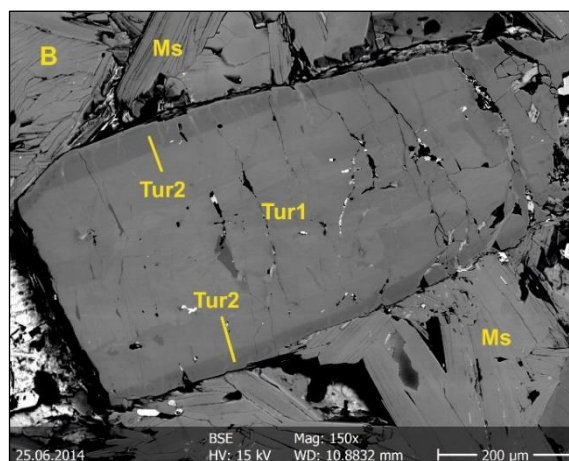
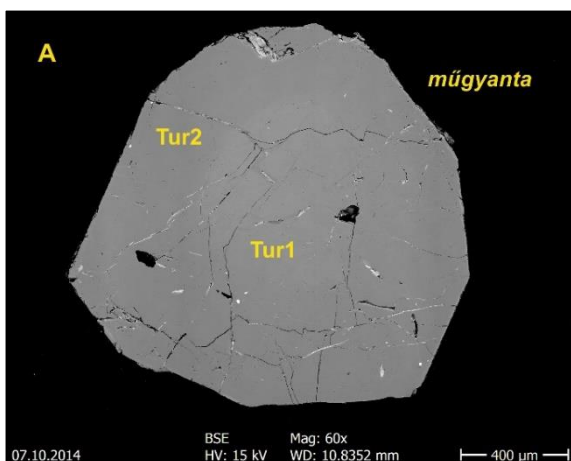
5.28. ábra: Fekete, oszlopos turmalinok csillámpalában. Sopron, Nap-hegy (S5 minta). Képszélesség: 8 mm. Szerző saját szerkesztése.



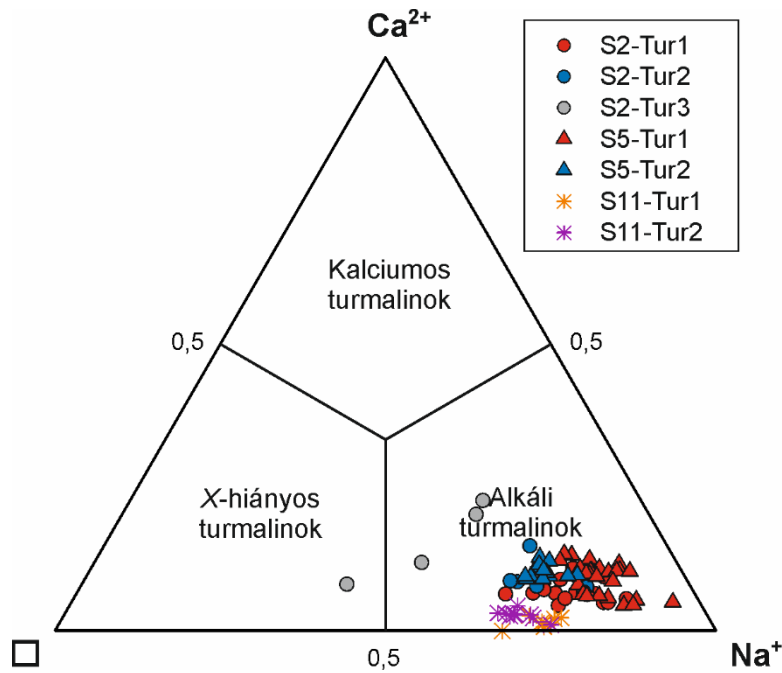
5.29. ábra: Muszkovit (világosabb szürke, Mu) és paragonit (sötétebb szürke, Pa) összenövése az S11 mintában. Az apró, még világosabb foltok kloritok. Visszaszórtelektron-kép. Szerző saját szerkesztése.



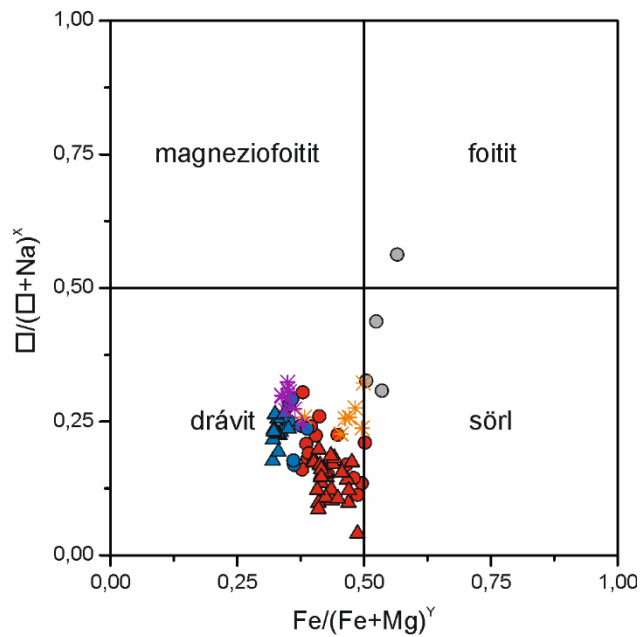
5.30. ábra: Széttört, oszlopos turmalinkristály (Tur) közti teret kitöltő, kaotikus ásványtársulás: Bt = biotit, Chl = klorit, Ms = muszkovit, Pa = paragonit, Qtz = kvarc. Visszaszórtelektron-kép. Szerző saját szerkesztése.



5.31. ábra: Csillámpalák turmalinjairól készült visszaszórtelektron-képek. A.) S2 minta: a megnyúlásra merőlegesen elmesztett, ditrigonális körvonalú, oszlopos turmalinkristály gyenge kémiai zónással. B.) S5 minta: kifejezettebb kémiai zónást mutató turmalinkristály, foltosan zónás belső résszel (Tur1). C.) S11 minta: az S2 mintához hasonló, gyenge kémiai zónást mutató, eltört, oszlopos turmalinkristály. Rövidítések: Bt = biotit, Chl = klorit, Ms = muszkovit, Pa = paragonit, Tur = turmalin. Szerző saját szerkesztése.



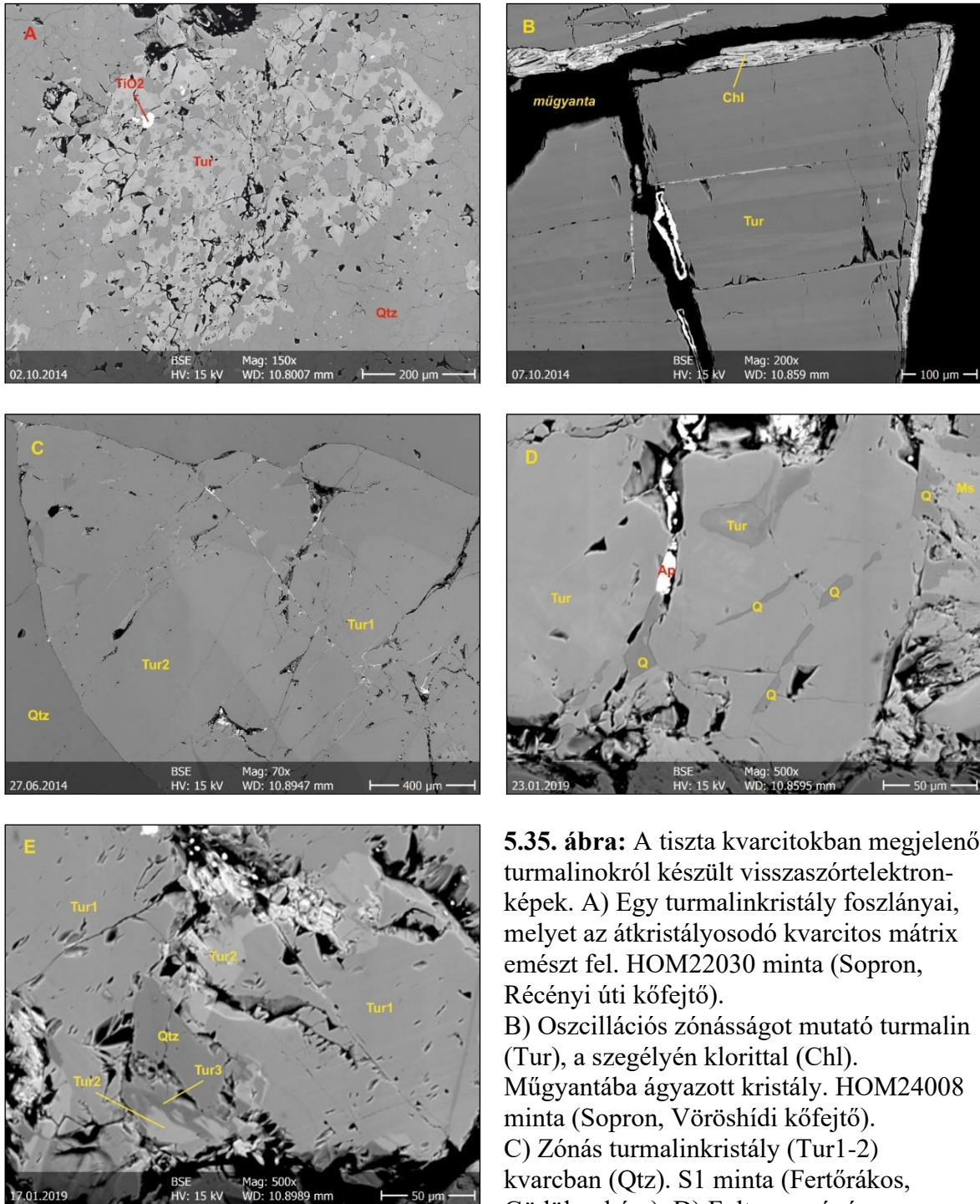
5.32. ábra: A csillámpalák turmalinjainak X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszögdiagramjában ábrázolva. Szerző saját szerkesztése.



5.33. ábra: A csillámpalák turmalinjainak kémiai összetétele a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})^Y - \text{□}/(\text{□} + \text{Na})^X$ diagramban ábrázolva. A jelmagyarázatot lásd az előző ábrán. Szerző saját szerkesztése.



5.34. ábra: Soproni-hegységi turmalinos kvarcitminták képei. *Tiszta kvarcitok:*
 A) HOM22030 minta (Sopron, Récényi úti kőfejtő). A nyilak az átkristályosodási frontot mutatják. Hosszúsága: 5,7 cm.
 B) S12 minta (Sopron, Tövissüveg). Képszélesség: 5 cm. C) S17 minta (Harka, Filler-erdő). A példányon az egyes turmalinoszlopok is jól kivehetők. Mérete: 6,5 cm.
Kianit-klinoklor-muszkovit-kvarcitok:
 D) S10 minta (Sopron, Seprőkötő-hegy). Hosszúsága: 6,5 cm. E) S16 minta (Sopron, Récényi úti kőfejtő). Jól látható a turmalinos ér gyűrt, hullámos megjelenése. Mérete: 7 cm. Szerző saját szerkesztése.



5.35. ábra: A tiszta kvarcitokban megjelenő turmalinokról készült visszaszórtelektronképek. A) Egy turmalinkristály foszlányai, melyet az átkristályosodó kvarcitos mátrix emészt fel. HOM22030 minta (Sopron, Récényi úti kőfejtő).

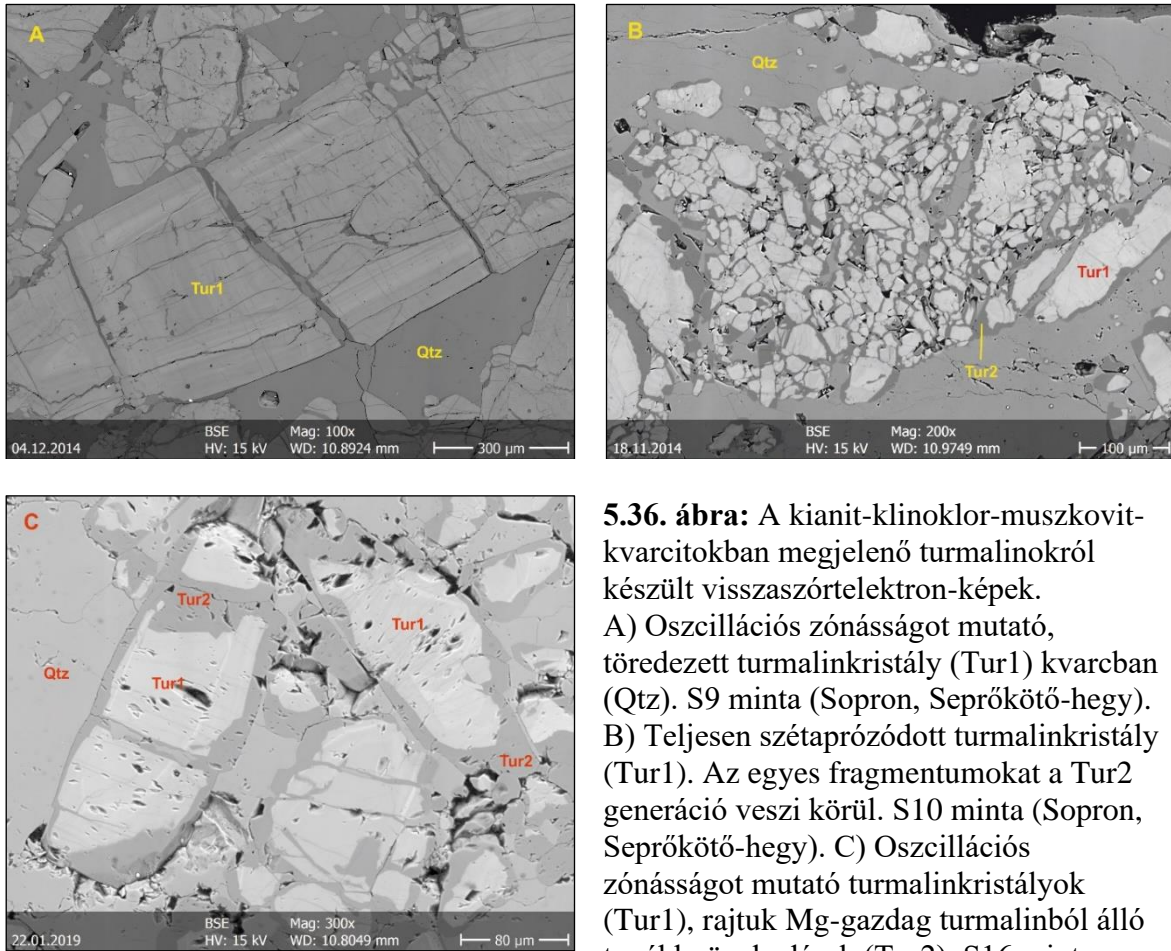
B) Oszillációs zónásságot mutató turmalin (Tur), a szegélyén klorittal (Chl). Műgyantába ágyazott kristály. HOM24008 minta (Sopron, Vöröshídi kőfejtő).

C) Zónás turmalinkristály (Tur1-2) kvarcban (Qtz). S1 minta (Fertőrákos, Gödölye-bérc).

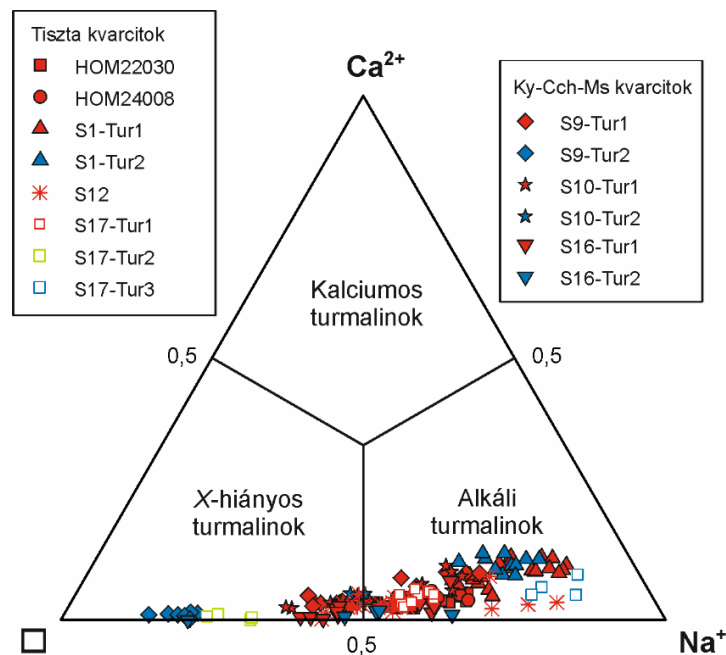
D) Foltosan zónás turmalinkristály (Tur), benne apatit- (Ap) és kvarczárványokkal (Q), mellette muszkovit (Ms). S12 minta (Sopron, Tövissüveg).

E) Gyenge kémiai zónásságot mutató turmalinkristályok (Tur1), szegélyükön Fe-gazdag (Tur2) és Mg-gazdag (Tur3) zónákkal. S17 minta (Harka, Fillér-erdő).

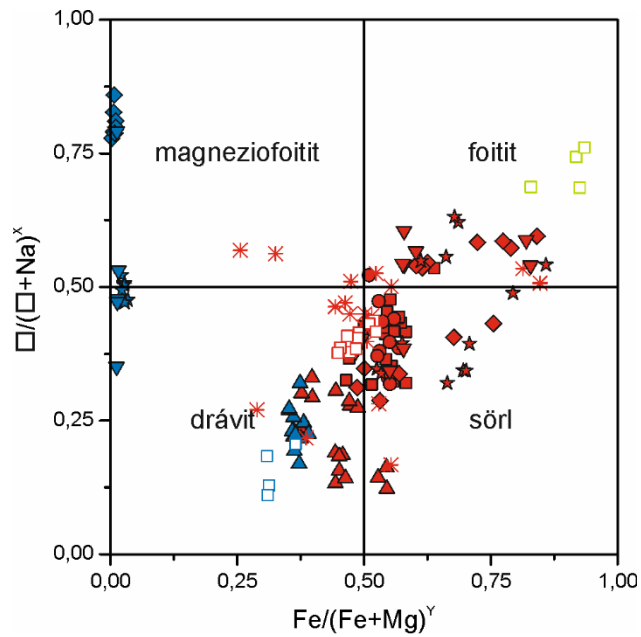
Szerző saját szerkesztése.



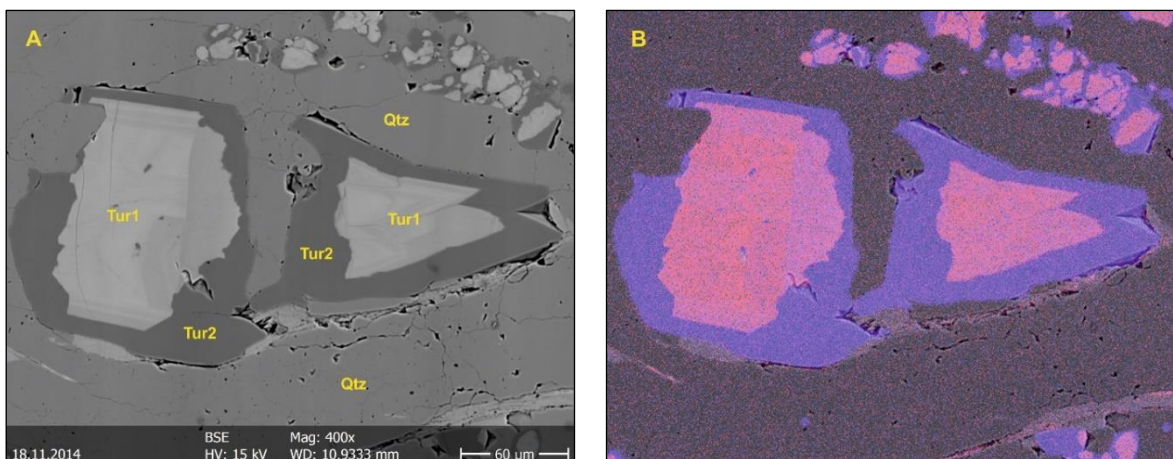
5.36. ábra: A kianit-klinoklor-muszkovit-kvarcitokban megjelenő turmalinokról készült visszaszórtelektron-képek. A) Oszillációs zónásságot mutató, töredezett turmalinkristály (Tur1) kvarcban (Qtz). S9 minta (Sopron, Seprőkötő-hegy). B) Teljesen szétaprózódott turmalinkristály (Tur1). Az egyes fragmentumokat a Tur2 generáció veszi körül. S10 minta (Sopron, Seprőkötő-hegy). C) Oszillációs zónásságot mutató turmalinkristályok (Tur1), rajtuk Mg-gazdag turmalinból álló továbbnövekedések (Tur2). S16 minta (Sopron, Récényi úti köfeytő). Szerző saját szerkesztése.



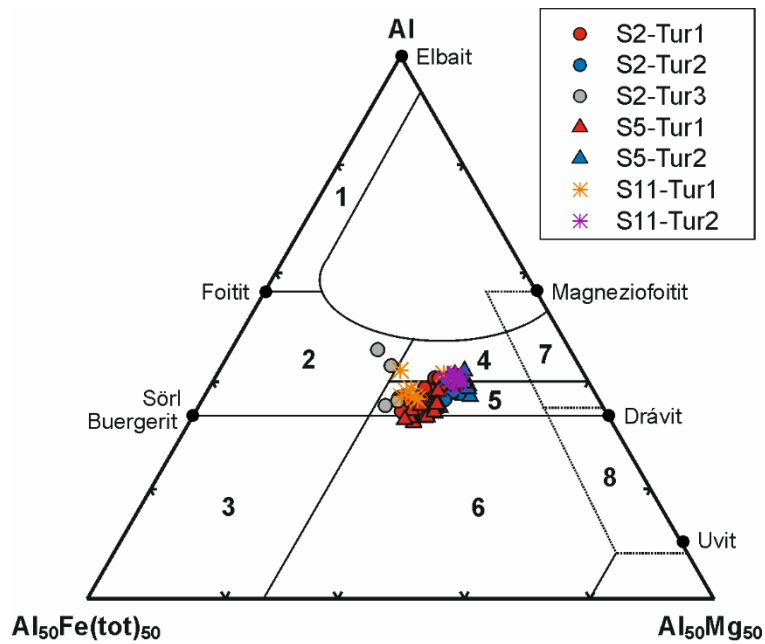
5.37. ábra: A kvarcitok turmalinjainak X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszögdiagramjában ábrázolva. Szerző saját szerkesztése.



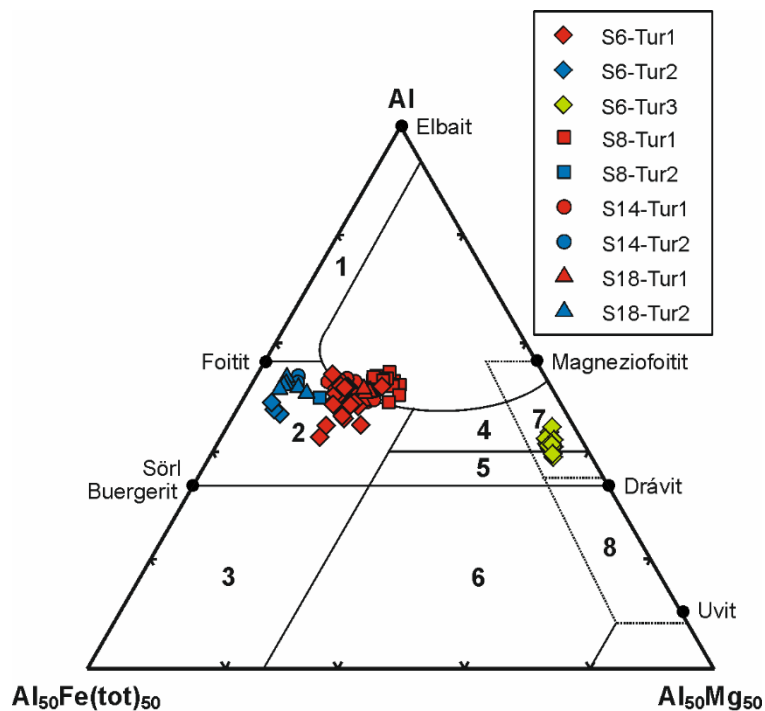
5.38. ábra: A kvarcitok turmalinjainak kémiai összetétele a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})^Y - \square/(\square + \text{Na})^X$ diagramban ábrázolva. A jelmagyarázatot lásd az előző ábrán. Szerző saját szerkesztése.



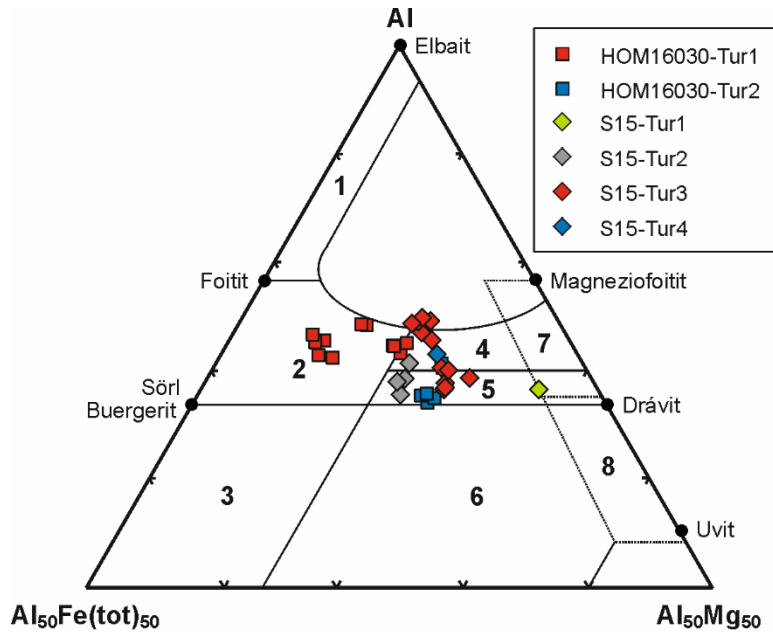
5.39. ábra: A) A Seprőkötő-hegyi turmalin (S10 minta) zónás belső magja (Tur1), a Mg-ban gazdag ránövekedéssel (Tur2), kvarcban (Qtz). Visszaszórtelevon-kép. B) Az előző mintában a Fe (rózsaszín) és a Mg (kék) eloszlását mutató röntgenkép. Szerző saját szerkesztése.



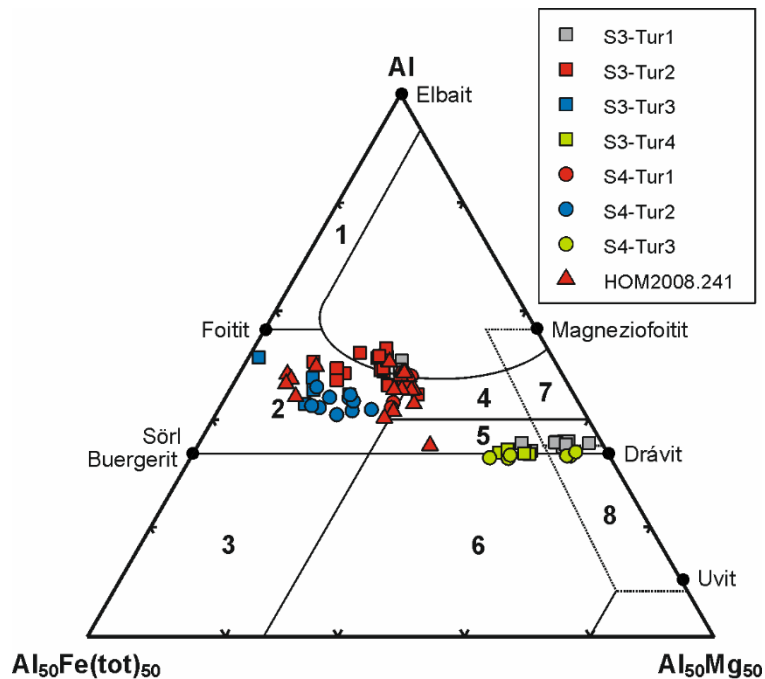
5.40. ábra: A csillámpalák turmalin-összetételeinek ábrázolása az AFM-diagramban (Henry és Guidotti, 1985 alapján). Az egyes mezők jelentését lásd a 2.8. ábrán.
Szerző saját szerkesztése.



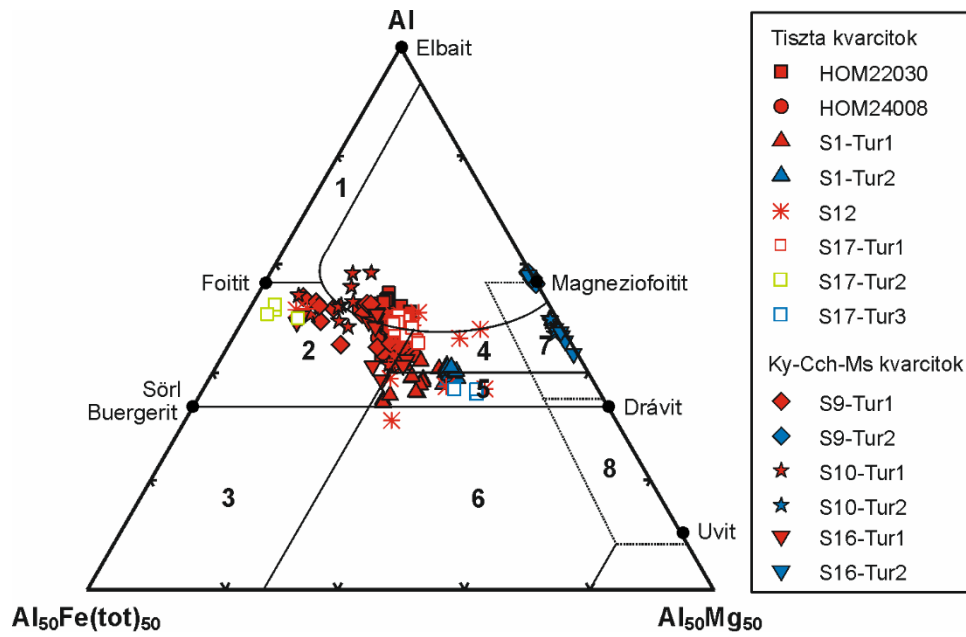
5.41. ábra: A gneiszek turmalin-összetételeinek ábrázolása az AFM-diagramban (Henry és Guidotti, 1985 alapján). Az egyes mezők jelentését lásd a 2.8. ábrán.
Szerző saját szerkesztése.



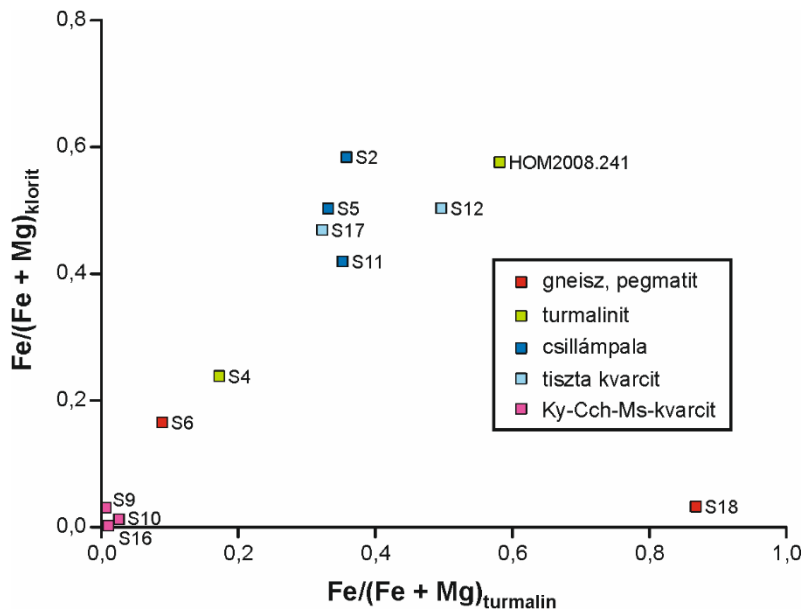
5.42. ábra: A gneisz-csillámpala kontaktusok turmalin-összetételeinek ábrázolása az AFM-diagramban (Henry és Guidotti, 1985 alapján). Az egyes mezők jelentését lásd a 2.8. ábrán. Szerző saját szerkesztése.



5.43. ábra: A turmalinitek turmalin-összetételeinek ábrázolása az AFM-diagramban (Henry és Guidotti, 1985 alapján). Az egyes mezők jelentését lásd a 2.8. ábrán. Szerző saját szerkesztése.

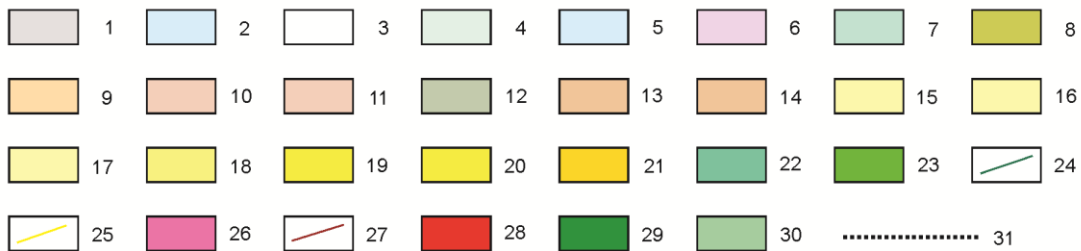
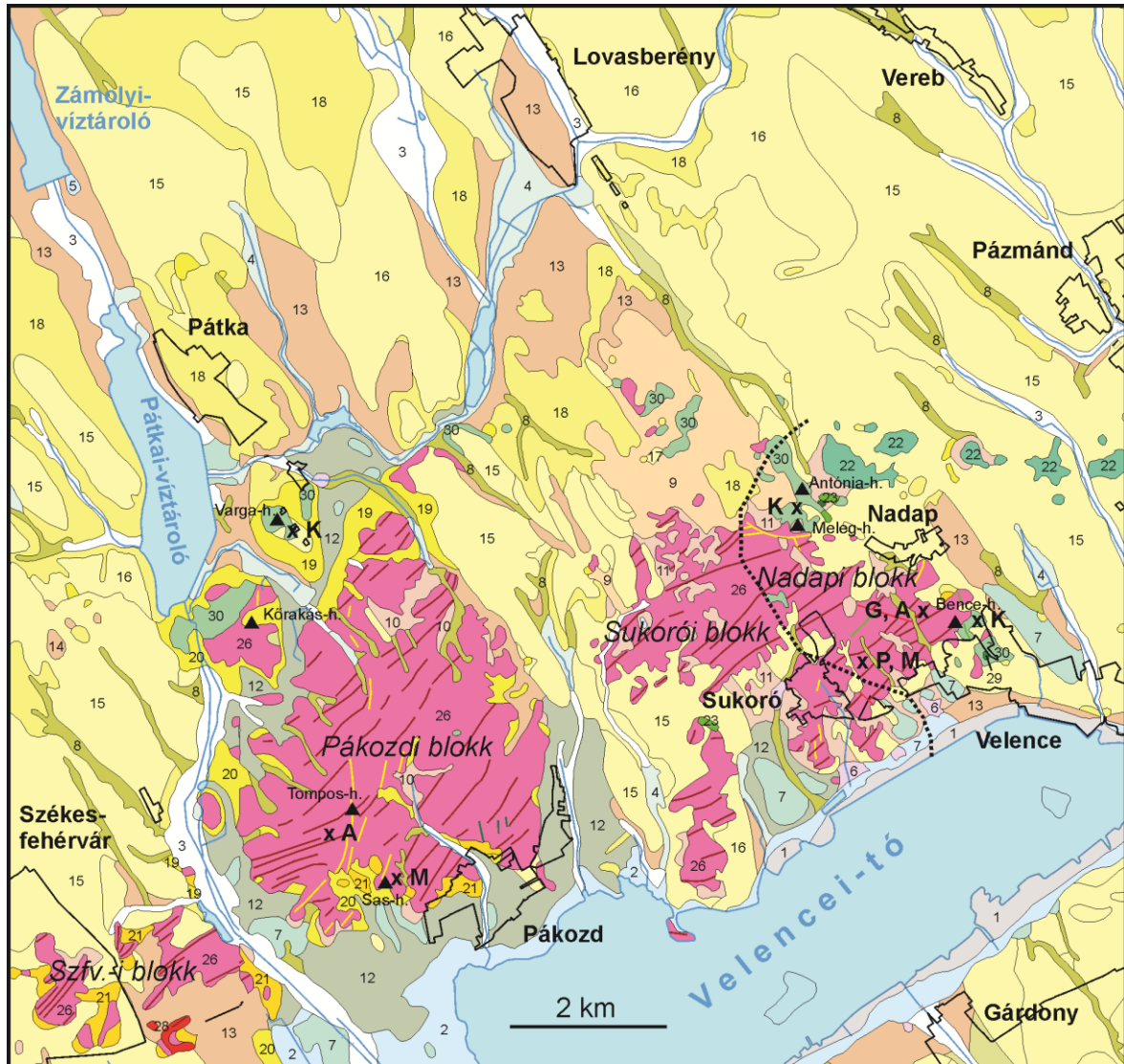


5.44. ábra: A kvarcitok turmalin-összetételeinek ábrázolása az AFM-diagramban (Henry és Guidotti, 1985 alapján). Az egyes mezők jelentését lásd a 2.8. ábrán.
Szerző saját szerkesztése.



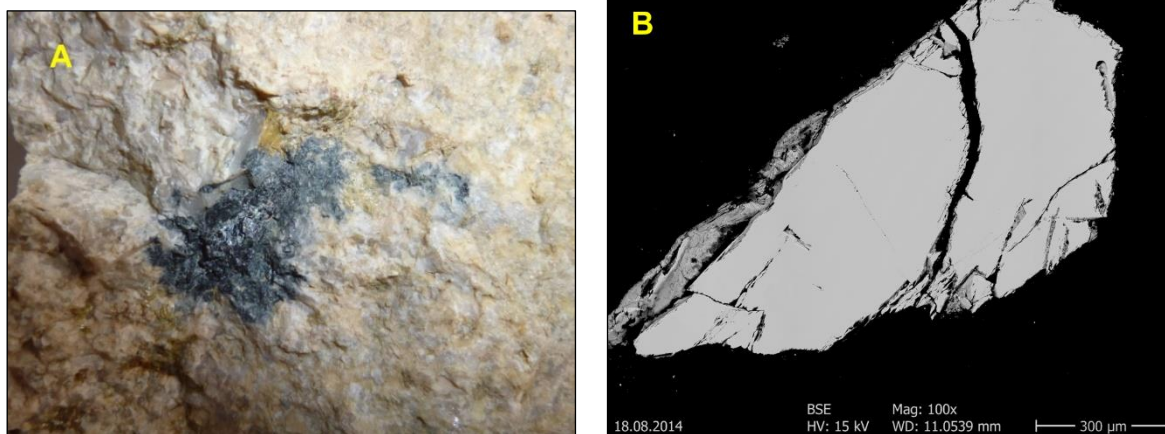
5.45. ábra: A Soproni-hegység klorittartalmú kőzeteiben lévő turmalinok és kloritok átlagos $Fe/(Fe + Mg)$ arányának ábrázolása. Turmalinok esetében az értékek a legkülső zónára vonatkoznak. Szerző saját szerkesztése.

6. A Velencei Gránit és a környező kontaktpala turmalinjai

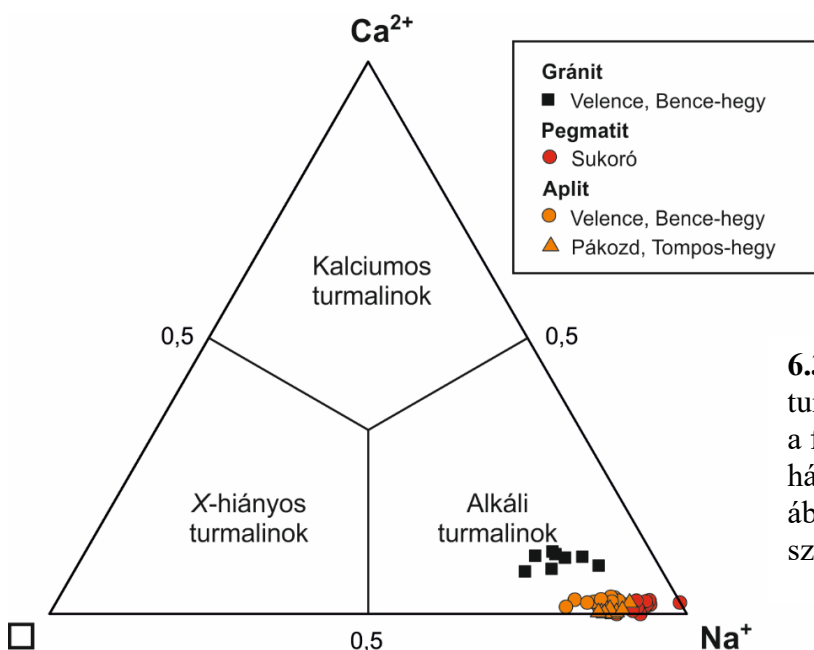


6.1. ábra: A Velencei-hegység és északi előterének földtani térképe (Gyalog, 2005a, b alapján). Jelmagyarázat: 1 = mesterséges feltöltés; 2 = újholocén tavi üledék; 3 = holocén folyóvízi üledék; 4 = holocén folyóvízi-mocsári üledék; 5 = holocén tavi-mocsári üledék; 6 = holocén mocsári üledék; 7 = felső pleisztocén-holocén proluviális üledék; 8 = felső pleisztocén-holocén proluviális-deluviális üledék; 9 = felső pleisztocén-holocén eolikus-deluviális homok; 10 = felső pleisztocén-holocén lejtőüledék általában; 11 = felső pleisztocén-holocén lejtőtörmelék; 12 = felső pleisztocén-holocén lejtő- és proluviális üledék; 13 = felső pleisztocén-holocén deluviális üledék; 14 = felső pleisztocén-holocén kavics, homokos kavics; 15 = felső pleisztocén lösz; [folytatás a következő oldalon]

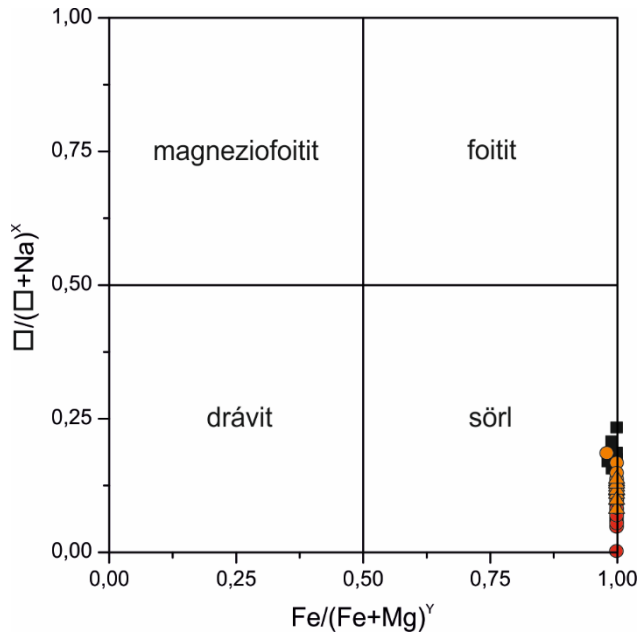
[folytatás az előző oldalról] 16 = felső pleisztocén homokos lösz; 17 = felső pleisztocén löszös homok; 18 = felső pannóniai Tihanyi Formáció; 19 = felső pannóniai Tihanyi és Kállai Formáció összevontan; 20 = felső pannóniai Kállai Kavics Formáció; 21 = pannóniai lejtőtörmelék; 22 = középső-felső eocén Nadapi Andezit Formáció Pázmándi Metaszomatit Tagozata; 23 = középső-felső eocén Nadapi Andezit Formáció Sorompóvölgyi Andezit Tagozata; 24 = felső kréta Budakeszi Pikrit Formáció; 25 = kréta kvarctelér; 26 = alsó perm Velencei Gránit Formáció; 27 = alsó perm Velencei Gránit Formáció Pákozdi Gránitporfir Tagozata; 28 = alsó perm Velencei Gránit Formáció Kiszaludi Mikrogránit Tagozata; 29 = szilur-devon Bencehegyi Mikrogabbro Formáció; 30 = ordóvícium-devon Lovasi Agyagpala Formáció; 31 = az eocén andezites vulkanizmushoz kapcsolódó fluidumáramlás nyugati határa (Benkó és társai, 2014 alapján). Az ábrán a vizsgált turmalinos minták gyűjtési helyeit x-szel jelöltem, megadva a befogadó kőzet típusát. Rövidítések: A = aplit; G = gránit; K = kontaktpala és/vagy kvarctelér; M = miarolitos üreg; P = pegmatit. Szfv.-i blokk = Székesfehérvári blokk.



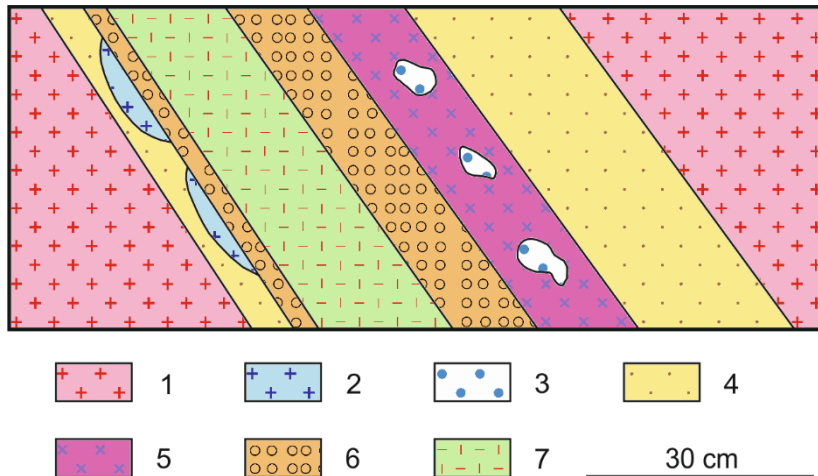
6.2. ábra: Fekete turmalin gránitban. Velence, Bence-hegy (MBFSZ-5307).
A. Makroszkópos felvétel, képszélesség: 6 cm (fotó: Péterdi Bálint). B. A kristály egy darabjának visszaszórtelektron-képe. Szerző saját szerkesztése.



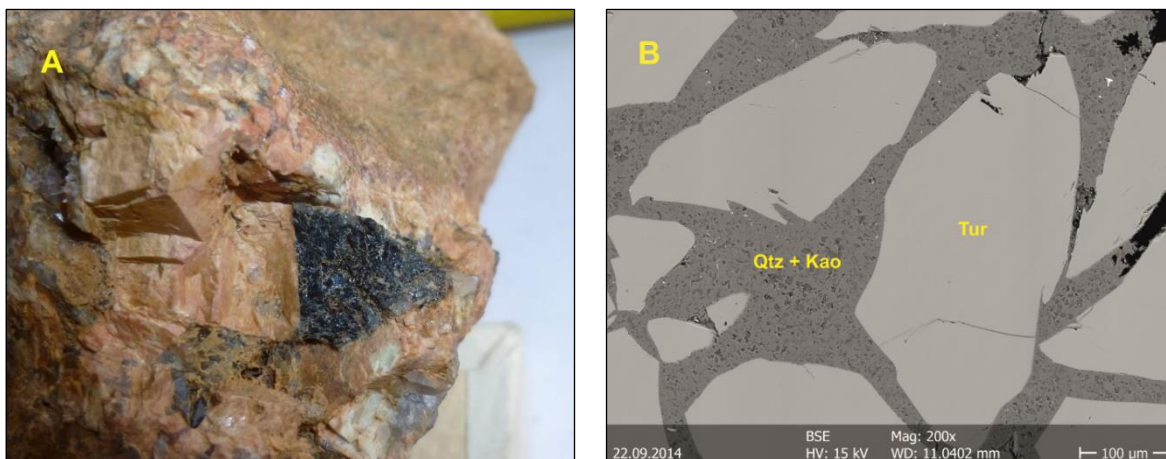
6.3. ábra: Az intragránitos turmalinok X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszögdiagramjában ábrázolva. Szerző saját szerkesztése.



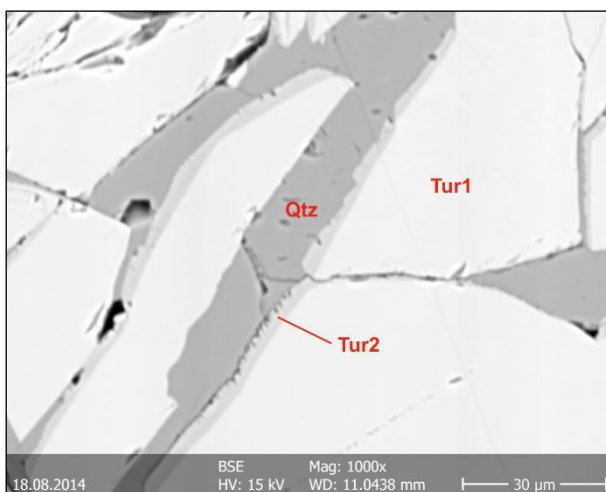
6.4. ábra: Az intragránitos turmalinok kémiai összetétele a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})^Y - \square/(\square + \text{Na})^X$ diagramban ábrázolva. A jelmagyarázatot lásd a 6.3. ábrán. Szerző saját szerkesztése.



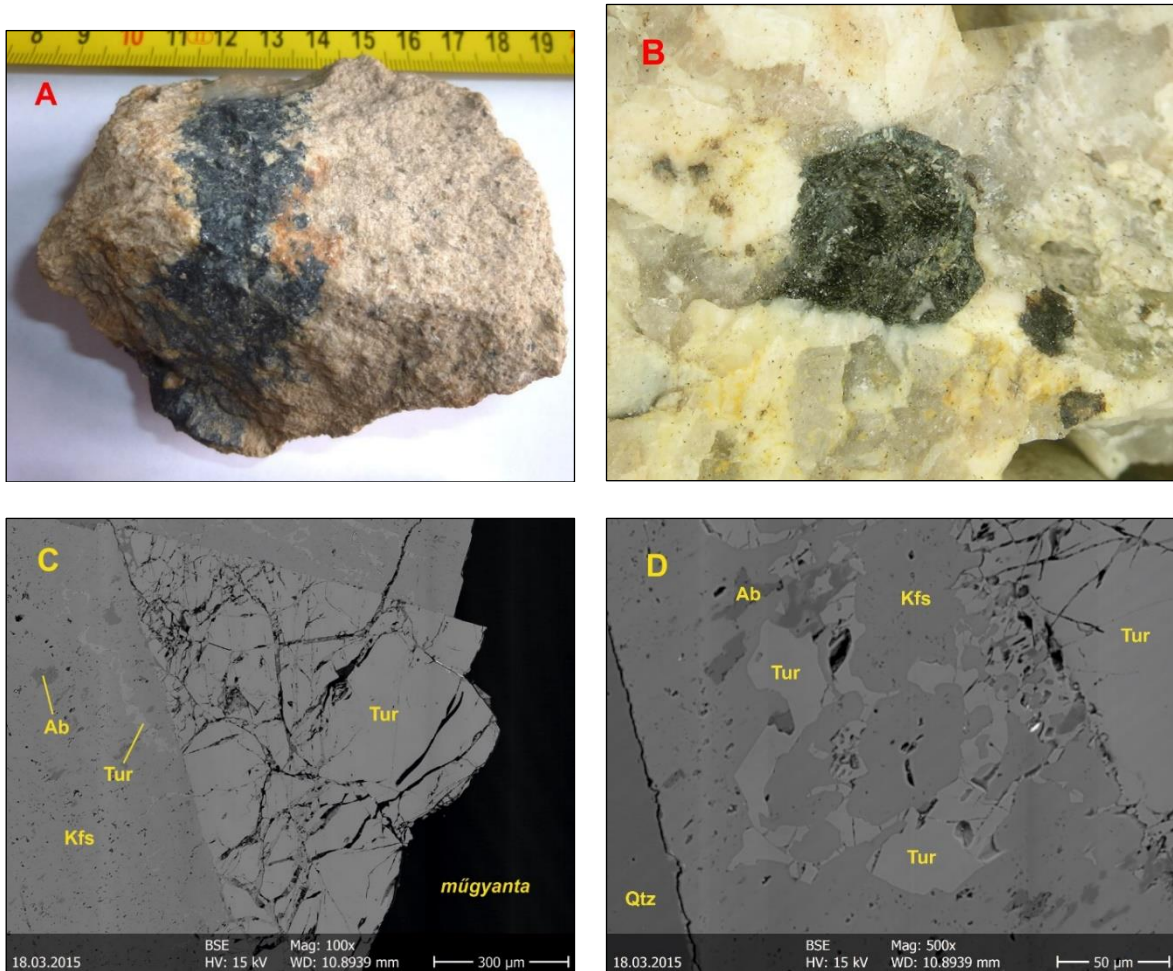
6.5. ábra: A sukorói turmalintartalmú pegmatit elvi szelvénye Nagy (1967a) alapján. Jelmagyarázat: 1 = gránit; 2 = írásgránit; 3 = miarolitos üregek; 4 = mikrogránit; 5 = turmalinos írásgránit; 6 = durvaszemcsés pegmatit; 7 = aplit.



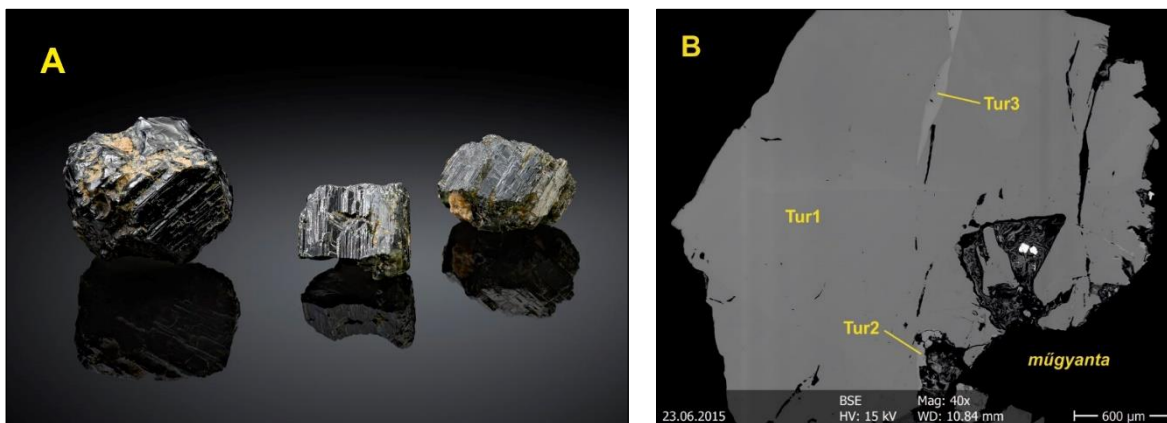
6.6. ábra: Fekete, háromszöges turmalin pegmatitban. Sukoró, murvafejtő (MBFSZ-11144). A) Makroszkópos felvétel, képszélesség: 6 cm (fotó: Péterdi Bálint). B) A visszaszórtelektron-képen jól látszik, hogy a kémiaailag homogén turmalinkristály (Tur) széttöredezett, a köztük lévő teret kvarc (Qtz, világosabb szürke) és kaolinosodott földpát (Kao, sötétebb szürke) együttese tölti ki. Szerző saját szerkesztése.



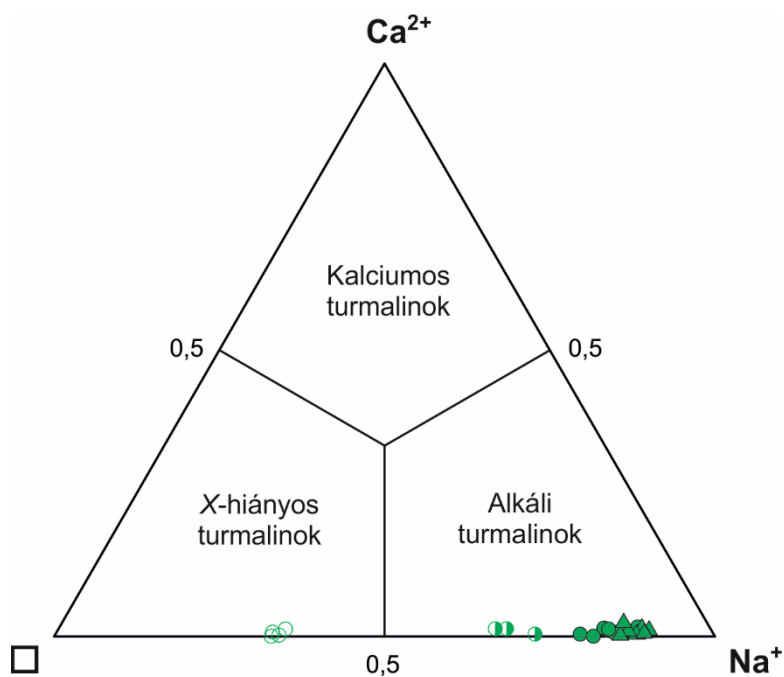
6.7. ábra: A pegmatitos turmalinok (Tur1) szélén megjelenő, későbbi fluidum-infiltráció átalakító hatására képződött reakciószegélyek (Tur2), kvarccal (Qtz). Visszaszórtelektronkép (MBFSZ 11138 minta). Szerző saját szerkesztése.



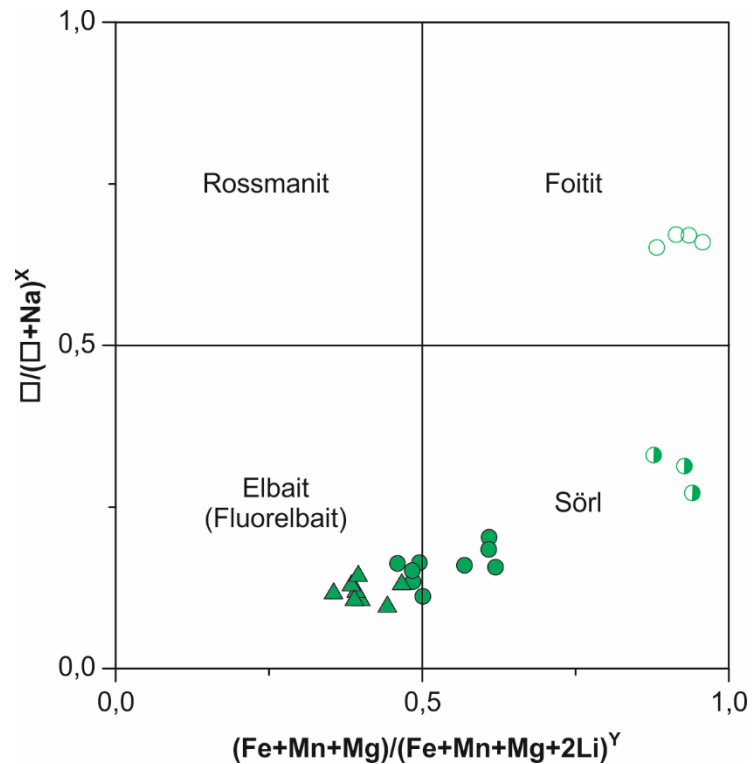
6.8. ábra: Az aplitok turmalinjai. A) Fekete, turmalinos ér aplitban. Velence, Bence-hegy (MBFSZ-5304 minta). Makroszkópos felvétel, a példány 10,5 cm-es (fotó: Péterdi Bálint). B) Fekete, idiomorf, hatszöges turmalinkristály aplitban. Pákozd, Tompos-hegy (V3 minta). Mikroszkópos felvétel, képszélesség: 7 mm. C) Idiomorf, erősen repedezett, kémiai zónásságot nem mutató turmalinkristály (Tur) a pákozdi Tompos-hegy aplitjában (V3 minta); D) egy nagy turmalinkristállyal szomszédos káliföldpát (Kfs), melyben jól megfigyelhetők a turmalinfoszlányok (V3 minta). Visszaszórtelektron-képek. További rövidítések: Ab = albit, Qtz = kvarc. Szerző saját szerkesztése.



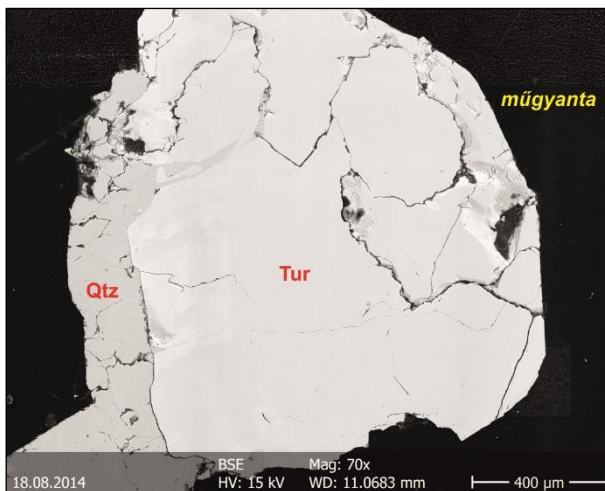
6.9. ábra: Turmalinkristályok miarolitos üregből a pákozdi Sas-hegyről (HOM 2009.215). A) Makroszkópos felvétel, a legnagyobb kristály 4 mm-es (fotó: Kupi László). B) Az egyik kristályról készült visszaszórtelektron-kép. Tur1 = a kristály fő tömege; Tur2 = a széleken itt-ott megjelenő, max. 50 µm vastag zóna; Tur3 = elváltozott zóna a kristály belsejében. Szerző saját szerkesztése.



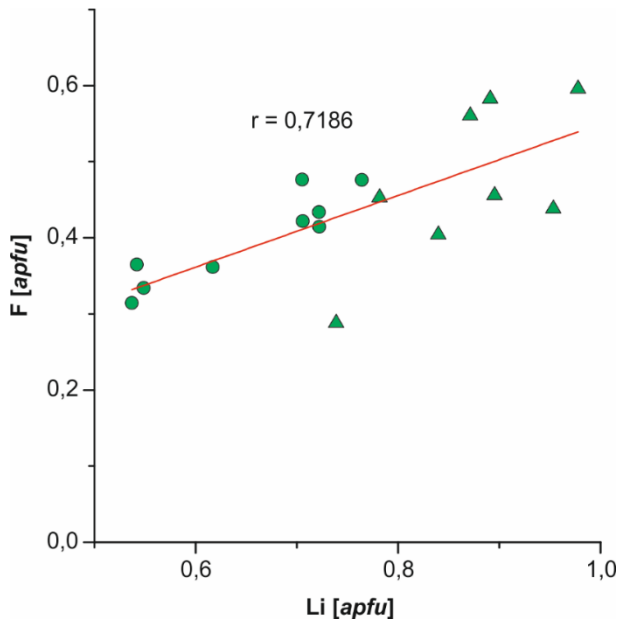
6.10. ábra: A pákozdi Sas-hegy és a sukorói murvabánya pegmatitjának miarolitos üregeiben megjelenő turmalinok X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszögdiagramjában ábrázolva. Pákozdi: Tur1 = telt körök, Tur2 = félig telt körök, Tur3 = üres karikák; Sukoró = háromszögek. Szerző saját szerkesztése.



6.11. ábra: A pákozdi Sas-hegy és a sukorói murvabánya pegmatitjának miarolitos üregeiben megjelenő turmalinok osztályozása a $(\text{Fe} + \text{Mn} + \text{Mg})/(\text{Fe} + \text{Mn} + \text{Mg} + 2\text{Li})^Y - \square/(\square + \text{Na})^X$ diagramban. Pákozdi: Tur1 = telt körök, Tur2 = félig telt körök, Tur3 = üres karikák; Sukoró = háromszögek. Szerző saját szerkesztése.



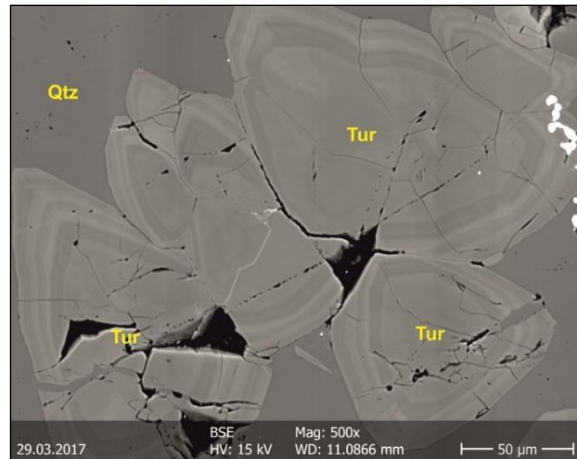
6.12. ábra: A sukorói turmalinkristályról készült visszaszórtelektron-kép. Rövidítések: Tur = turmalin, Qtz = kvarc. Szerző saját szerkesztése.



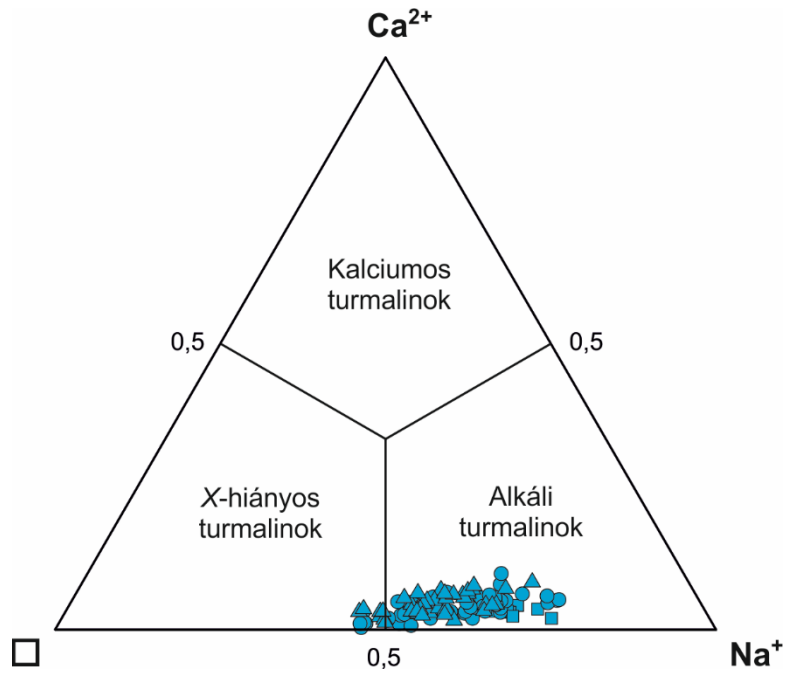
6.13. ábra: A sas-hegyi turmalinkristály Tur1 zónája (körök) és a sukorói kristály (háromszögek) F-tartalmának ábrázolása a Li-tartalom függvényében (r = korrelációs együttható). Szerző saját szerkesztése.



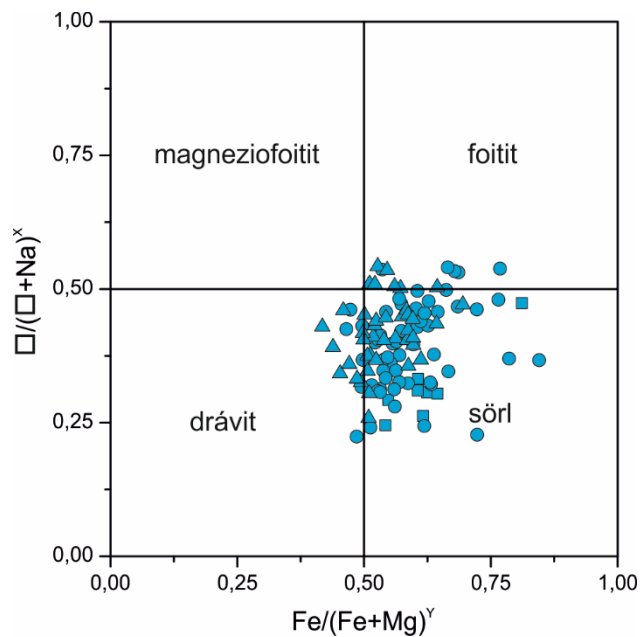
6.14. ábra: Turmalinosodott kontaktpala; Pátka, Varga-hegy (HOM 26284). Képszélesség: 6 cm. Szerző saját szerkesztése.



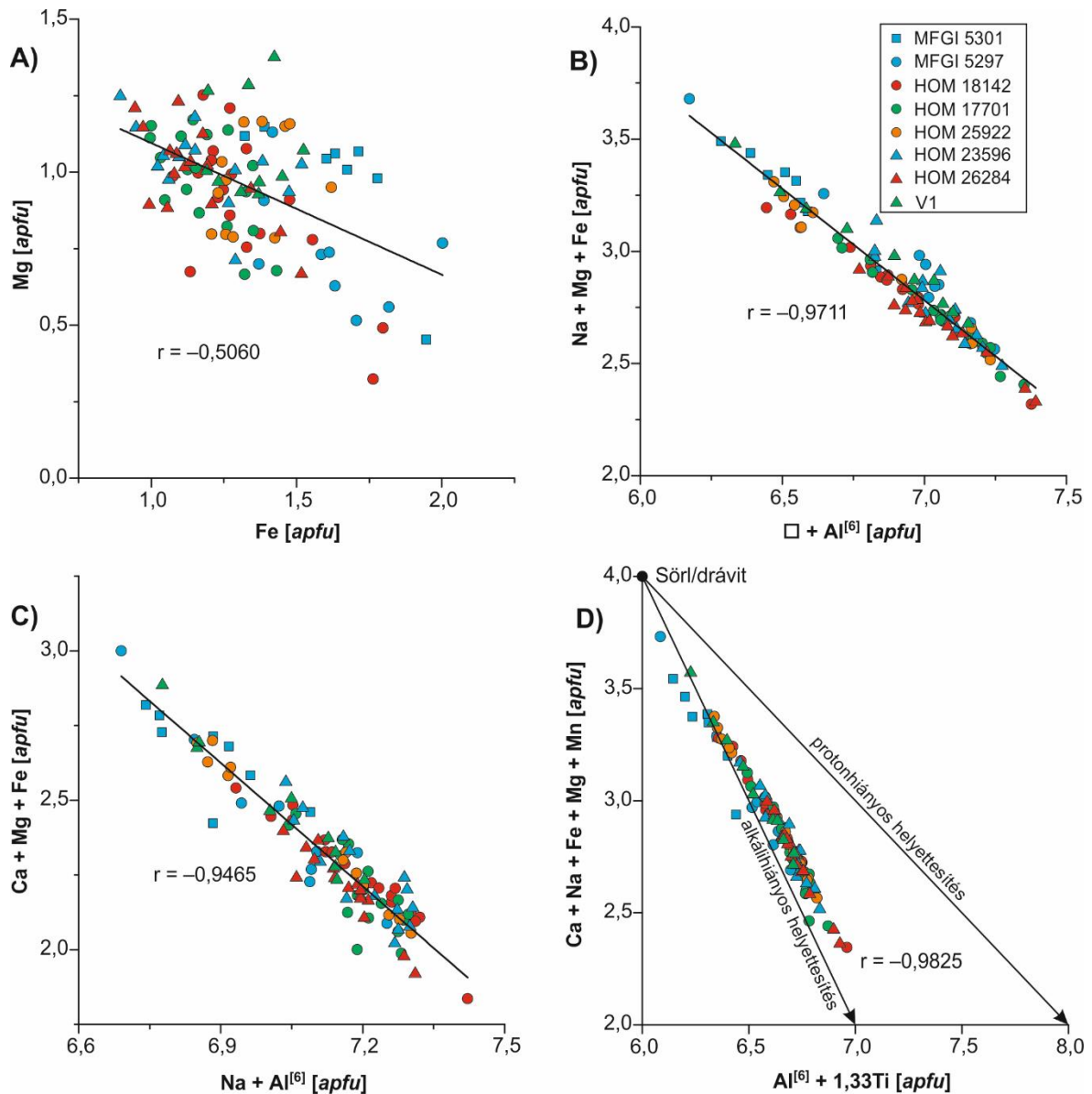
6.15. ábra: Oszillációs zónásságot mutató turmalinkristályok (Tur) kvarcban (Qtz). Pátka, Varga-hegy (HOM 23596). Viasszórtelektron-kép. Szerző saját szerkesztése.



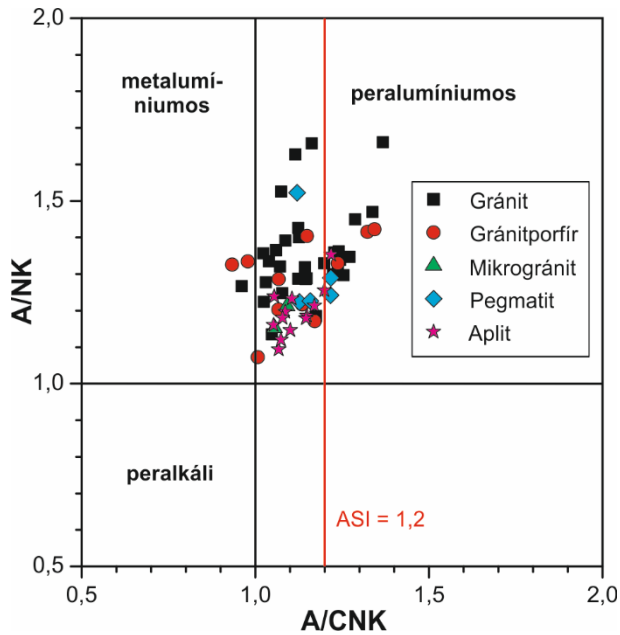
6.16. ábra: A Velencei Gránit palaköpenyéből származó turmalinok X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszögdiagramjában ábrázolva. Velence, Bence-hegy = négyzetek; Lovasberény, Antónia-hegy = körök; Pátka, Varga-hegy = háromszögek. Szerző saját szerkesztése.



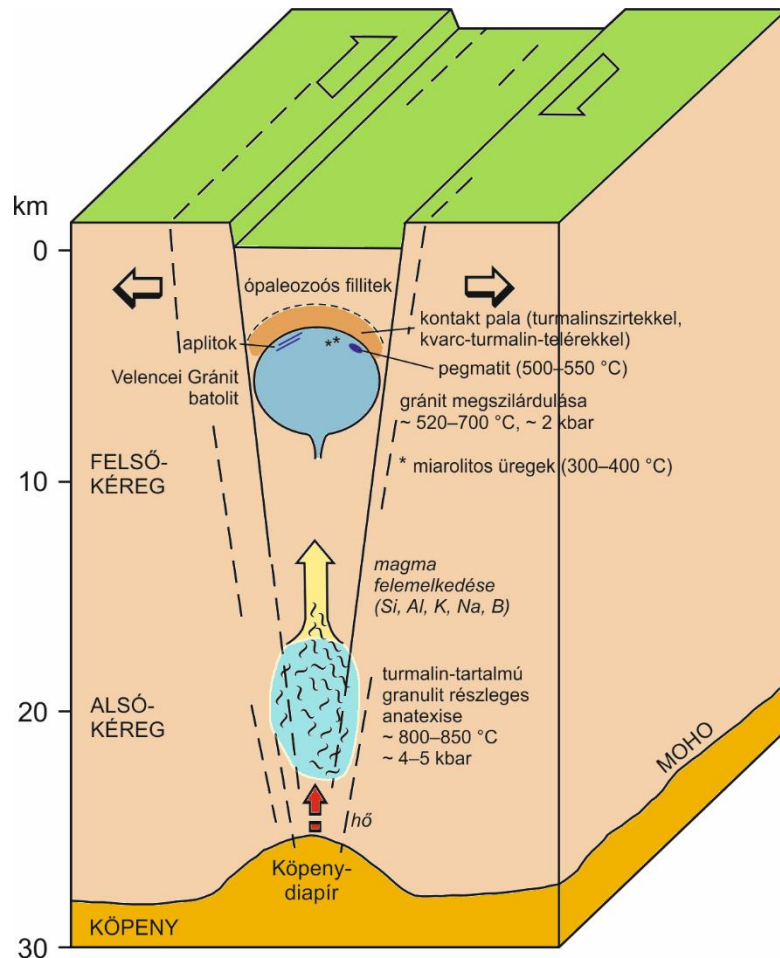
6.17. ábra: A Velencei Gránit palaköpenyéből származó turmalinok kémiai összetétele a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})^Y - \square/(\square + \text{Na})^X$ diagramban ábrázolva. Velence, Bence-hegy = négyzetek; Lovasberény, Antónia-hegy = körök; Pátka, Varga-hegy = háromszögek. Szerző saját szerkesztése.



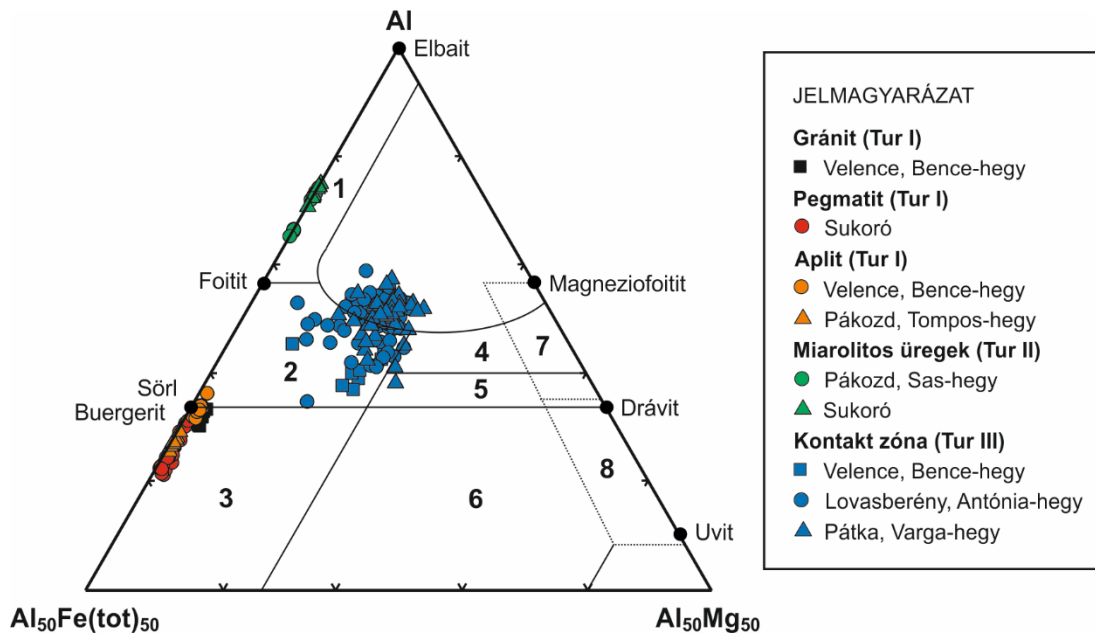
6.18. ábra: A Velencei Gránit palaköpenyéből származó turmalinokban működő helyettesítési mechanizmusok: A) az Mg-tartalom ábrázolása a Fe-tartalom függvényében; B) a Na + Mg + Fe ábrázolása a $\square + \text{Al}^{[6]}$ függvényében; C) a Ca + Mg + Fe ábrázolása a Na + $\text{Al}^{[6]}$ függvényében; D) a Ca + Na + Fe + Mg + Mn ábrázolása az $\text{Al}^{[6]} + 1,33\text{Ti}$ függvényében (r = korrelációs együttható). Szerző saját szerkesztése.



6.19. ábra: A velencei-hegységi gránit és telérközetei összetételének ábrázolása az A/CNK–A/NK diszkriminációs diagramban (Maniar és Piccoli, 1989). A = Al_2O_3 , C = CaO, N = Na_2O és K = K_2O molekulaszázalékban. Az adatok forrása: Jantsky (1957), Nagy (1967a), Pantó Gy. (1977), Buda (1993), Uher és Broska (1994) és Gyalog és Horváth (2004). Szerző saját szerkesztése.

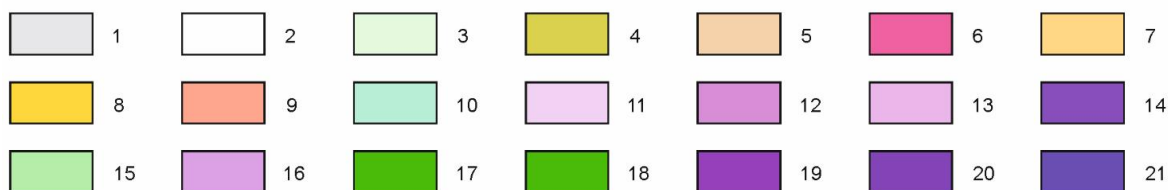
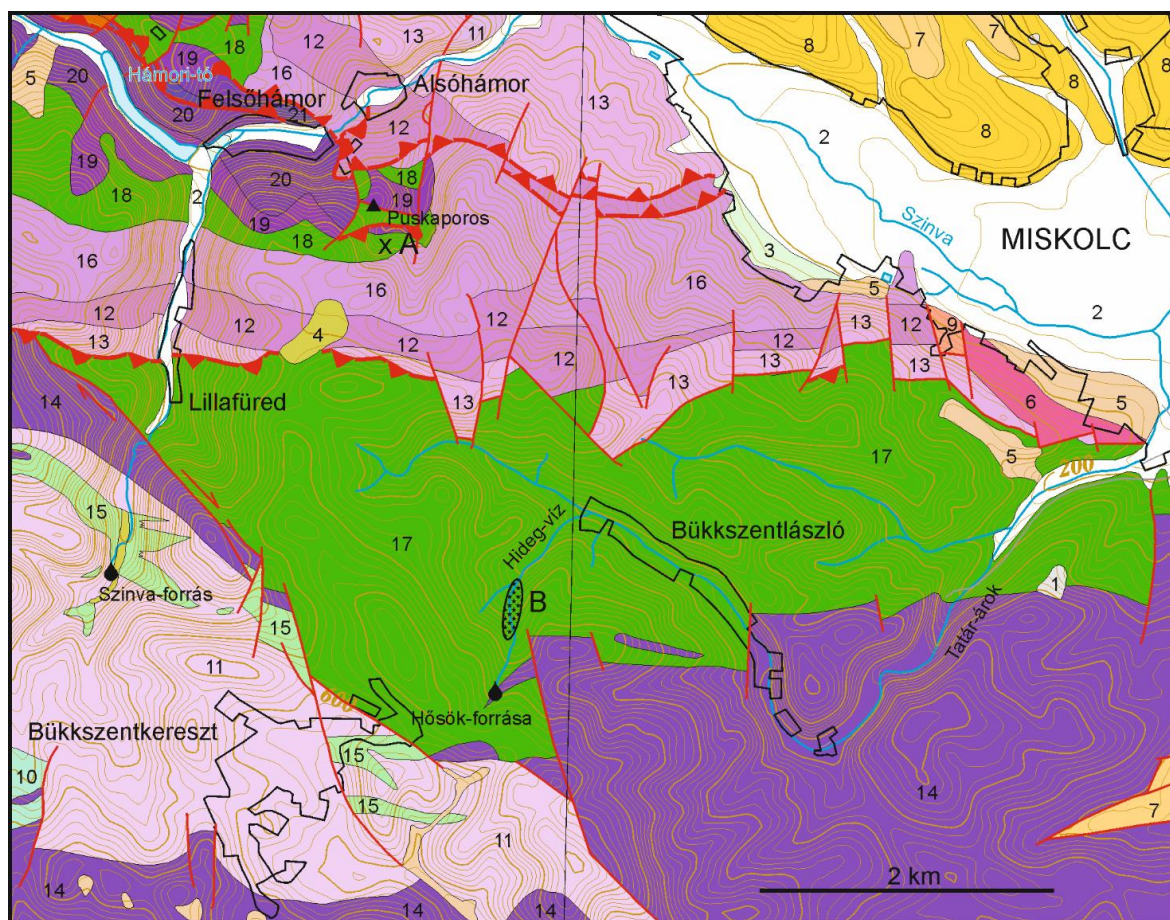


6.20. ábra: A velencei-hegységi posztorogén gránit képződésének lehetséges forgatókönyve Uher és Broska (1996) alapján, módosítva.

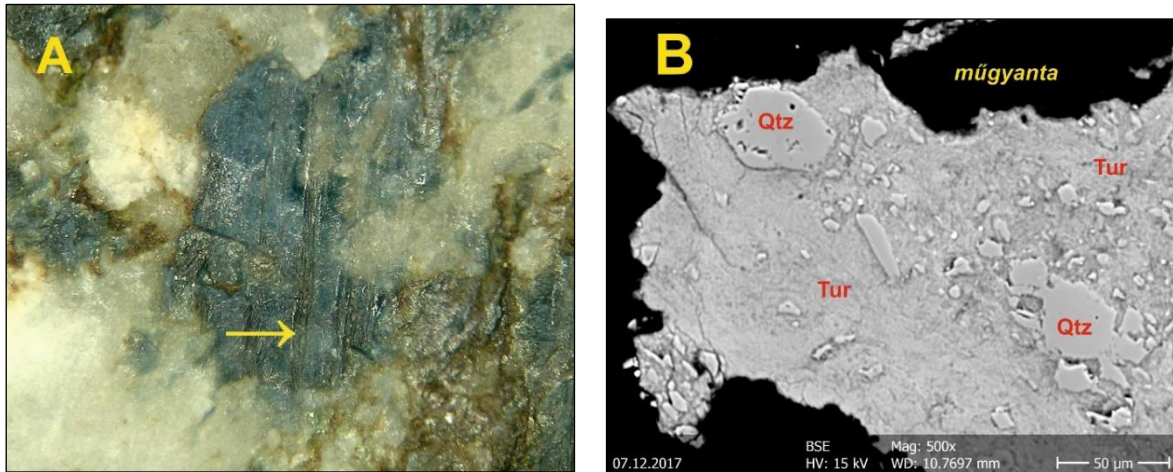


6.21. ábra: A velencei-hegységi turmalinok összetételének ábrázolása az AFM-diagramban (Henry és Guidotti, 1985 alapján). Az egyes mezők jelentését lásd a 2.8. ábrán. Szerző saját szerkesztése.

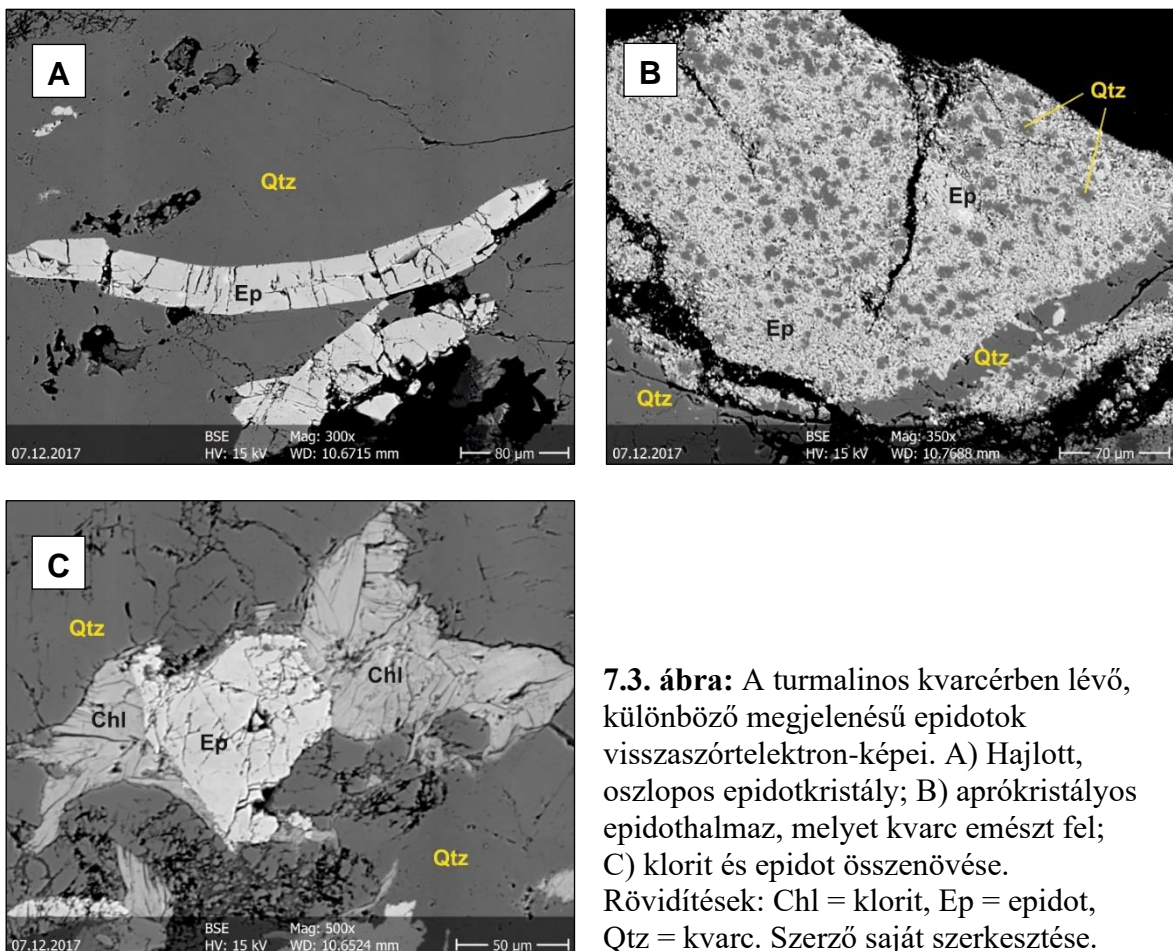
7. A Bükk turmalinjai



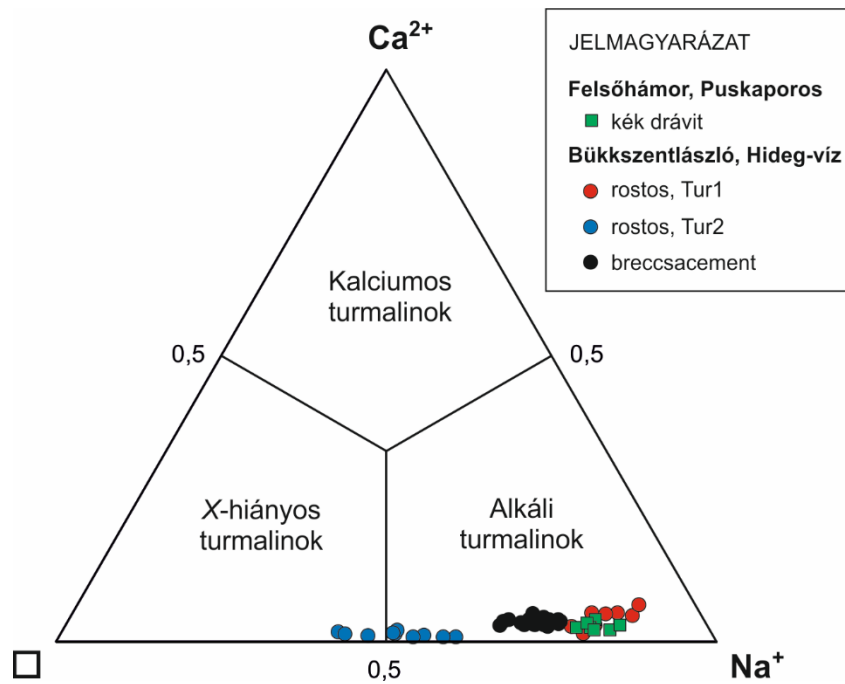
7.1. ábra: A Lillafüred, Miskolc és Bükkszentkereszt közötti terület földtani térképe (Rónai és Less, 2005 alapján). Jelmagyarázat: 1 = meddőhányó; 2 = holocén folyóvízi üledék; 3 = felső pleisztocén-óholocén folyóvízi üledék; 4 = felső pleisztocén-holocén proluviális-deluviális üledék; 5 = felső pleisztocén-holocén deluviális üledék; 6 = középső-felső miocén (badeni-szarmata) Felnémeti Riolitufa Formáció; 7 = középső miocén (kárpati) Egyházasgergei Formáció; 8 = középső miocén (ottnangi-kárpati) Salgótarjáni Barnaköszén Formáció; 9 = felső oligocén Csókási Formáció; 10 = középső-felső jura Bányahegyi Radiolarit Formáció; 11 = felső triász Felsőtárkányi Mészke Formáció; 12 = felső triász Vesszősi Formáció; 13 = felső triász Hegyestetői Formáció; 14 = középső-felső triász Bükkfennsíki Mészke Formáció; 15 = felső triász Szinvai Metabazalt Formáció; 16 = középső-felső triász Fehérkői Mészke Formáció; 17 = középső-felső triász Bagolyhegyi Metariolit Formáció; 18 = középső triász Szentistvánhegyi Metaandezit Formáció; 19 = középső triász Hámori Dolomit Formáció; 20 = alsó triász Ablakoskövölgyi Formáció; 21 = alsó triász Gerennavári Mészke Formáció. A vizsgált turmalinos minták lelőhelyei: A = Puskaaporos; B = Hideg-víz.



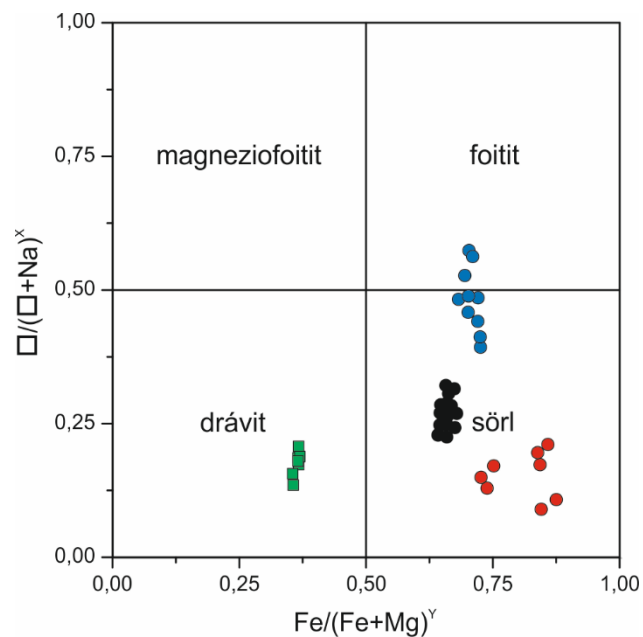
7.2. ábra: A felsőháromi Puskaporos turmalinja. A) Szürkés-kék turmalinhalmoz kvarcban. Képszélesség: 3 mm. A nyíl vetőkarcot jelöl. B) Finomrostos, a csiszolás miatt bemélyedt felületű turmalinhalmozok (Tur) kipreparálódott kvarcokkal (Qtz). Visszaszórtelektronkép. Szerző saját szerkesztése.



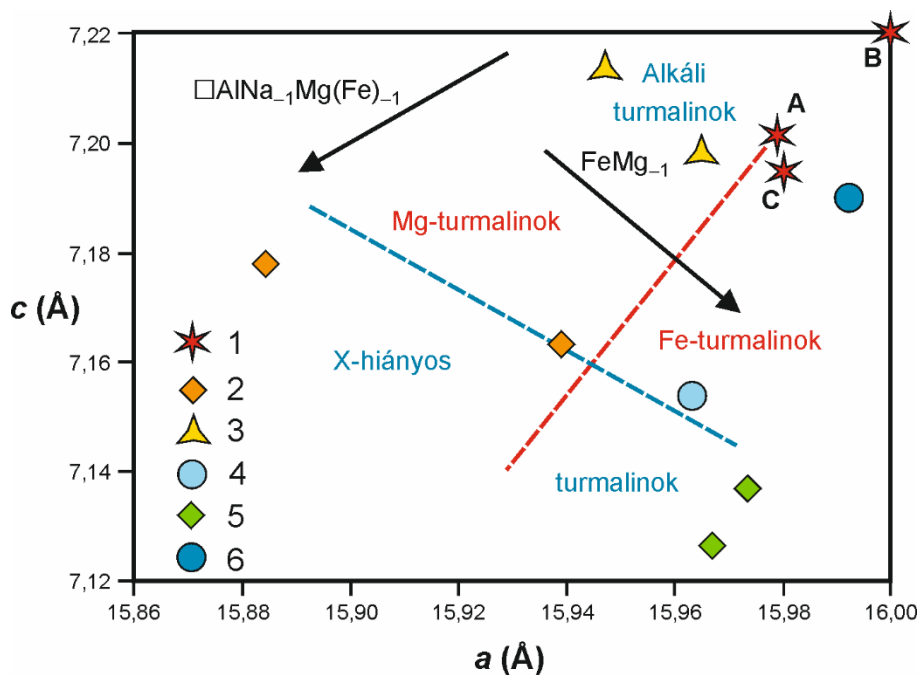
7.3. ábra: A turmalinos kvarcérben lévő, különböző megjelenésű epidotok visszaszórtelektron-képei. A) Hajlott, oszlopos epidotkristály; B) aprókristályos epidothalmaz, melyet kvarc emésztt fel; C) klorit és epidot összenövése. Rövidítések: Chl = klorit, Ep = epidot, Qtz = kvarc. Szerző saját szerkesztése.



7.4. ábra: A bükki turmalinok X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszögdiagramjában ábrázolva. Szerző saját szerkesztése.



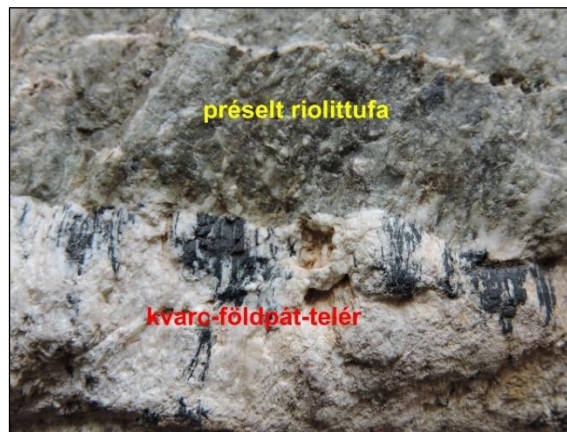
7.5. ábra: A bükki turmalinok kémiai összetétele a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})^y - \square/(\square + \text{Na})^x$ diagramban ábrázolva. A jelmagyarázatot lásd az előző ábrán. Szerző saját szerkesztése.



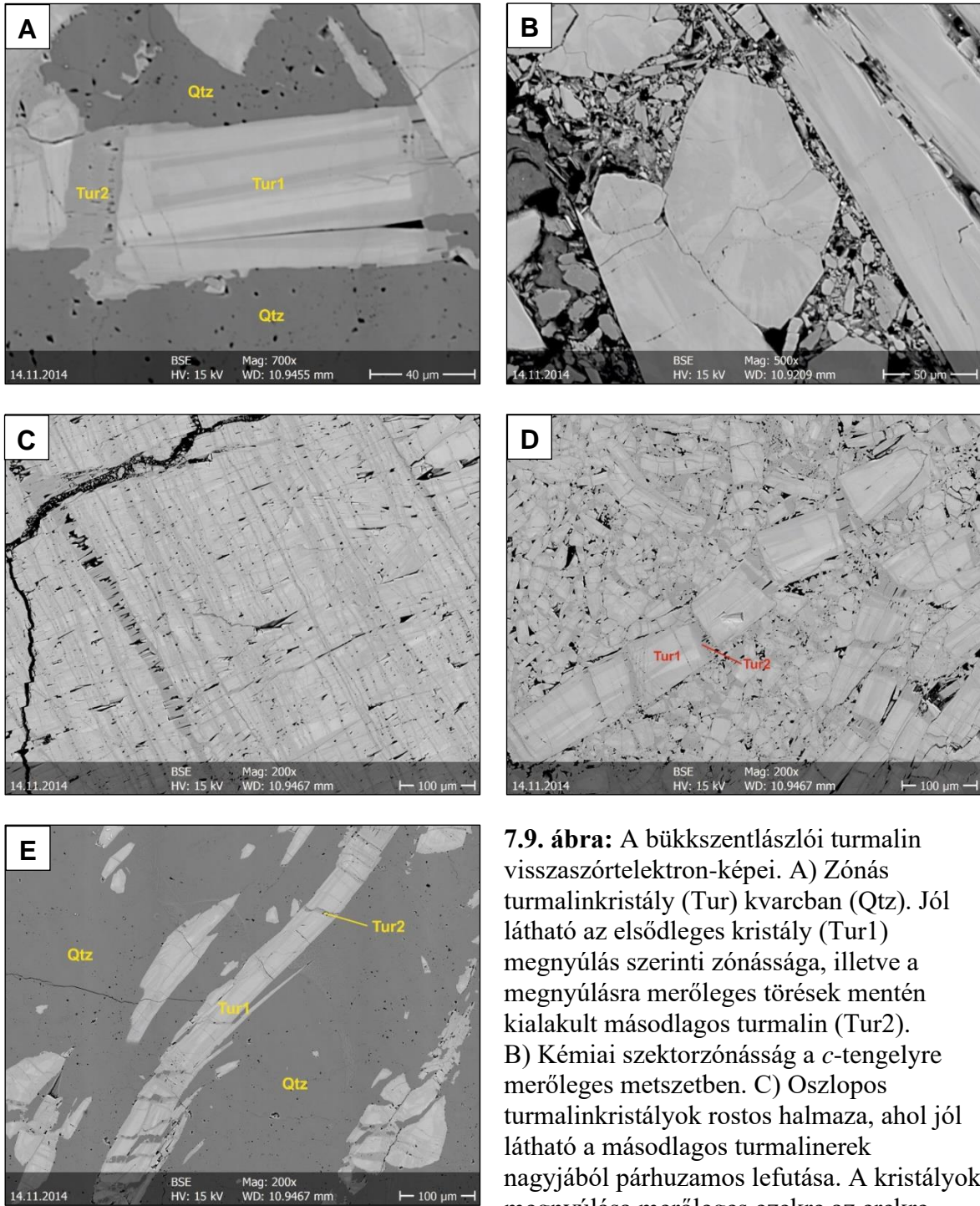
7.6. ábra: Az „*a*” és „*c*” rácsállandókat összehasonlító diagram, az X-hiányos, alkáli, Fe- és Mg-tartalmú turmalinok tapasztalati úton meghatározott mezőivel (Uher és társai, 2009 alapján). Jelmagyarázat: 1 = vizsgált bükki turmalinok (A: kék drávit, Felsőhámor, Puskaporos; B: rostos sörl, Bükkszentlászló; C: breccsacement, Bükkszentlászló), 2 = magneziofoitit, 3 = drávit, 4 = X-hiányos sörl, 5 = foitit, 6 = sörl. Szerző saját szerkesztése.



7.7. ábra: Fekete, rostos turmalinerek fehér kvarc-földpát telérközvetben. Miskolc-Bükkszentlászló, Hideg-víz (HOM 2010.76). Képszélesség: 12 cm. Szerző saját szerkesztése.



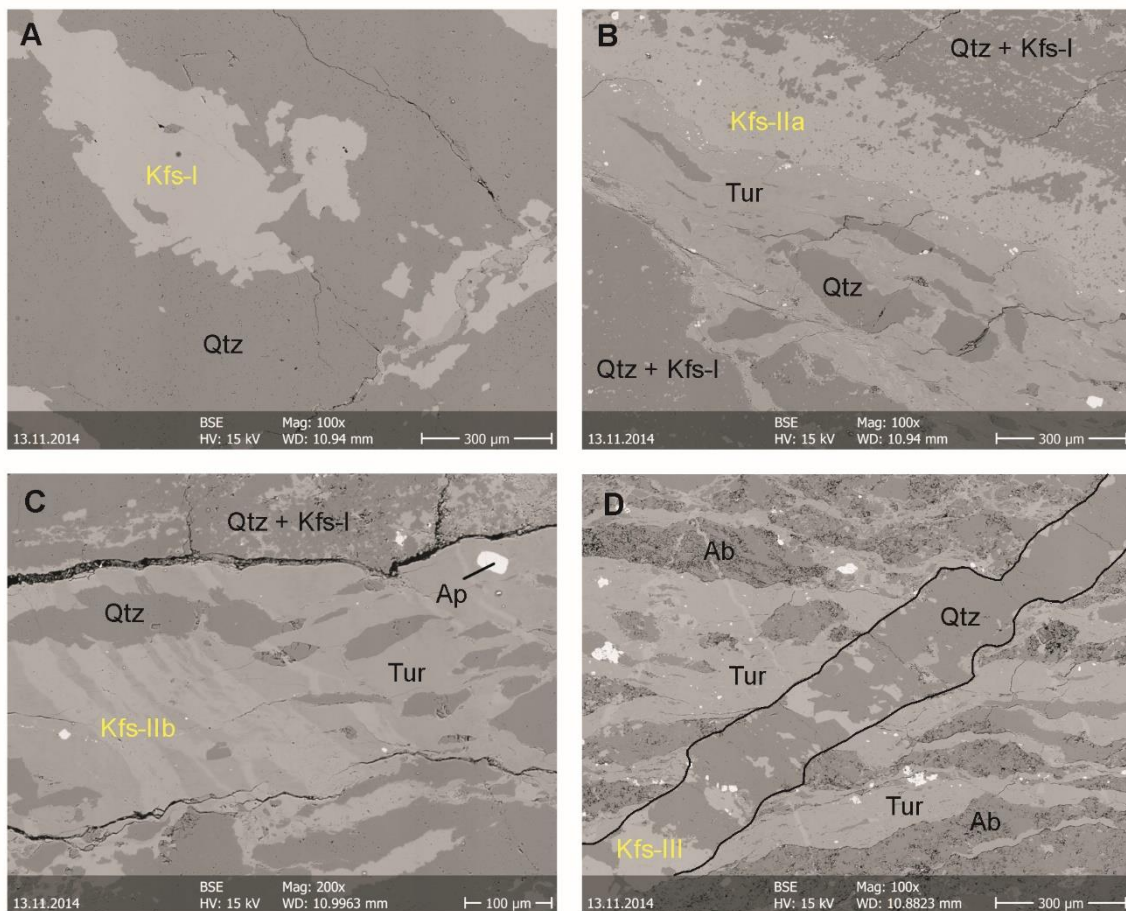
7.8. ábra: Préselt riolittufa és kvarc-földpát-telér érintkezése. Miskolc-Bükkszentlászló, Hideg-víz. Jól látszik, hogy a turmalin előfordulása a kvarc-földpát-telérre korlátozódik, a turmalinos erek pedig közel merőlegesek az érintkezési felületre. Képszélesség: 7 cm. Szerző saját szerkesztése.



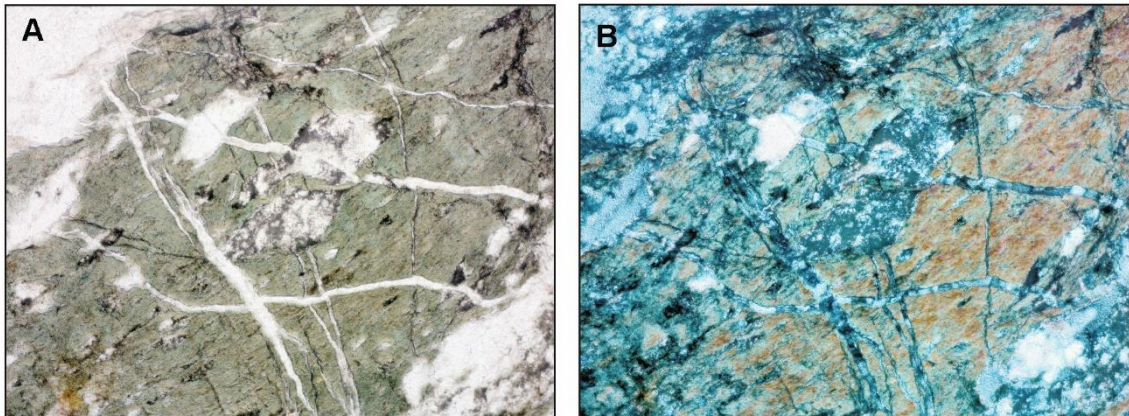
7.9. ábra: A bükkszentlászlói turmalin visszaszórtelektron-képei. A) Zónás turmalinkristály (Tur) kvarcban (Qtz). Jól látható az elsődleges kristály (Tur1) megnyúlás szerinti zónássága, illetve a megnyúlásra merőleges törések mentén kialakult másodlagos turmalin (Tur2). B) Kémiai szektorzónásság a *c*-tengelyre merőleges metszetben. C) Oszlopos turmalinkristályok rostos halmaza, ahol jól látható a másodlagos turmalinerek nagyjából párhuzamos lefutása. A kristályok megnyúlása merőleges ezekre az erekre. D) Tektonikai hatásra a gyengített zónák (Tur2) mentén eltöredezett turmalinkristály. E) Tektonikus hatásra meghajlott turmalinkristály kvarcban. Szerző saját szerkesztése.



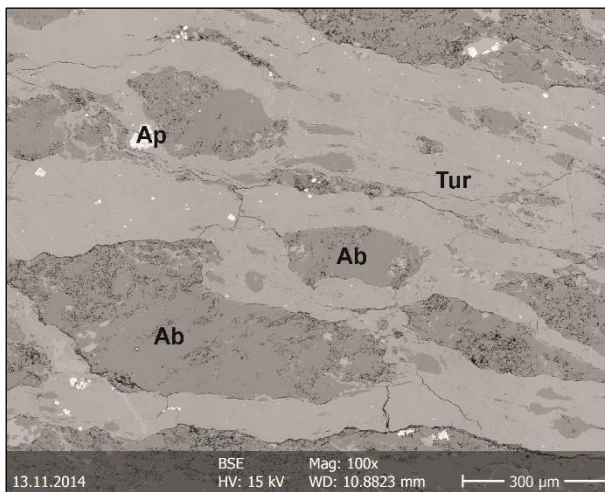
7.10. ábra: Fekete, finomszemcsés turmalin által cementált breccsa Miskolc-Bükkszentlászlóról. A példány 5,5 cm hosszú. Szerző saját szerkesztése.



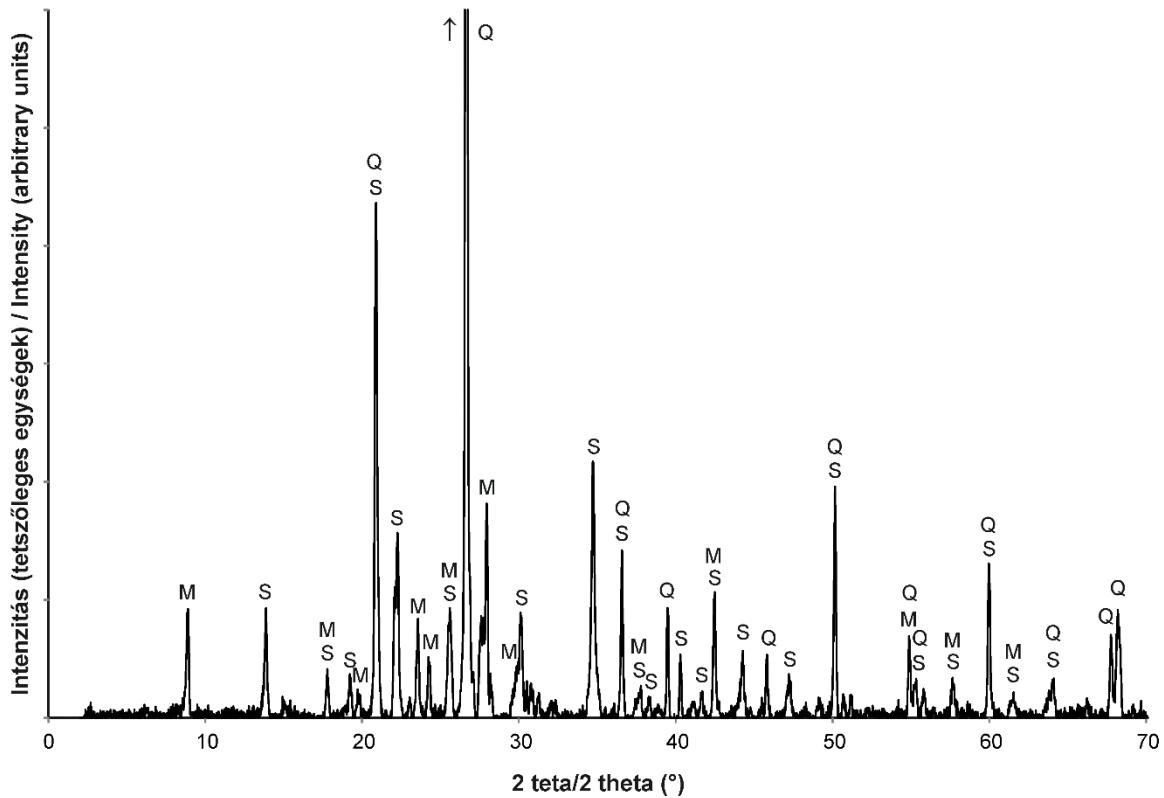
7.11. ábra: A káliföldpátok három generációja (visszaszórtelektron-képek):
 A) pregenetikus káliföldpát-I; B) szingenetikus káliföldpát-IIa; C) szingenetikus káliföldpát-IIb; D) posztgenetikus káliföldpát-III. Itt a jobb áttekinthetőség kedvéért a legkésőbbi kvarc-földpát-eret fekete körvonallal emeltem ki. Rövidítések: Ab = albit; Ap = apatit; Kfs = káliföldpát, Qtz = kvarc, Tur = turmalin. Szerző saját szerkesztése.



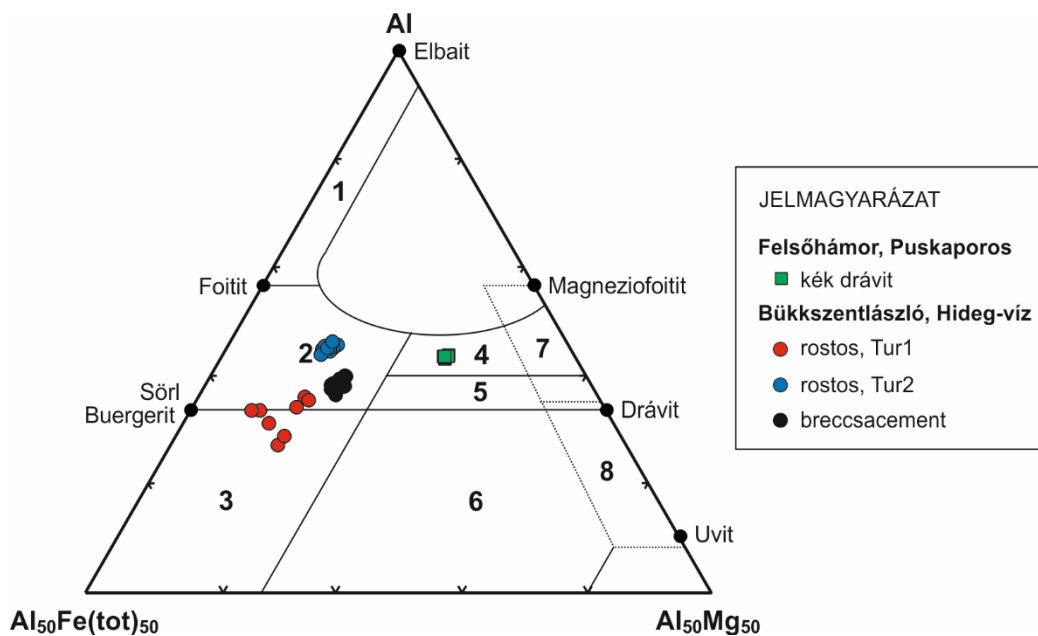
7.12. ábra: A turmalin kötőanyagú breccsa vékonycsiszolati képe. A) 1 nikol; B) keresztezett nikolok. Képszélesség: 1,4 mm. Szerző saját szerkesztése.



7.13. ábra: Kémiaiilag homogén turmalin (Tur) cementanyag, mely albitos (Ab) klasztoikat övez, kis mennyiségű apatittal (Ap). Visszaszórtelektron-kép. Szerző saját szerkesztése.

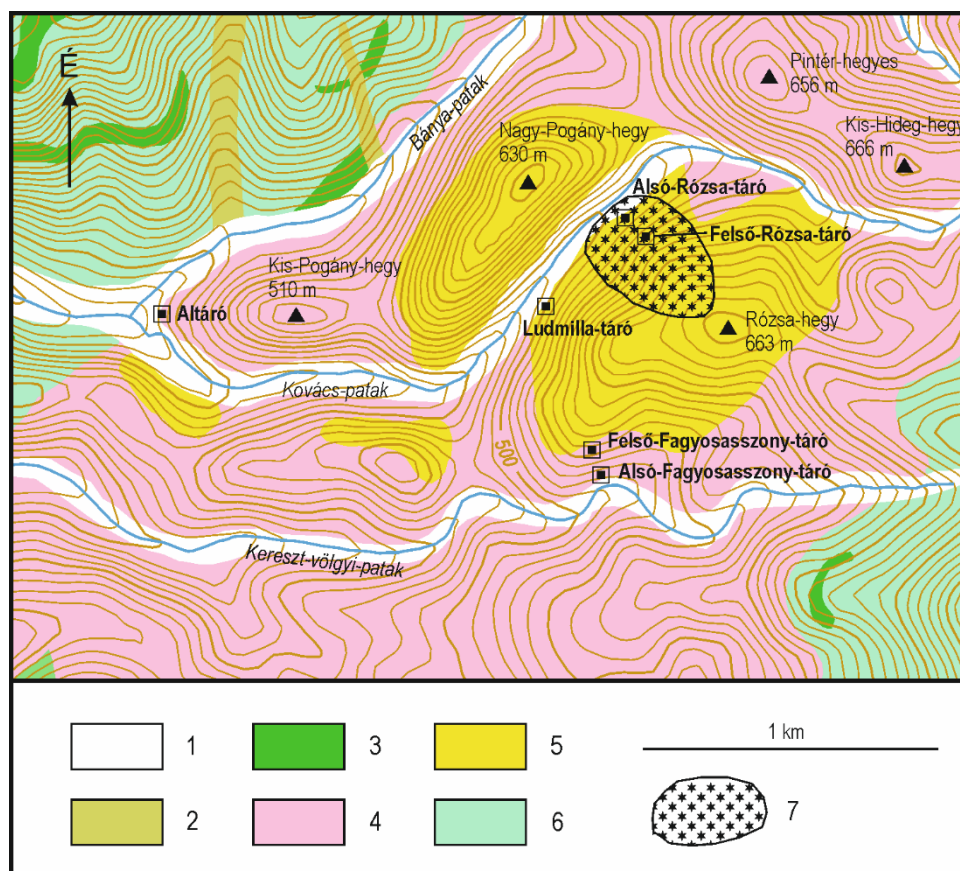


7.14. ábra: A turmalin-kötőanyagú breccsa röntgen-pordiffrakciós felvétele. Rövidítések: M = muszkovit, Q = kvarc, S = sörl. Szerző saját szerkesztése.

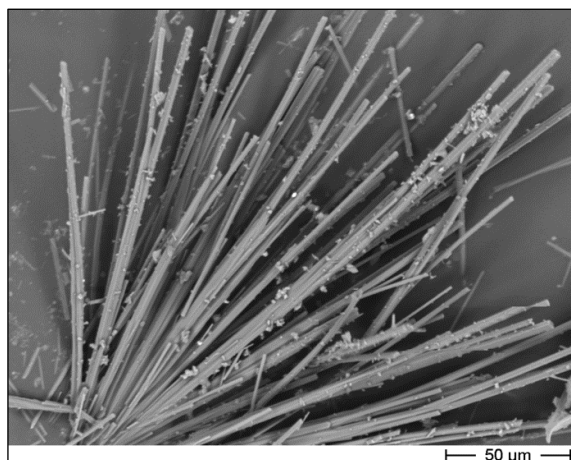


7.15. ábra: A bükki turmalinok összetételének ábrázolása az AFM-diagramban (Henry és Guidotti, 1985 alapján). Az egyes mezők jelentését lásd a 2.8. ábrán. Szerző saját szerkesztése.

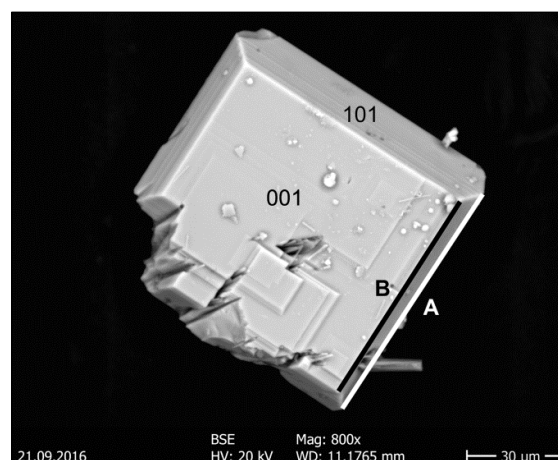
8. A nagybörzsönyi turmalin



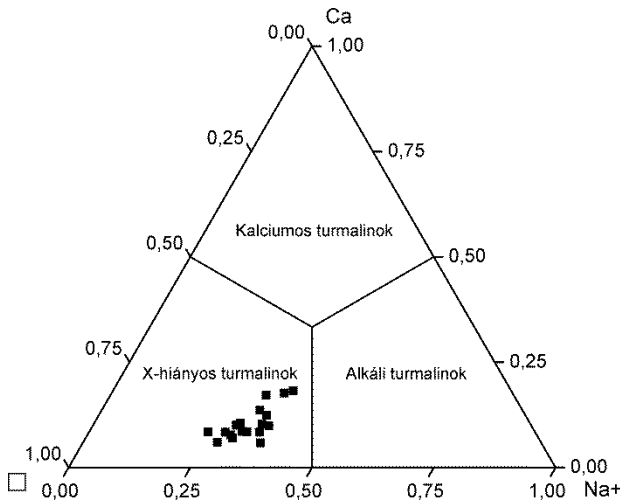
8.1. ábra: A nagybörzsönyi Rózsa-hegy és környékének földtani térképe (Budai és Síkhegyi, 2005 alapján). Jelmagyarázat: 1 = holocén folyóvízi üledék, 2 = felső pleisztocén–holocén proluviális-deluviális üledék, 3 = Magasbörzsönyi Andezit Formáció (láva, badeni), 4 = Nagyvölgyi Dácittufa Formáció (badeni), 5 = az előző formációba tartozó Nagyköppányi Andezit Tagozat, 6 = Dobogókői Andezit Formáció (badeni), 7 = a turmalinosodás feltételezett kiterjedése.



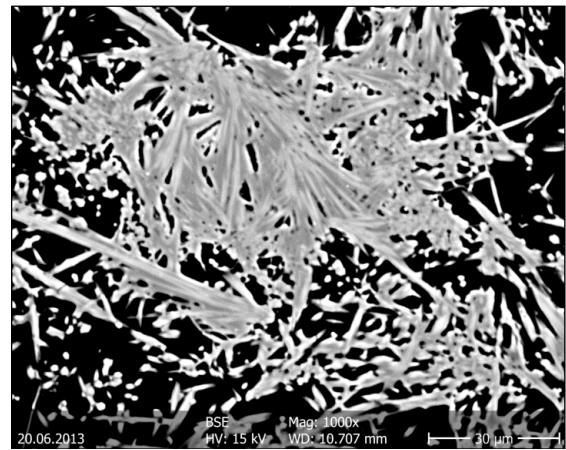
8.2. ábra: A nagybörzsönyi turmalin pásztázó-elektronmikroszkópos felvétele. Szerző saját szerkesztése.



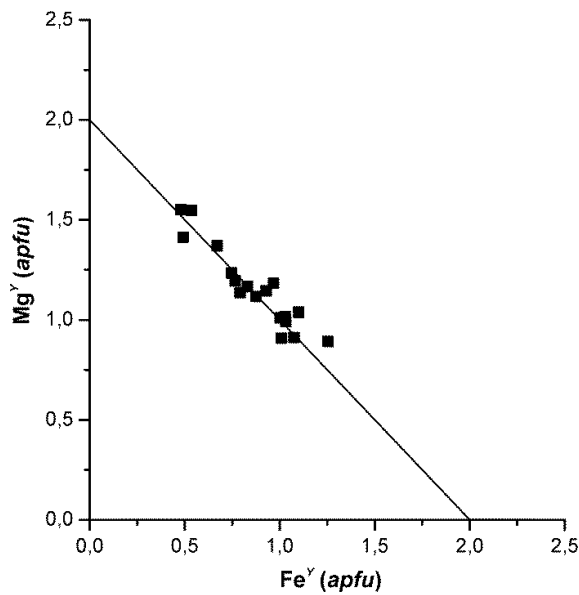
8.3. ábra: A nagybörzsönyi táblás anatóz pásztázó-elektronmikroszkópos felvétele. Szerző saját szerkesztése.



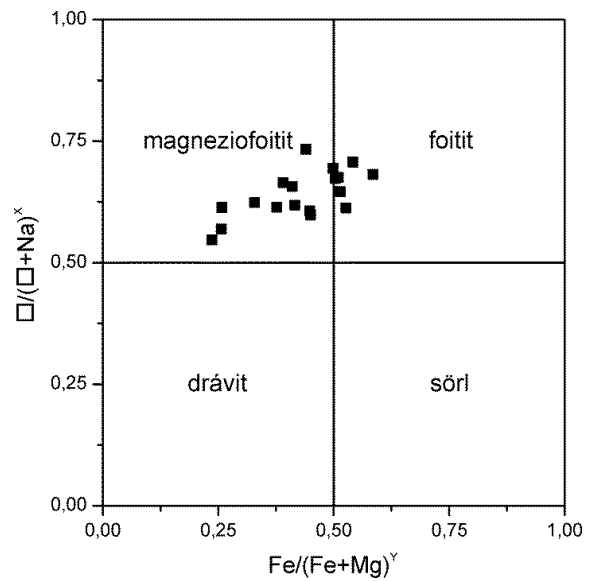
8.4. ábra: A nagybörzsönyi turmalin X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszögdiagramjában ábrázolva. Szerző saját szerkesztése.



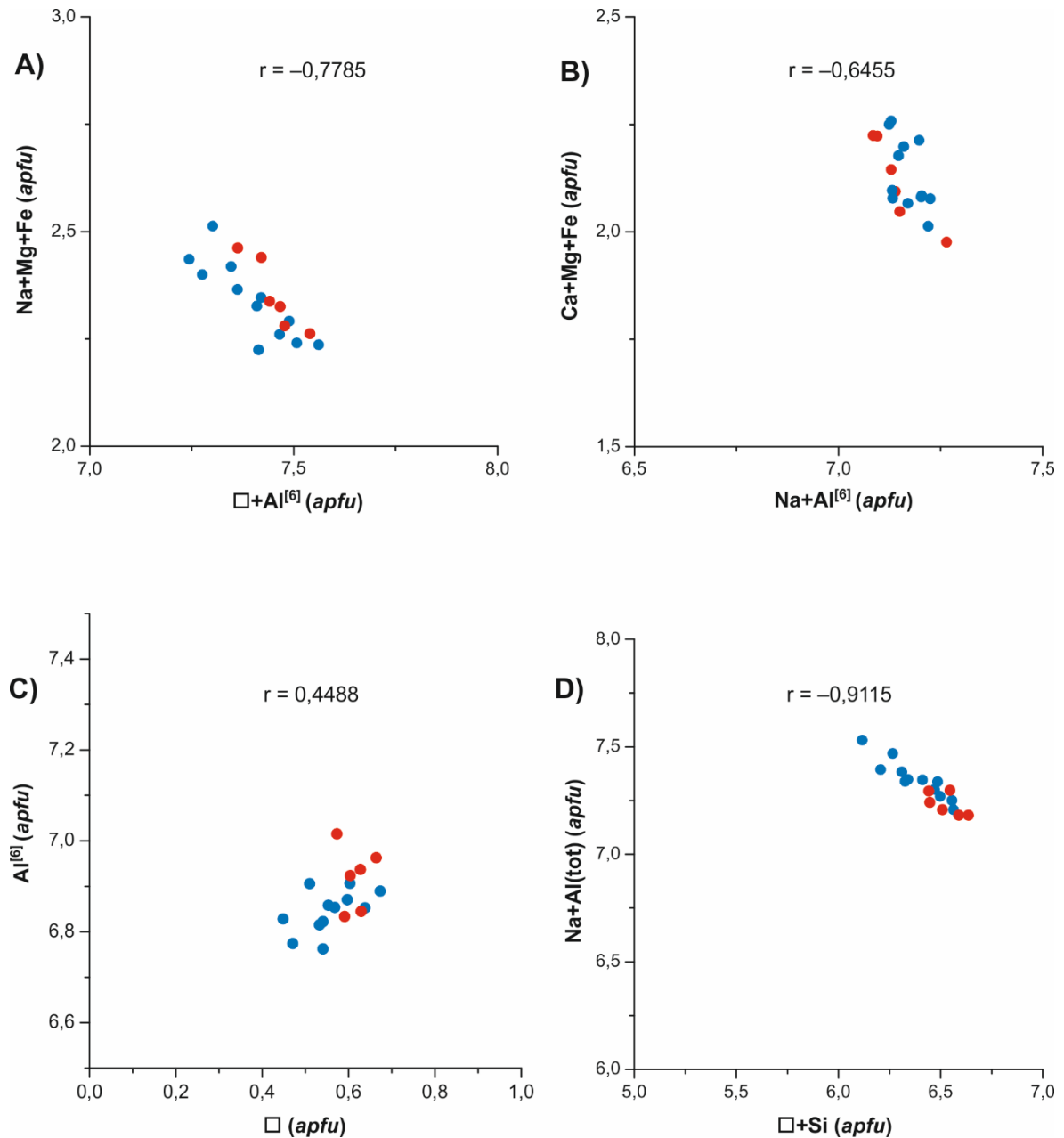
8.5. ábra: A nagybörzsönyi turmalin visszaszórtelektron-képe. Világosszürke: foitit, szürke: magneziofoitit, fekete: mügyanta. Szerző saját szerkesztése.



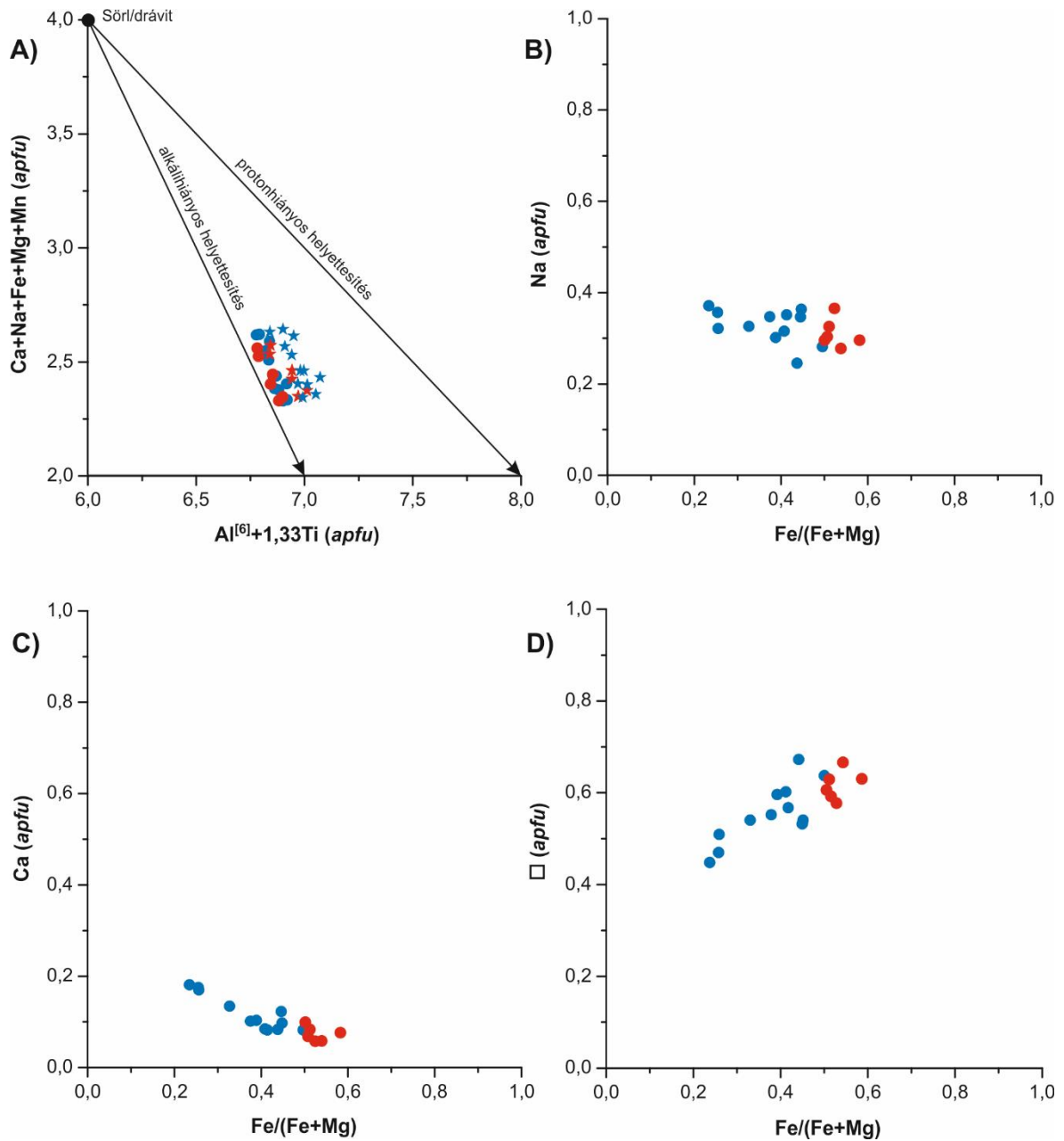
8.6. ábra: A nagybörzsönyi turmalinban lévő Mg-Fe helyettesítés diagramja. A folytonos vonal az ideális korrelációt mutatja $(\text{Mg} + \text{Fe})^Y = 2 \text{ apfu}$ esetére. Szerző saját szerkesztése.



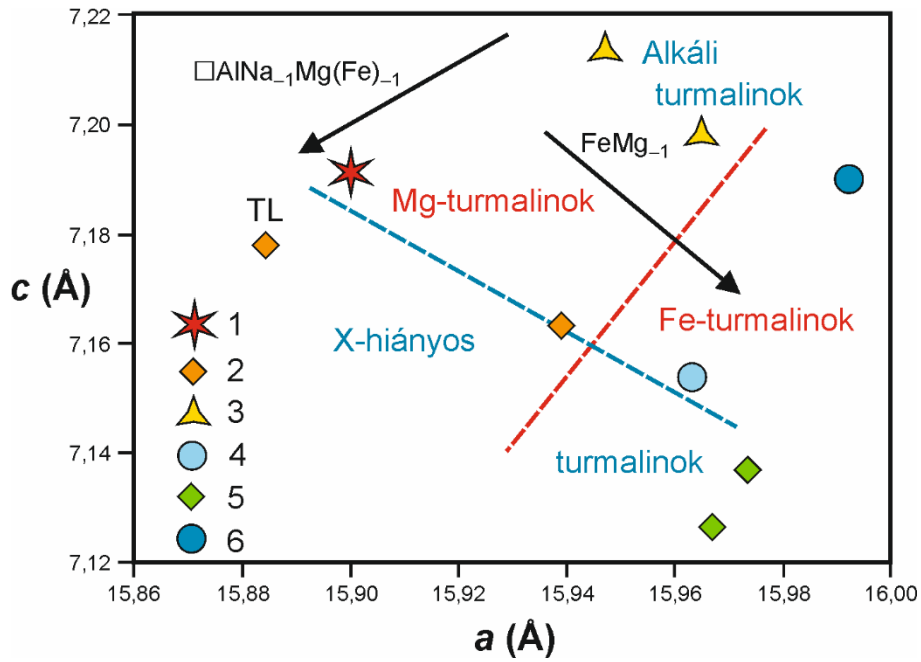
8.7. ábra: A nagybörzsönyi turmalin kémiai összetétele a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})^Y - \square/(\square + \text{Na})^X$ diagramban ábrázolva. Szerző saját szerkesztése.



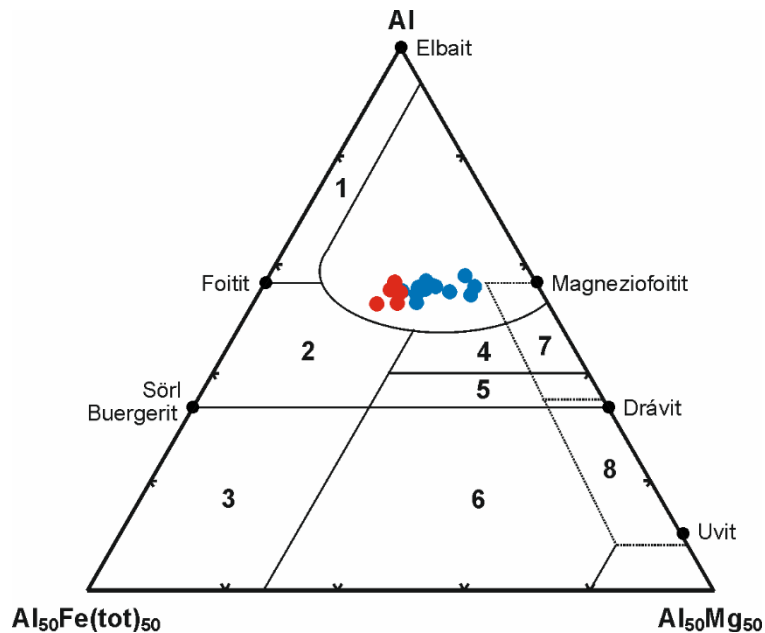
8.8. ábra: A nagybörzsönyi turmalin összetéleri diagramjai. A) A Na+Mg+Fe ábrázolása a $\square + \text{Al}^{[6]}$ függvényében; B) a Ca+Mg+Fe ábrázolása a Na+Al^[6] függvényében; C) az Al^[6] ábrázolása a vakanciák függvényében; D) a Na+Al(tot) ábrázolása a $\square + \text{Si}$ függvényében. Rövidítés: r = korrelációs együttható. Piros pontok = foitit; kék pontok = magnesiofoitit (31 anionra). Szerző saját szerkesztése.



8.9. ábra: A nagybörzsönyi turmalin összetéleri diagramjai. A) A $Ca+Na+Fe+Mg+Mn$ ábrázolása az $Al^{6+}+1,33Ti$ függvényében; B) a Na ábrázolása a $Fe/(Fe+Mg)$ függvényében; C) a Ca ábrázolása a $Fe/(Fe+Mg)$ függvényében; D) a vakanciák ábrázolása a $Fe/(Fe+Mg)$ függvényében. Piros pontok = foitit; kék pontok = magnesiofoitit (31 anionra számolva); piros csillagok = foitit; kék csillagok = magnesiofoitit (15 $Y+Z+T$ kationra számolva). Szerző saját szerkesztése.



8.10. ábra: Az „*a*” és „*c*” rácsállandókat összehasonlító diagram, az X-hiányos, alkáli, Fe- és Mg-tartalmú turmalinok tapasztalati úton meghatározott mezőivel (Uher és társai, 2009 alapján). Jelmagyarázat: 1 = nagybörzsönyi turmalin (jelen dolgozatból), 2 = magneziofoitit, 3 = drávit, 4 = X-hiányos sörl, 5 = foitit, 6 = sörl, TL = a magneziofoitit típuslelőhelye.



8.11. ábra: A nagybörzsönyi turmalin összetételének ábrázolása az Al-Fe(tot)-Mg (AFM) diagramban (Henry és Guidotti, 1985 alapján). A számmal jelölt mezők értelmezését lásd a 2.8. ábrán. Piros pontok = foitit; kék pontok = magneziofoitit. Szerző saját szerkesztése.

Mellékletek II. Táblázatok

2. A turmalinok általános jellemzése

2.1. táblázat: Gyakoribb helyettesítési mechanizmusok turmalinokban (Henry és Dutrow, 1996).

Helyettesítés*	Cserevektor
${}^Y\text{Mg} = {}^Y\text{Fe}^{2+}$	FeMg_{-1}
${}^Y\text{Mn} = {}^Y\text{Fe}^{2+}$	FeMn_{-1}
${}^Z\text{Al} = {}^Z\text{Fe}^{3+}$	FeAl_{-1}
${}^Z\text{Al} = {}^Z\text{Cr}^{3+}$	CrAl_{-1}
${}^W\text{OH} = {}^W\text{F}$	F(OH)_{-1}
$2{}^Y\text{Fe}^{2+} = {}^Y\text{Li} + {}^Y\text{Al}$	LiAlFe_{-2}
${}^X\text{Na} + {}^Y\text{Mg} = {}^X\text{□} + {}^Y\text{Al}$	$\text{□AlNa}_{-1}\text{Mg}_{-1}$
${}^X\text{Na} + 2{}^Y\text{Mg} + {}^W\text{OH} = {}^X\text{□} + 2{}^Y\text{Al} + {}^W\text{O}^{2-}$	$\text{□Al}_2\text{ONa}_{-1}\text{Mg}_{-2}(\text{OH})_{-1}$ vagy $\text{□Al}_2\text{ONa}_{-1}\text{Mg}_{-2}\text{H}_{-1}$
${}^Y\text{Mg} + {}^V\text{OH} = {}^Y\text{Al} + {}^V\text{O}^{2-}$	$\text{AlOMg}_{-1}(\text{OH})_{-1}$
${}^Y\text{Fe}^{2+} + {}^V\text{OH} = {}^Y\text{Fe}^{3+} + {}^V\text{O}^{2-}$	$\text{Fe}^{3+}\text{OFe}^{2+}_{-1}(\text{OH})_{-1}$ vagy $\text{Fe}^{3+}\text{OFe}^{2+}_{-1}\text{H}_{-1}$
${}^Y\text{Mg} + {}^T\text{Si} = {}^Y\text{Al} + {}^T\text{Al}$	$\text{Al}_2\text{Mg}_{-1}\text{Si}_{-1}$
$2{}^Y\text{Al} = {}^Y\text{Mg} + {}^Y\text{Ti}$	TiMgAl_2
${}^X\text{Na} + {}^Y\text{Al} = {}^X\text{Ca} + {}^Y\text{Mg}$	$\text{CaMgNa}_{-1}\text{Al}_{-1}$
${}^X\text{□} + {}^Y\text{Al} + {}^W\text{OH} = {}^X\text{Ca} + {}^Y\text{Mg} + {}^W\text{O}^{2-}$	$\text{CaMgO□}_{-1}\text{Al}_{-1}(\text{OH})_{-1}$
$2{}^Y\text{Mg} + {}^Z\text{Al} + {}^W\text{OH} = 2{}^Y\text{Al} + {}^Z\text{Mg} + {}^W\text{O}^{2-}$	$\text{Al}_2\text{MgOMg}_{-2}\text{Al}_{-1}(\text{OH})_{-1}$ vagy $\text{Al}_2\text{MgOMg}_{-2}\text{Al}_{-1}\text{H}_{-1}$

* A vegyjelek előtti felső indexek az adott szerkezeti pozíciókat jelölik.

2.2. táblázat: A turmalinfőcsoport ásványai (Henry és társai, 2011 alapján, kiegészítve).

Ásványnév*	X	Y ₃	Z ₆	T ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	V ₃	W	Ref.
<i>Alkáli turmalinok</i>								
Drávit	Na	Mg ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)	[1]
Sörl	Na	Fe ₃ ²⁺	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)	[1]
Krómdrávit	Na	Mg ₃	Cr ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)	[1]
Fluordrávit	Na	Mg ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F	[1]
Fluorsörl	Na	Fe ₃ ²⁺	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F	[1]
Káliumdrávit	K	Mg ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)	[1]
Tsilaisit	Na	Mn ₃ ²⁺	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)	[2]
Fluortsilaisit	Na	Mn ₃ ²⁺	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F	[3]
Elbait	Na	Li _{1,5} Al _{1,5}	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)	[1]
Fluorelbait	Na	Li _{1,5} Al _{1,5}	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F	[4]
Bosiit	Na	Fe ₃ ³⁺	Al ₄ Mg ₂	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O	[5]
Povondrait	Na	Fe ₃ ³⁺	Fe ₄ ³⁺ Mg ₂	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O	[1]
Kromoaluminopovondrait	Na	Cr ₃	Al ₄ Mg ₂	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O	[1]
Oxikrómdrávit	Na	Cr ₃	Cr ₄ Mg ₂	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O	[6]
Oxivanádiumdrávit	Na	V ₃	V ₄ Mg ₂	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O	[7]
Vanadiooxikrómdrávit	Na	V ₃	Cr ₄ Mg ₂	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O	[8]
Vanadiooxidrávit	Na	V ₃	Al ₄ Mg ₂	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O	[9]
Oxidrávit	Na	Al ₃	Al ₄ Mg ₂	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O	[10]
Oxisörl	Na	Fe ₂ ²⁺ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O	[11]
Káliumpovondrait	K	Fe ₃ ³⁺	Fe ₄ ³⁺ Mg ₂	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O	[1]
Darrellhenryit	Na	LiAl ₂	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O	[12]
Maruyamait	K	MgAl ₂	Al ₅ Mg	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O	[13]
Dutrowit	Na	Fe _{2,5} ²⁺ Ti _{0,5}	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O	[17]
Fluorbuengerit	Na	Fe ₃ ³⁺	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	O ₃	F	[1]

2.2. táblázat folytatása.

Ásványnév*	X	Y ₃	Z ₆	T ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	V ₃	W	Ref.
Olenit	Na	Al ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	O ₃	(OH)	[1]
Buergerit	Na	Fe ₃ ³⁺	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	O ₃	(OH)	[1]
Fluorolenit	Na	Al ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	O ₃	F	[1]
Kalciumos turmalinok								
Fluoruvit	Ca	Mg ₃	Al ₅ Mg	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F	[1]
Feruvit	Ca	Fe ₃ ²⁺	Al ₅ Mg	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)	[1]
Uvit	Ca	Mg ₃	Al ₅ Mg	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)	[1]
Fluorferuvit	Ca	Fe ₃ ²⁺	Al ₅ Mg	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F	[1]
Fluorliddicoatit	Ca	Li ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F	[1]
Liddicoatit	Ca	Li ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)	[1]
Adachiit	Ca	Fe ₃ ²⁺	Al ₆	Si ₅ AlO ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)	[14]
Lucchesiit	Ca	Fe ₃ ²⁺	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O	[15]
Magneziolucchesiit	Ca	Mg ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O	[n]
X-hiányos turmalinok								
Foitit	□	Fe ₂ ²⁺ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)	[1]
Magneziofoitit	□	Mg ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)	[1]
Celleriit	□	Mn ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)	[n]
Oxifoitit	□	Fe ²⁺ Al ₂	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O	[16]
Rossmanit	□	LiAl ₂	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)	[1]
Oxirossmanit	□	Li _{0,5} Al _{2,5}	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O	[1]

* Vastag betűvel szedtük az IMA által hivatalosan is elfogadott fajokat. Normál betűvel szerepelnek azok az ásványok, melyek összetételének megfelelő turmalinokat ugyan már megfigyeltek a természetben, de az IMA még nem fogadta el őket (általában hivatalos betérjesztés hiánya miatt).

Ref. = Irodalmi hivatkozások: [1] Henry és társai (2011); [2] Bosi és társai (2012b); [3] Bosi és társai (2015); [4] Bosi és társai (2013a); [5] Ertl és társai (2016); [6] Bosi és társai (2012a); [7] Bosi és társai (2013b); [8] Bosi és társai (2014a); [9] Bosi és társai (2014b); [10] Bosi és Skogby (2013); [11] Bačík és társai (2013); [12] Novák és társai (2013); [13] Lussier és társai (2016); [14] Nishio-Hamane és társai (2014); [15] Bosi és társai (2017a); [16] Bosi és társai (2017b); [17] Biagioni és társai (2020).

3. Vizsgálati módszerek és számítási eljárások

3.1. táblázat: A hullámhosszdiszperzív elektronmikroszkopos elemzésekkel mért elemek, a használt analízatorokristályok és standardok. Szerző saját szerkesztése.

Elem	Kristály	Vonal	Standard
Si	TAP	K α	kvarc, gránát, cirkon
Ti	PET	K α	ilmenit
Al	TAP	K α	korund, gránát
Fe	LiF	K α	ilmenit
Mg	TAP	K α	olivin
Ca	PET	K α	augit, gránát
Mn	LiF	K α	MnS ₂
Zn	LiF	K α	gahnit
Na	TAP	K α	anortoklász
K	PET	K α	mikroclin
F	LDE1	K α	LiF (lásd még a 3.1.1. alfejezetet)

4. A Vilyvitányi Csillámpala Formáció turmalinja

4.1. táblázat: A Vilyvitányi Csillámpala Formáció plagioklászainak elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	68,11	68,38	68,33	68,84	68,18	68,73
Al ₂ O ₃	19,73	19,67	19,90	19,87	19,60	19,88
FeO*	0,34	0,21	0,26	0,18	0,14	0,24
MgO	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
CaO	0,35	0,33	0,42	0,29	0,53	0,29
Na ₂ O	10,61	10,51	10,47	10,18	10,47	10,38
K ₂ O	0,09	0,05	0,04	0,10	0,09	0,08
Összesen	99,22	99,16	99,42	99,48	99,01	99,60

Kationszámok 8 oxigénre

Si	2,99	3,00	2,99	3,01	3,00	3,00
Al	1,02	1,02	1,03	1,02	1,02	1,02
Fe	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01
Na	0,90	0,89	0,89	0,86	0,89	0,88
K	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00

Földpátmolekulák részaránya (%)

<i>Or</i>	0,5	0,3	0,2	0,6	0,5	0,5
<i>Ab</i>	97,7	98,0	97,6	97,8	96,7	98,0
<i>An</i>	1,8	1,7	2,2	1,5	2,7	1,5

* Összes vas FeO-ként számolva.

4.2. táblázat: A Vilyvitányi Csillámpala Formáció muszkovitjainak elektronmikroszkopos elemzése tömegszázalékban. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3
SiO ₂	47,03	47,53	47,49
TiO ₂	0,70	0,81	0,74
Al ₂ O ₃	36,15	36,17	36,39
FeO*	0,99	1,05	1,24
MnO	0,15	0,01	0,03
MgO	0,56	0,73	0,73
CaO	0,07	0,04	0,07
Na ₂ O	1,08	0,90	1,12
K ₂ O	9,68	9,76	9,58
F	0,07	0,08	0,01
H ₂ O**	4,55	4,58	4,62
-O = F	-0,03	-0,03	0,00
Összesen	101,00	101,63	102,03

Ionszámok 12 oxigénre

Si	3,08	3,09	3,08
Al ^{iv}	0,92	0,91	0,92
ΣT	4,00	4,00	4,00
Al ^{vi}	1,87	1,86	1,85
Ti	0,03	0,04	0,04
Fe	0,05	0,06	0,07
Mn	0,01	0,00	0,00
Mg	0,05	0,07	0,07
ΣO	2,02	2,02	2,03
Ca	0,00	0,00	0,00
Na	0,14	0,11	0,14
K	0,81	0,81	0,79
ΣI	0,95	0,92	0,94
OH	1,99	1,98	2,00
F	0,01	0,02	0,00

Csillámmolekulák részaránya (%)

<i>Ms</i>	80,1	81,8	78,6
<i>Ace</i>	5,9	6,4	7,0
<i>Pa</i>	13,6	11,5	14,0
<i>Ma</i>	0,5	0,3	0,5

* Összes vas FeO-ként számolva.

** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 2 *apfu*.

4.3. táblázat: A Vilyvitányi Csillámpala Formáció kloritjának energiadiszipatív elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban. Az elemzések 100%-ra átszámolva. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4
SiO ₂	27,26	28,00	26,48	28,87
TiO ₂	0,02	0,03	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	23,92	24,43	24,00	24,16
FeO*	23,17	23,19	23,82	20,64
MnO	0,17	0,09	0,19	0,08
MgO	13,42	12,10	13,51	13,88
CaO	0,03	0,04	0,00	0,02
Na ₂ O	0,27	0,32	0,34	0,27
K ₂ O	0,04	0,05	0,00	0,19
H ₂ O**	11,71	11,75	11,65	11,89
Összesen	100,00	100,00	100,00	100,00

Kationszámok 14 oxigénre

Si	2,79	2,86	2,73	2,91
Al	1,21	1,14	1,27	1,09
ΣT	4,00	4,00	4,00	4,00
Al	1,68	1,80	1,64	1,78
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	1,98	1,98	2,05	1,74
Mn	0,01	0,01	0,02	0,01
Mg	2,05	1,84	2,07	2,09
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,05	0,06	0,07	0,05
K	0,01	0,01	0,00	0,02
ΣO	5,79	5,70	5,85	5,69
Fe/(Fe + Mg)	0,49	0,52	0,50	0,45

* Összes vas FeO-ként számolva.

** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH = 8 *apfu*.

4.4. táblázat folytatása.

	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SiO ₂	35,79	35,89	36,09	35,84	35,72	36,05	35,74	36,13	35,92
TiO ₂	0,83	0,77	0,76	0,82	1,31	1,30	1,55	1,18	1,20
B ₂ O ₃ *	10,54	10,55	10,56	10,55	10,34	10,34	10,33	10,41	10,34
Al ₂ O ₃	33,77	33,40	33,55	33,68	29,97	29,79	29,71	30,19	29,95
FeO**	6,06	6,38	6,31	6,17	9,06	8,70	9,04	8,83	8,87
MgO	5,67	6,05	5,79	5,81	5,94	6,05	5,97	6,09	6,06
CaO	0,60	0,59	0,56	0,58	0,66	0,68	0,73	0,69	0,67
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,09	0,00	0,10
Na ₂ O	1,92	1,82	1,84	1,82	2,27	2,06	2,00	2,14	2,03
K ₂ O	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,02	0,01	0,06	0,04	0,00	0,07	0,06
H ₂ O***	3,64	3,64	3,64	3,63	3,54	3,55	3,56	3,56	3,54
-O = F	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,03	-0,02	0,00	-0,03	-0,03
Összesen	98,81	99,10	99,11	98,91	98,84	98,64	98,72	99,25	98,72

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,90	5,91	5,94	5,91	6,01	6,06	6,01	6,03	6,04
Al	0,10	0,09	0,06	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,01	6,06	6,01	6,03	6,04
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	5,94	5,90	5,89	5,94	5,93
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,10	0,11	0,06	0,07
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,47	0,40	0,44	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,10	0,10	0,09	0,10	0,17	0,16	0,20	0,15	0,15
Mg	1,39	1,49	1,42	1,43	1,43	1,41	1,39	1,46	1,45
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
Fe ²⁺	0,84	0,88	0,87	0,85	1,27	1,22	1,27	1,23	1,25
ΣY	2,80	2,86	2,82	2,83	2,87	2,81	2,87	2,84	2,86
Ca	0,11	0,10	0,10	0,10	0,12	0,12	0,13	0,12	0,12
Na	0,61	0,58	0,59	0,58	0,74	0,67	0,65	0,69	0,66
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,28	0,31	0,31	0,32	0,14	0,21	0,22	0,18	0,22
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	3,99	3,99	3,97	3,98	4,00	3,96	3,97
F	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,02	0,00	0,04	0,03
ΣV+W	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Összes vas FeO-ként mérve.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

5. A Soproni-hegység turmalinjai

5.1. táblázat: A Soproni-hegység gneiszeiben és pegmatitjaiban lévő földpátok elektron-mikroszondás elemzéseit tömegszázalékban. S8 minta (Sopron, Muck): 1–5 = káliföldpát, 6–10 = albit. S14 minta (Sopron, Bükkfafürés-árok, EDS-elemzések): 11–14 = káliföldpát, 15–17 = albit. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	64,03	63,67	63,74	63,98	64,12	68,76	68,85	67,64	66,87	64,22
TiO ₂	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	18,35	18,57	18,71	18,62	18,80	20,14	20,24	20,66	20,66	18,86
FeO*	0,04	0,00	0,06	0,08	0,13	0,04	0,00	0,00	0,01	0,08
MnO	0,09	0,00	0,13	0,06	0,00	0,06	0,00	0,10	0,06	0,12
MgO	0,01	0,03	0,04	0,01	0,04	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00
CaO	0,09	0,16	0,16	0,14	0,11	0,26	0,24	0,57	0,59	0,03
Na ₂ O	1,12	1,10	1,21	1,05	1,12	10,52	10,68	10,47	10,64	1,15
K ₂ O	15,48	15,74	15,37	15,64	15,60	0,13	0,21	0,19	0,15	15,37
Összesen	99,25	99,31	99,42	99,58	99,92	99,93	100,24	99,64	98,99	99,83

Kationszámok 8 oxigénre

Si	2,98	2,97	2,97	2,97	2,97	2,99	2,99	2,96	2,95	2,97
Al	1,01	1,02	1,03	1,02	1,03	1,03	1,04	1,07	1,07	1,03
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,00
Na	0,10	0,10	0,11	0,09	0,10	0,89	0,90	0,89	0,91	0,10
K	0,92	0,94	0,91	0,93	0,92	0,01	0,01	0,01	0,01	0,91

Földpátmolekulák részaránya (mol%)

<i>Or</i>	89,7	89,7	88,6	90,1	89,7	0,8	1,3	1,1	0,9	89,7
<i>Ab</i>	9,9	9,5	10,6	9,2	9,8	97,9	97,5	96,0	96,2	10,2
<i>An</i>	0,4	0,8	0,8	0,7	0,5	1,3	1,2	2,9	2,9	0,1

5.1. táblázat folytatása.

	11	12	13	14	15	16	17
SiO ₂	64,55	64,67	64,09	64,29	66,98	66,82	66,61
TiO ₂	0,00	0,00	0,05	0,06	0,05	0,04	0,06
Al ₂ O ₃	19,88	19,93	19,98	19,64	20,76	20,77	20,97
FeO*	0,18	0,31	0,06	0,08	0,06	0,11	0,00
MnO	0,00	0,05	0,09	0,08	0,07	0,05	0,05
MgO	0,24	0,27	0,30	0,33	0,31	0,25	0,26
CaO	0,04	0,04	0,18	0,11	0,14	0,06	0,06
Na ₂ O	0,62	0,76	0,93	0,63	11,48	11,79	11,80
K ₂ O	14,48	13,97	14,33	14,78	0,16	0,12	0,17
Összesen	99,99	100,00	100,01	100,00	100,01	100,01	99,98

Kationszámok 8 oxigénre

Si	2,96	2,96	2,94	2,95	2,93	2,93	2,92
Al	1,07	1,07	1,08	1,06	1,07	1,07	1,08
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Ca	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
Na	0,06	0,07	0,08	0,06	0,97	1,00	1,00
K	0,85	0,81	0,84	0,87	0,01	0,01	0,01

Földpátmolekulák részaránya (mol%)

<i>Or</i>	93,7	92,2	90,2	93,4	0,9	0,7	0,9
<i>Ab</i>	6,1	7,6	8,9	6,0	98,4	99,1	98,8
<i>An</i>	0,2	0,2	1,0	0,6	0,7	0,3	0,3

* Összes vas FeO-ként mérve.

5.2. táblázat: A Soproni-hegység gneiszeiben és pegmatitjaiban lévő muszkovitok EDS-elemzéseit tömegszázalékban. S14 minta (Sopron, Bükkfafürás-árok): 1–3; S18 minta (Sopron, Tövissüveg): 4–6. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	48,08	45,23	49,53	47,20	47,65	47,96
TiO ₂	0,07	0,11	0,09	0,07	0,07	0,08
Al ₂ O ₃	33,67	38,04	32,50	35,38	34,85	34,62
FeO*	2,09	1,24	1,92	0,19	0,12	0,17
MnO	0,09	0,09	0,10	0,09	0,11	0,10
MgO	1,25	0,43	1,93	2,20	2,37	2,58
CaO	0,26	0,00	0,00	0,18	0,23	0,10
Na ₂ O	0,78	0,40	0,27	1,36	1,23	1,18
K ₂ O	9,18	9,92	9,11	8,77	8,80	8,63
H ₂ O**	4,53	4,53	4,56	4,57	4,57	4,58
Összesen	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Ionszámok 12 (O, OH) anionra

Si	3,18	2,99	3,26	3,10	3,12	3,14
Al	0,82	1,01	0,74	0,90	0,88	0,86
ΣT	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Al	1,80	1,96	1,78	1,83	1,82	1,81
Ti	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,12	0,07	0,11	0,01	0,01	0,01
Mn	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
Mg	0,12	0,04	0,19	0,21	0,23	0,25
ΣM	2,05	2,08	2,08	2,07	2,06	2,08
Ca	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01
Na	0,10	0,05	0,03	0,17	0,16	0,15
K	0,77	0,84	0,76	0,73	0,74	0,72
ΣI	0,89	0,89	0,80	0,92	0,91	0,88
OH	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00

Csillámmolekulák részaránya (mol%)

<i>Ms</i>	76,1	88,8	81,4	70,7	71,1	71,2
<i>Ace</i>	12,2	5,8	15,0	11,5	12,2	13,3
<i>Pa</i>	9,9	5,5	3,6	16,6	15,1	14,8
<i>Ma</i>	1,8	0,0	0,0	1,2	1,6	0,7

* Összes vas FeO-ként mérve.

** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH = 2 *apfu*.

5.3. táblázat: Az S14 minta (Sopron, Bükkfafürés-árok) pegmatitjában lévő gránátok EDS-elemzéseit tömegszázalékban. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4
SiO ₂	37,77	37,95	37,78	37,86
TiO ₂	0,06	0,00	0,00	0,06
Al ₂ O ₃	22,67	22,87	22,83	22,75
FeO*	25,84	25,80	26,03	26,21
MnO	13,19	12,90	12,67	12,37
MgO	0,32	0,39	0,58	0,66
CaO	0,08	0,09	0,07	0,09
Na ₂ O	0,03	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,05	0,00	0,05	0,00
Összesen	100,01	100,00	100,01	100,00

Kationszámok 12 oxigénre

Si	2,99	2,99	2,99	2,99
Al	0,01	0,01	0,01	0,01
ΣT	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	2,14	2,16	2,15	2,14
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣY	2,14	2,16	2,15	2,14
Fe ²⁺	1,90	1,91	1,91	1,92
Mn	0,89	0,86	0,85	0,83
Mg	0,04	0,05	0,07	0,08
Ca	0,01	0,01	0,01	0,01
ΣX	2,83	2,82	2,84	2,84

Gránátmolekulák részaránya (mol%)

<i>Alm</i>	67,2	67,6	67,5	67,8
<i>And</i>	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Grs</i>	0,2	0,3	0,2	0,3
<i>Prp</i>	1,3	1,6	2,4	2,7
<i>Sps</i>	31,2	30,5	29,9	29,2
<i>Uv</i>	0,0	0,0	0,0	0,0

* Összes vas FeO-ként mérve.

5.4. táblázat: Az S18 minta (Sopron, Tövisüveg) pegmatitjában lévő kloritok EDS-elemzéseit tömegszázalékban. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3
SiO ₂	28,02	28,04	27,63
TiO ₂	0,00	0,04	0,00
Al ₂ O ₃	25,30	25,38	25,87
FeO*	1,86	1,79	1,97
MnO	0,00	0,05	0,04
MgO	31,60	31,47	31,24
CaO	0,03	0,03	0,03
Na ₂ O	0,32	0,33	0,37
K ₂ O	0,03	0,03	0,03
H ₂ O**	12,83	12,84	12,82
Összesen	100,00	100,00	100,00

Ionszámok 18 (O, OH) anionra

Si	2,62	2,62	2,59
Al	1,38	1,38	1,41
ΣT	4,00	4,00	4,00
Al	1,41	1,41	1,44
Ti	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	0,15	0,14	0,15
Mn	0,00	0,00	0,00
Mg	4,40	4,38	4,36
Ca	0,00	0,00	0,00
Na	0,06	0,06	0,07
K	0,00	0,00	0,00
ΣM	6,02	6,01	6,02
O	10,00	10,00	10,00
OH	8,00	8,00	8,00
Fe/(Fe+Mg)	0,032	0,031	0,034

* Összes vas FeO-ként mérve.

**H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH = 8 *apfu*.

5.5. táblázat: Az S18 minta (Sopron, Tövisüveg) pegmatitjában lévő kolumbitok EDS-elemzéseit tömegszázalékban. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4
WO ₃	16,51	16,26	11,91	6,76
Nb ₂ O ₅	29,51	35,55	30,83	47,00
Ta ₂ O ₅	34,49	29,38	37,96	24,63
TiO ₂	2,69	1,96	3,02	1,85
Sc ₂ O ₃	1,39	0,96	1,53	0,56
Fe ₂ O ₃ *	3,30	2,50	3,10	3,80
MgO	4,73	5,67	4,92	1,04
MnO	2,84	2,14	2,32	6,76
FeO*	4,87	5,84	4,72	7,98
Összesen	100,33	100,26	100,31	100,38

Kationszámok 6 oxigénre

W	0,28	0,27	0,20	0,11
Nb	0,86	1,02	0,90	1,32
Ta	0,61	0,50	0,66	0,41
Ti	0,13	0,09	0,15	0,09
Sc	0,08	0,05	0,09	0,03
Fe ³⁺	0,04	0,07	0,00	0,04
ΣB	2,00	2,00	2,00	2,00
Fe ³⁺	0,12	0,05	0,15	0,14
Mg	0,46	0,53	0,47	0,10
Mn	0,16	0,11	0,13	0,35
Fe ²⁺	0,26	0,31	0,25	0,41
ΣA	1,00	1,00	1,00	1,00

* A Fe₂O₃/FeO arány úgy számolva, hogy Σ(A + B) = 3,00 *apfu* teljesüljön.

5.6. táblázat folytatása.

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂	35,08	35,42	34,91	36,92	36,86	37,30	37,01	36,89	37,16	37,10
TiO ₂	0,46	0,47	0,46	0,27	0,15	0,22	0,23	0,15	0,20	0,28
B ₂ O ₃ *	10,34	10,33	10,35	10,87	10,87	10,91	10,84	10,85	10,91	10,91
Al ₂ O ₃	33,50	33,33	33,99	33,95	34,37	34,51	33,61	34,28	34,05	33,91
FeO**	14,72	14,71	14,80	1,84	1,48	1,16	1,97	1,89	1,98	1,69
MgO	1,30	1,05	0,86	9,98	9,84	9,79	10,08	9,90	10,01	10,29
CaO	0,05	0,04	0,05	0,19	0,35	0,17	0,28	0,08	0,22	0,19
MnO	0,00	0,14	0,33	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	0,14
Na ₂ O	1,51	1,20	1,35	2,35	2,25	2,06	2,12	2,01	2,22	2,21
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
F	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
H ₂ O***	3,57	3,54	3,55	3,75	3,75	3,76	3,74	3,72	3,76	3,76
O=F	0,00	-0,02	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,02	0,00	0,00
Összesen	100,52	100,25	100,68	100,12	99,98	99,94	99,89	99,81	100,52	100,48

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,89	5,96	5,86	5,91	5,89	5,94	5,93	5,91	5,92	5,91
Al	0,11	0,04	0,14	0,09	0,11	0,06	0,07	0,09	0,08	0,09
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,53	0,57	0,59	0,31	0,37	0,43	0,28	0,38	0,31	0,28
Ti	0,06	0,06	0,06	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03
Mg	0,32	0,26	0,22	2,38	2,35	2,33	2,41	2,36	2,38	2,44
Mn	0,00	0,02	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02
Fe ²⁺	2,07	2,07	2,08	0,25	0,20	0,15	0,26	0,25	0,26	0,23
ΣY	2,98	2,98	2,99	2,96	2,94	2,94	2,98	3,01	2,98	3,00
Ca	0,01	0,01	0,01	0,03	0,06	0,03	0,05	0,01	0,04	0,03
Na	0,49	0,39	0,44	0,73	0,70	0,64	0,66	0,62	0,69	0,68
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,50	0,60	0,55	0,24	0,24	0,33	0,29	0,36	0,28	0,28
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	3,97	3,97	4,00	4,00	4,00	4,00	3,97	4,00	4,00
F	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

5.7. táblázat folytatása.

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂	36,04	36,04	35,85	36,18	35,53	35,90	36,07	35,25	35,12	34,47
TiO ₂	0,44	0,47	0,85	0,49	1,31	0,56	0,50	1,10	0,81	0,48
B ₂ O ₃ *	10,61	10,62	10,59	10,60	10,57	10,62	10,66	10,60	10,52	10,41
Al ₂ O ₃	35,42	35,35	34,93	35,33	34,49	35,18	35,69	34,72	34,59	34,65
FeO**	8,69	9,09	7,90	7,85	7,64	8,21	8,97	8,13	10,37	12,35
MgO	3,50	3,48	4,06	3,77	4,26	4,15	3,46	4,49	3,34	2,21
CaO	0,30	0,26	0,33	0,25	0,43	0,29	0,29	0,51	0,27	0,25
MnO	0,14	0,03	0,12	0,00	0,03	0,04	0,14	0,09	0,00	0,37
Na ₂ O	1,38	1,37	1,52	1,45	1,76	1,52	1,27	1,87	1,75	1,66
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,07	0,06	0,01	0,00	0,00
H ₂ O***	3,66	3,66	3,65	3,65	3,62	3,63	3,65	3,65	3,63	3,59
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,02	-0,03	-0,03	0,00	0,00	0,00
Összesen	100,19	100,37	99,81	99,58	99,67	100,14	100,74	100,42	100,39	100,44

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,90	5,90	5,88	5,93	5,84	5,88	5,88	5,78	5,80	5,76
Al	0,10	0,10	0,12	0,07	0,16	0,12	0,12	0,22	0,20	0,24
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,74	0,72	0,64	0,76	0,53	0,66	0,74	0,49	0,54	0,57
Ti	0,05	0,06	0,10	0,06	0,16	0,07	0,06	0,14	0,10	0,06
Mg	0,85	0,85	0,99	0,92	1,04	1,01	0,84	1,10	0,82	0,55
Mn	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,05
Fe ²⁺	1,19	1,24	1,08	1,08	1,05	1,12	1,22	1,11	1,43	1,72
ΣY	2,85	2,87	2,84	2,82	2,79	2,87	2,88	2,85	2,90	2,96
Ca	0,05	0,05	0,06	0,04	0,08	0,05	0,05	0,09	0,05	0,04
Na	0,44	0,43	0,48	0,46	0,56	0,48	0,40	0,59	0,56	0,54
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,51	0,52	0,46	0,50	0,36	0,47	0,55	0,32	0,39	0,42
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	3,99	3,97	3,96	3,97	3,99	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

5.8. táblázat folytatása.

	9	10	11	12	13	14	15	16
SiO ₂	35,55	35,53	35,83	35,62	35,06	34,41	34,83	34,56
TiO ₂	1,00	0,91	0,88	0,92	0,87	0,86	0,57	0,58
B ₂ O ₃ *	10,61	10,52	10,53	10,52	10,37	10,31	10,36	10,29
Al ₂ O ₃	35,39	34,82	34,67	34,64	34,22	34,62	34,78	34,47
FeO**	10,02	10,43	10,13	10,54	11,06	12,71	12,52	12,71
MgO	3,01	2,65	2,63	2,47	2,12	1,22	1,21	1,28
CaO	0,05	0,07	0,09	0,10	0,11	0,04	0,10	0,00
MnO	0,10	0,18	0,16	0,27	0,20	0,11	0,12	0,20
Na ₂ O	1,42	1,49	1,52	1,65	1,67	1,44	1,58	1,52
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,66	3,63	3,63	3,63	3,58	3,56	3,57	3,55
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	100,81	100,22	100,08	100,36	99,26	99,27	99,63	99,17

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,82	5,87	5,92	5,88	5,87	5,80	5,84	5,83
Al	0,18	0,13	0,08	0,12	0,13	0,20	0,16	0,17
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,66	0,65	0,66	0,63	0,63	0,68	0,72	0,69
Ti	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,07	0,07
Mg	0,74	0,65	0,65	0,61	0,53	0,31	0,30	0,32
Mn	0,01	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03
Fe ²⁺	1,37	1,44	1,40	1,46	1,55	1,79	1,76	1,79
ΣY	2,90	2,88	2,84	2,85	2,85	2,91	2,87	2,91
Ca	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,00
Na	0,45	0,48	0,49	0,53	0,54	0,47	0,51	0,50
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,54	0,51	0,50	0,45	0,44	0,52	0,47	0,50
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

5.9. táblázat folytatása.

	9	10	11	12	13	14	15	16
SiO ₂	35,64	35,20	34,71	35,17	34,82	34,79	35,02	34,46
TiO ₂	0,15	0,60	0,24	0,24	0,80	0,00	0,27	0,47
B ₂ O ₃ *	10,48	10,44	10,26	10,34	10,25	10,27	10,30	10,26
Al ₂ O ₃	34,55	34,44	34,22	34,12	33,53	34,04	33,89	33,90
FeO**	9,76	9,63	12,95	13,25	13,21	13,79	12,72	12,57
MgO	3,44	3,30	0,87	0,97	0,92	0,89	1,36	1,71
CaO	0,22	0,09	0,04	0,05	0,03	0,08	0,11	0,04
MnO	0,11	0,11	0,53	0,33	0,37	0,26	0,34	0,27
Na ₂ O	1,57	1,81	1,73	1,86	1,69	1,87	1,75	1,84
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,62	3,60	3,54	3,57	3,54	3,54	3,55	3,54
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	99,54	99,22	99,08	99,89	99,16	99,53	99,32	99,06

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,91	5,86	5,88	5,91	5,90	5,89	5,91	5,84
Al	0,09	0,14	0,12	0,09	0,10	0,11	0,09	0,16
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,66	0,62	0,72	0,68	0,60	0,68	0,65	0,60
Ti	0,02	0,08	0,03	0,03	0,10	0,00	0,03	0,06
Mg	0,85	0,82	0,22	0,24	0,23	0,22	0,34	0,43
Mn	0,02	0,02	0,08	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04
Fe ²⁺	1,35	1,34	1,84	1,86	1,87	1,95	1,80	1,78
ΣY	2,90	2,87	2,88	2,86	2,86	2,89	2,88	2,91
Ca	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Na	0,51	0,58	0,57	0,61	0,56	0,61	0,57	0,60
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,45	0,40	0,42	0,39	0,44	0,37	0,41	0,39
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

5.10. táblázat: A Soproni-hegység gneisszel érintkező csillámpaláiban lévő fehér csillámok elektronmikroszondás elemzéseinek tömegszázalékban. S15 minta (Sopron, Bükkfafürás-árok, EDS-elemzések): 1–6 = muszkovit-I; 7–9 = muszkovit-II. HOM16030 minta (Sopron, Halászcserda-rög, WDS-elemzések): 10–12 = muszkovit; 13–15 = paragonit. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	47,48	47,89	47,01	46,95	47,12	46,85	45,02	45,12	45,32
TiO ₂	0,20	0,21	0,21	0,10	0,29	0,15	0,25	0,32	0,52
Al ₂ O ₃	34,30	33,37	35,44	35,90	34,78	35,87	38,43	37,94	37,35
FeO*	1,38	1,56	0,92	1,10	1,13	1,06	0,32	0,44	0,89
MnO	0,08	0,09	0,10	0,10	0,07	0,08	0,11	0,08	0,07
MgO	1,94	2,17	1,53	1,57	1,94	1,69	0,94	1,01	1,05
CaO	0,00	0,00	0,13	0,06	0,00	0,07	0,00	0,08	0,00
Na ₂ O	0,94	0,84	1,54	1,31	1,46	1,66	1,07	0,93	1,45
K ₂ O	9,14	9,34	8,57	8,34	8,68	8,01	9,30	9,56	8,81
H ₂ O**	4,55	4,54	4,56	4,57	4,55	4,57	4,55	4,55	4,55
Összesen	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Kationszámok 12 (O, OH) anionra

Si	3,13	3,16	3,09	3,08	3,10	3,07	2,96	2,98	2,99
Al	0,87	0,84	0,91	0,92	0,90	0,93	1,04	1,02	1,01
ΣT	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Al	1,80	1,76	1,84	1,86	1,80	1,85	1,95	1,92	1,89
Ti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03
Fe ²⁺	0,08	0,09	0,05	0,06	0,06	0,06	0,02	0,02	0,05
Mn	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Mg	0,19	0,21	0,15	0,15	0,19	0,17	0,09	0,10	0,10
ΣM	2,08	2,08	2,06	2,09	2,07	2,08	2,07	2,07	2,07
Ca	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Na	0,12	0,11	0,20	0,17	0,19	0,21	0,14	0,12	0,19
K	0,77	0,79	0,72	0,70	0,73	0,67	0,78	0,80	0,74
ΣI	0,89	0,89	0,92	0,87	0,92	0,89	0,92	0,93	0,93
OH	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00

Csillámmolekulák részaránya (mol%)

<i>Ms</i>	74,8	74,6	69,8	71,6	69,4	67,0	80,1	81,1	73,7
<i>Ace</i>	13,6	15,2	10,3	11,0	12,8	11,4	5,8	6,4	7,8
<i>Pa</i>	11,6	10,2	19,0	17,1	17,8	21,1	14,0	11,9	18,5
<i>Ma</i>	0,0	0,0	0,9	0,4	0,0	0,5	0,0	0,5	0,0

5.10. táblázat folytatása.

	10	11	12	13	14	15
SiO ₂	47,60	48,18	48,29	48,39	48,12	48,13
TiO ₂	0,57	0,61	0,57	0,13	0,04	0,14
Al ₂ O ₃	36,60	36,45	36,65	38,89	39,24	39,44
FeO*	1,04	0,90	0,98	0,66	0,64	0,69
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09
MgO	0,39	0,46	0,46	0,07	0,11	0,17
CaO	0,08	0,13	0,09	0,39	0,34	0,40
Na ₂ O	1,06	1,03	0,97	6,24	5,76	5,33
K ₂ O	7,62	7,11	7,35	1,29	1,81	1,79
F	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,03
H ₂ O**	4,58	4,59	4,62	4,72	4,73	4,72
O=F	0,00	-0,01	0,00	-0,01	0,00	-0,01
Összesen	99,54	99,49	99,98	100,80	100,79	100,92

Kationszámok 12 (O, OH) anionra

Si	3,11	3,14	3,13	3,06	3,05	3,05
Al	0,89	0,86	0,87	0,94	0,95	0,95
ΣT	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Al	1,93	1,94	1,94	1,97	1,98	1,99
Ti	0,03	0,03	0,03	0,01	0,00	0,01
Fe ²⁺	0,06	0,05	0,05	0,03	0,03	0,04
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,04	0,05	0,04	0,01	0,01	0,02
ΣM	2,06	2,06	2,06	2,02	2,03	2,05
Ca	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,03
Na	0,13	0,13	0,12	0,77	0,71	0,65
K	0,64	0,59	0,61	0,10	0,15	0,14
ΣI	0,78	0,73	0,74	0,90	0,88	0,83
OH	2,00	1,99	2,00	1,99	2,00	1,99
F	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01

Csillámmolekulák részaránya (mol%)

<i>Ms</i>	78,0	77,1	78,5	11,4	16,3	17,0
<i>Ace</i>	4,8	4,7	4,9	2,1	2,2	2,9
<i>Pa</i>	16,5	17,0	15,7	83,7	78,9	76,9
<i>Ma</i>	0,7	1,2	0,8	2,9	2,6	3,2

* Összes vas FeO-ként mérve.

** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 2 *apfu*.

5.11. táblázat folytatása.

	10	11	12	13	14
SiO ₂	36,71	36,63	37,05	37,55	36,12
TiO ₂	0,10	0,03	0,00	0,09	0,03
Al ₂ O ₃	19,60	19,77	19,75	19,96	19,95
Fe ₂ O ₃ *	1,58	1,50	0,97	0,98	1,78
FeO*	32,77	33,72	33,11	32,97	33,57
MnO	5,10	4,02	3,86	4,72	3,41
MgO	1,39	1,62	1,41	1,43	1,47
CaO	3,15	2,98	3,49	3,31	4,06
Na ₂ O	0,01	0,00	0,00	0,02	0,13
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	100,41	100,27	99,64	101,03	100,50

Kationszámok 12 oxigénre

Si	2,99	2,99	3,03	3,03	2,95
Al	0,01	0,01	0,00	0,00	0,05
ΣT	3,00	3,00	3,03	3,03	3,00
Al	1,88	1,89	1,91	1,90	1,87
Ti	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
Fe ³⁺	0,10	0,09	0,06	0,06	0,11
ΣY	1,99	1,99	1,97	1,97	1,99
Fe ²⁺	2,23	2,30	2,26	2,22	2,29
Mn	0,35	0,28	0,27	0,32	0,24
Mg	0,17	0,20	0,17	0,17	0,18
Ca	0,27	0,26	0,31	0,29	0,35
ΣX	3,03	3,03	3,01	3,00	3,06

Gránátmolekulák részaránya (mol%)

<i>Alm</i>	73,2	75,4	74,7	73,4	73,9
<i>Adr</i>	4,9	4,6	3,0	3,0	5,6
<i>Grs</i>	4,4	4,1	7,3	6,7	6,5
<i>Prp</i>	5,7	6,6	5,8	5,9	6,1
<i>Sps</i>	11,9	9,3	9,1	11,0	8,0
<i>Uv</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

* Összes vas FeO-ként mérve. A Fe₂O₃/FeO arány a sztöchiometrikus összetételből számolva.

5.12. táblázat: A Soproni-hegység gneisszel érintkező csillámpaláiban lévő biotitok elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban. S15 minta (Sopron, Bükkfafürás-árok, EDS-elemzések): 1–3; HOM16030 minta (Sopron, Halászcárda-rög, WDS-elemzések): 4–7. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	39,51	39,66	39,95	39,18	37,80	38,01	38,15
TiO ₂	1,28	1,02	1,27	1,26	1,60	1,40	1,11
Al ₂ O ₃	20,13	20,56	19,88	17,08	17,89	18,23	17,32
FeO*	16,84	16,68	17,10	18,99	19,50	19,27	18,29
MnO	0,00	0,09	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	9,50	9,20	9,09	11,50	10,40	10,68	11,99
CaO	0,00	0,00	0,00	0,09	0,14	0,13	0,12
Na ₂ O	0,08	0,13	0,07	0,16	0,14	0,26	0,20
K ₂ O	8,56	8,56	8,47	8,19	8,56	8,22	8,00
F				0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O**	4,10	4,10	4,10	4,06	4,01	4,03	4,01
O=F				0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	100,00	100,00	100,00	100,51	100,06	100,22	99,21

Kationszámok 12 (O, OH) anionra

Si	2,89	2,90	2,92	2,89	2,82	2,82	2,85
Al	1,11	1,10	1,08	1,11	1,18	1,18	1,15
ΣT	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Al	0,63	0,67	0,64	0,38	0,40	0,42	0,38
Ti	0,07	0,06	0,07	0,07	0,09	0,08	0,06
Fe ²⁺	1,03	1,02	1,05	1,17	1,22	1,20	1,14
Mn	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	1,04	1,00	0,99	1,27	1,16	1,18	1,34
ΣM	2,77	2,75	2,75	2,89	2,87	2,88	2,92
Ca	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Na	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,04	0,03
K	0,80	0,80	0,79	0,77	0,82	0,78	0,76
ΣI	0,81	0,82	0,80	0,80	0,85	0,83	0,80
OH	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
F				0,00	0,00	0,00	0,00
Fe/(Fe+Mg)	0,50	0,50	0,51	0,48	0,51	0,50	0,46

* Összes vas FeO-ként mérve.

** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 2 *apfu*.

5.13. táblázat folytatása.

	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SiO ₂	36,19	36,38	35,61	35,68	35,93	35,25	35,51	36,11	35,92
TiO ₂	0,55	0,25	0,73	0,65	0,60	0,82	0,62	0,66	0,52
B ₂ O ₃ *	10,68	10,57	10,57	10,52	10,63	10,52	10,56	10,49	10,56
Al ₂ O ₃	34,67	32,37	34,45	32,29	34,72	34,25	33,86	31,09	33,01
FeO**	6,69	7,50	7,32	7,18	7,01	7,67	7,23	7,75	7,33
MgO	5,57	6,62	5,20	6,88	5,26	5,03	5,94	6,97	6,29
CaO	0,36	0,19	0,21	0,36	0,26	0,41	0,26	0,45	0,42
MnO	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,07	0,00	0,00
Na ₂ O	1,74	2,31	1,69	2,25	1,77	1,67	1,86	2,37	1,96
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,68	3,65	3,65	3,63	3,67	3,63	3,64	3,62	3,64
F=O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	100,14	99,88	99,43	99,43	99,85	99,32	99,55	99,51	99,66

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,89	5,98	5,86	5,90	5,87	5,82	5,85	5,98	5,91
Al	0,11	0,02	0,14	0,10	0,13	0,18	0,15	0,02	0,09
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,55	0,26	0,53	0,19	0,57	0,49	0,41	0,06	0,32
Ti	0,07	0,03	0,09	0,08	0,07	0,10	0,08	0,08	0,06
Mg	1,35	1,62	1,28	1,69	1,28	1,24	1,46	1,72	1,54
Mn	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
Fe ²⁺	0,91	1,03	1,01	0,99	0,96	1,06	0,99	1,07	1,01
ΣY	2,88	2,95	2,91	2,95	2,88	2,90	2,95	2,94	2,93
Ca	0,06	0,03	0,04	0,06	0,04	0,07	0,05	0,08	0,07
Na	0,55	0,74	0,54	0,72	0,56	0,53	0,59	0,76	0,63
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,39	0,23	0,42	0,22	0,39	0,39	0,36	0,16	0,30
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

5.14. táblázat folytatása.

	10	11	12	13	14	15	16	17
SiO ₂	36,67	36,58	36,41	37,23	36,18	36,41	36,30	37,05
TiO ₂	0,79	0,50	0,22	0,46	0,39	0,56	0,41	0,47
B ₂ O ₃ *	10,52	10,46	10,47	10,53	10,37	10,39	10,50	10,53
Al ₂ O ₃	32,30	32,20	30,10	29,59	29,52	29,52	32,02	31,62
FeO**	9,04	8,97	9,00	8,89	8,30	8,52	7,33	7,14
MgO	4,71	4,76	7,12	7,17	7,30	7,00	6,61	6,39
CaO	0,28	0,17	0,49	0,45	0,56	0,53	0,30	0,34
MnO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,06	0,06	0,00
Na ₂ O	1,85	1,93	2,65	2,44	2,70	2,50	1,95	1,90
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
H ₂ O***	3,63	3,61	3,61	3,63	3,58	3,56	3,62	3,63
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
Összesen	99,79	99,19	100,07	100,39	98,94	99,08	99,11	99,07

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	6,06	6,08	6,04	6,15	6,06	6,09	6,01	6,12
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣT	6,06	6,08	6,04	6,15	6,06	6,09	6,01	6,12
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	5,89	5,76	5,83	5,82	6,00	6,00
Mg	0,00	0,00	0,11	0,24	0,17	0,18	0,00	0,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,29	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,15
Ti	0,10	0,06	0,03	0,06	0,05	0,07	0,05	0,06
Mg	1,16	1,18	1,65	1,52	1,65	1,57	1,63	1,57
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00
Fe ²⁺	1,25	1,25	1,25	1,23	1,16	1,19	1,01	0,99
ΣY	2,80	2,79	2,93	2,80	2,87	2,84	2,95	2,77
Ca	0,05	0,03	0,09	0,08	0,10	0,09	0,05	0,06
Na	0,59	0,62	0,85	0,78	0,88	0,81	0,63	0,61
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,36	0,35	0,06	0,14	0,02	0,09	0,32	0,33
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,97	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

5.15. táblázat folytatása.

	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
SiO ₂	34,05	34,09	34,51	34,76	34,29	35,98	36,16	36,11	35,99	35,80
TiO ₂	0,69	0,40	0,59	0,86	0,83	0,52	0,36	0,55	0,43	0,49
B ₂ O ₃ *	10,33	10,17	10,35	10,30	10,29	10,59	10,58	10,60	10,63	10,58
Al ₂ O ₃	33,76	34,03	33,91	32,22	32,94	31,18	31,00	30,89	31,20	31,19
FeO**	13,45	14,83	12,95	13,90	11,55	5,08	4,08	5,61	4,35	5,12
MgO	2,48	0,31	2,22	2,39	3,51	9,49	10,10	9,35	10,17	9,45
CaO	0,20	0,08	0,23	0,39	0,44	0,88	0,84	0,95	0,75	1,04
MnO	0,00	0,17	0,11	0,20	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,06
Na ₂ O	1,66	1,42	1,64	1,77	1,61	2,18	2,20	2,25	2,54	2,16
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,02	0,09	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,56	3,51	3,56	3,51	3,53	3,65	3,65	3,66	3,67	3,65
O=F	0,00	0,00	-0,01	-0,04	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	100,18	99,01	100,09	100,36	99,01	99,55	99,01	99,97	99,73	99,54

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,73	5,82	5,79	5,86	5,79	5,90	5,94	5,92	5,88	5,88
Al	0,27	0,18	0,21	0,14	0,21	0,10	0,06	0,08	0,12	0,12
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	5,93	5,94	5,89	5,90	5,92
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,06	0,11	0,10	0,08
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,43	0,68	0,50	0,27	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,09	0,05	0,07	0,11	0,11	0,06	0,04	0,07	0,05	0,06
Mg	0,62	0,08	0,56	0,60	0,88	2,25	2,41	2,17	2,38	2,24
Mn	0,00	0,02	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Fe ²⁺	1,89	2,12	1,82	1,96	1,63	0,70	0,56	0,77	0,59	0,70
ΣY	3,03	2,95	2,97	2,97	2,98	3,02	3,02	3,01	3,02	3,01
Ca	0,04	0,01	0,04	0,07	0,08	0,15	0,15	0,17	0,13	0,18
Na	0,54	0,47	0,53	0,58	0,53	0,69	0,70	0,72	0,81	0,69
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,42	0,52	0,42	0,35	0,39	0,15	0,15	0,12	0,06	0,13
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	3,99	3,95	3,98	4,00	3,99	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,01	0,05	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

5.16. táblázat folytatása.

	19	20	21	22	23	24	25	26
SiO ₂	34,89	34,24	36,77	36,04	36,80	36,28	35,83	36,55
TiO ₂	0,53	0,67	0,25	0,48	0,23	0,23	0,31	0,25
B ₂ O ₃ *	10,33	10,37	10,75	10,55	10,72	10,62	10,57	10,75
Al ₂ O ₃	32,94	32,81	31,49	30,48	31,37	31,08	31,11	31,93
FeO**	11,47	13,04	2,04	6,22	2,23	5,40	5,16	1,67
MgO	3,54	3,57	11,52	9,24	11,30	9,69	9,68	11,51
CaO	0,32	0,30	0,58	0,51	0,40	0,29	0,54	0,30
MnO	0,00	0,20	0,06	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00
Na ₂ O	1,71	2,01	2,43	2,54	2,68	2,71	2,48	2,87
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
H ₂ O***	3,53	3,58	3,71	3,64	3,70	3,67	3,63	3,71
O=F	-0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00
Összesen	99,30	100,79	99,59	99,70	99,44	99,98	99,43	99,54

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,87	5,74	5,95	5,94	5,97	5,94	5,89	5,91
Al	0,13	0,26	0,05	0,06	0,03	0,06	0,11	0,09
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	5,95	5,86	5,96	5,93	5,93	5,99
Mg	0,00	0,00	0,05	0,14	0,04	0,07	0,07	0,01
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,40	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,07	0,08	0,03	0,06	0,03	0,03	0,04	0,03
Mg	0,89	0,89	2,73	2,13	2,69	2,29	2,30	2,76
Mn	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Fe ²⁺	1,61	1,83	0,28	0,86	0,30	0,74	0,71	0,23
ΣY	2,96	3,05	3,04	3,05	3,02	3,06	3,06	3,02
Ca	0,06	0,05	0,10	0,09	0,07	0,05	0,09	0,05
Na	0,56	0,65	0,76	0,81	0,84	0,86	0,79	0,90
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,39	0,29	0,14	0,10	0,09	0,09	0,11	0,05
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	3,96	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,98	4,00
F	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

5.17. táblázat folytatása.

	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SiO ₂	35,19	35,80	35,42	34,48	34,42	34,98	34,92	33,76	34,14
TiO ₂	1,87	0,35	1,02	0,26	0,75	0,70	0,82	0,85	1,08
B ₂ O ₃ *	10,45	10,55	10,54	10,36	10,29	10,53	10,47	10,19	10,31
Al ₂ O ₃	31,88	33,74	33,48	32,44	32,99	33,92	33,59	33,23	34,00
FeO**	9,62	8,19	8,28	10,55	14,39	8,88	9,17	14,36	12,33
MgO	5,01	5,37	5,27	4,98	2,01	5,04	4,78	1,50	2,09
CaO	0,44	0,34	0,41	1,44	0,20	0,59	0,61	0,18	0,18
MnO	0,04	0,04	0,03	0,03	0,00	0,19	0,00	0,19	0,16
Na ₂ O	1,77	1,76	1,81	1,64	1,54	1,81	1,78	1,59	1,63
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
H ₂ O***	3,58	3,64	3,64	3,58	3,55	3,63	3,61	3,50	3,56
O=F	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Összesen	99,88	99,79	99,90	99,75	100,14	100,28	99,74	99,37	99,49

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,85	5,90	5,84	5,78	5,81	5,77	5,80	5,76	5,75
Al	0,15	0,10	0,16	0,22	0,19	0,23	0,20	0,24	0,25
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,10	0,45	0,35	0,19	0,38	0,37	0,37	0,43	0,51
Ti	0,23	0,04	0,13	0,03	0,10	0,09	0,10	0,11	0,14
Mg	1,24	1,32	1,30	1,25	0,51	1,24	1,18	0,38	0,53
Mn	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,02
Fe ²⁺	1,34	1,13	1,14	1,48	2,03	1,23	1,27	2,05	1,74
ΣY	2,92	2,94	2,92	2,95	3,02	2,95	2,92	3,00	2,93
Ca	0,08	0,06	0,07	0,26	0,04	0,10	0,11	0,03	0,03
Na	0,57	0,56	0,58	0,53	0,50	0,58	0,57	0,53	0,53
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,35	0,38	0,35	0,21	0,46	0,32	0,32	0,44	0,44
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	3,97	3,99	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,98	4,00
F	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

5.18. táblázat: A Soproni-hegység csillámpaláiban lévő fehércsillámok elektron-mikroszondás elemzéseinek tömegszázalékban. S2 minta (Sopron, Ház-hegy): 1–6 = muszkovit; 7–11 = paragonit. S5 minta (Sopron, Nap-hegy): 12–15 = muszkovit. S11 minta (S-6. sz. fúrás): 16–18 = muszkovit; 19–21 = paragonit. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	45,04	46,09	45,70	46,57	46,84	46,50	45,35	46,28	46,52	47,42	47,04
TiO ₂	0,19	0,10	0,13	0,35	0,31	0,27	0,03	0,03	0,04	0,08	0,07
Al ₂ O ₃	36,85	37,44	37,01	35,50	35,45	34,37	41,68	39,56	39,72	38,91	40,57
FeO*	1,09	1,00	0,92	1,11	1,19	1,35	0,31	0,39	0,29	0,45	0,36
MnO	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	0,16	0,21
MgO	0,28	0,29	0,34	0,84	0,86	1,01	0,01	0,05	0,02	0,25	0,02
CaO	0,06	0,06	0,07	0,06	0,03	0,03	0,72	0,22	0,30	0,16	0,42
Na ₂ O	1,11	1,03	1,07	1,06	1,52	1,34	6,72	6,78	6,58	5,53	6,58
K ₂ O	9,70	9,49	9,18	9,38	9,05	9,06	0,70	1,37	1,41	3,72	1,19
F	0,01	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,07
H ₂ O**	4,47	4,55	4,50	4,52	4,51	4,47	4,65	4,65	4,67	4,70	4,71
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,03
Összesen	98,80	100,07	98,92	99,41	99,79	98,61	100,23	99,33	99,55	101,38	101,21

Ionszámok 12 (O, OH, F) anionra

Si	3,02	3,04	3,04	3,09	3,10	3,12	2,89	2,98	2,99	3,02	2,97
Al	0,98	0,96	0,96	0,91	0,90	0,88	1,11	1,02	1,01	0,98	1,03
ΣT	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Al	1,93	1,95	1,95	1,87	1,86	1,83	2,03	1,99	2,00	1,95	2,00
Ti	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,06	0,06	0,05	0,06	0,07	0,08	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Mg	0,03	0,03	0,03	0,08	0,08	0,10	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
ΣM	2,03	2,03	2,04	2,03	2,03	2,03	2,05	2,02	2,02	2,01	2,03
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02	0,02	0,01	0,03
Na	0,14	0,13	0,14	0,14	0,19	0,17	0,83	0,85	0,82	0,68	0,81
K	0,83	0,80	0,78	0,79	0,76	0,77	0,06	0,11	0,12	0,30	0,10
ΣI	0,98	0,93	0,92	0,93	0,96	0,95	0,94	0,98	0,96	1,00	0,93
O	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
OH	2,00	2,00	2,00	2,00	1,99	2,00	1,98	2,00	2,00	2,00	1,99
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01

Csillámmolekulák részaránya (mol%)

<i>Ms</i>	81,0	81,8	80,9	78,8	73,5	73,8	6,0	11,4	12,0	29,5	10,1
<i>Ace</i>	4,5	4,2	4,2	7,3	7,5	9,4	0,9	1,3	0,9	2,8	1,6
<i>Pa</i>	14,1	13,5	14,3	13,5	18,8	16,6	87,9	85,8	85,0	66,6	85,2
<i>Ma</i>	0,4	0,4	0,5	0,4	0,2	0,2	5,2	1,5	2,1	1,1	3,0

5.18. táblázat folytatása.

	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
SiO ₂	46,59	46,52	48,66	48,87	45,87	47,19	46,47	44,21	44,30	44,67
TiO ₂	0,50	0,43	0,54	0,46	0,19	0,28	0,16	0,06	0,07	0,09
Al ₂ O ₃	34,30	36,35	32,06	31,41	37,47	34,77	35,26	41,56	41,01	41,34
FeO*	1,13	0,94	2,46	2,67	0,70	1,20	1,38	0,15	0,22	0,21
MnO	0,04	0,03	0,09	0,00	0,07	0,09	0,10	0,10	0,08	0,10
MgO	0,88	0,51	1,84	2,04	1,02	1,82	1,73	0,44	0,39	0,38
CaO	0,00	0,01	0,04	0,07	0,08	0,00	0,10	0,64	0,60	0,30
Na ₂ O	1,01	0,91	0,88	0,79	1,31	1,48	1,60	7,09	7,31	7,10
K ₂ O	10,00	9,32	9,70	9,86	8,51	8,43	8,40	0,99	0,94	1,04
H ₂ O**	4,48	4,53	4,55	4,53	4,56	4,55	4,53	4,66	4,64	4,67
Összesen	98,92	99,56	100,81	100,71	99,78	99,79	99,73	99,90	99,54	99,89

Ionszámok 12 (O, OH, F) anionra

Si	3,12	3,08	3,21	3,23	3,02	3,11	3,07	2,84	2,86	2,87
Al	0,88	0,92	0,79	0,77	0,98	0,89	0,93	1,16	1,14	1,13
ΣT	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Al	1,83	1,91	1,70	1,68	1,92	1,81	1,82	1,99	1,98	2,00
Ti	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	0,06	0,05	0,14	0,15	0,04	0,07	0,08	0,01	0,01	0,01
Mn	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
Mg	0,09	0,05	0,18	0,20	0,10	0,18	0,17	0,04	0,04	0,04
ΣM	2,01	2,03	2,05	2,05	2,07	2,08	2,08	2,05	2,04	2,06
Ca	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,04	0,04	0,02
Na	0,13	0,12	0,11	0,10	0,17	0,19	0,21	0,88	0,91	0,88
K	0,85	0,79	0,82	0,83	0,71	0,71	0,71	0,08	0,08	0,09
ΣI	0,99	0,90	0,93	0,94	0,89	0,90	0,92	1,01	1,03	0,99
O	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
OH	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00

Csillámmolekulák részaránya (mol%)

<i>Ms</i>	73,4	78,0	59,4	57,7	74,8	69,1	67,3	7,8	7,3	8,4
<i>Phg</i>	15,3	10,4	32,2	34,8	7,1	12,5	12,6	2,8	2,7	2,6
<i>Pa</i>	11,3	11,5	8,2	7,1	17,6	18,4	19,5	85,2	86,1	87,0
<i>Ma</i>	0,0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,0	0,6	4,2	3,9	2,0

* Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 2 *apfu*.

5.19. táblázat: A Soproni-hegység csillámpaláiban lévő kloritok elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban. S2 minta (Sopron, Ház-hegy): 1–6; S5 minta (Sopron, Nap-hegy): 7–9. S11 minta (S-6. sz. fúrás): 10–13. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	23,31	23,34	23,70	24,36	24,67	24,43	25,83	26,01	25,87
TiO ₂	0,03	0,03	0,09	0,05	0,08	0,12	0,16	0,14	0,11
Al ₂ O ₃	23,29	23,61	23,12	21,92	22,78	22,21	22,94	22,05	21,82
Fe ₂ O ₃ *	0,80	0,37	0,00	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO*	30,33	30,24	30,23	29,21	29,70	28,33	26,18	25,28	25,83
MgO	11,26	11,22	10,92	12,57	12,79	12,52	14,38	14,28	14,25
CaO	0,06	0,01	0,05	0,04	0,04	0,03	0,07	0,09	0,04
MnO	0,05	0,09	0,09	0,00	0,03	0,08	0,07	0,00	0,00
Na ₂ O	0,01	0,00	0,06	0,00	0,00	0,11	0,00	0,04	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,04	0,06	0,00	0,03	0,07	0,03	n.d.	n.d.	n.d.
H ₂ O**	11,20	11,19	11,15	11,19	11,43	11,20	11,64	11,46	11,43
O=F	-0,02	-0,03	0,00	-0,01	-0,03	-0,01			
Összesen	100,36	100,13	99,41	99,39	101,63	99,05	101,27	99,35	99,38

Ionszámok 18 (O, OH, F) anionra

Si	2,49	2,49	2,55	2,61	2,58	2,61	2,66	2,72	2,72
Al	1,51	1,51	1,45	1,39	1,42	1,39	1,34	1,28	1,28
ΣT	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Al	1,42	1,47	1,48	1,37	1,39	1,41	1,45	1,44	1,41
Ti	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Fe ³⁺	0,06	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	2,71	2,70	2,72	2,61	2,60	2,53	2,25	2,21	2,27
Mg	1,79	1,79	1,75	2,01	2,00	2,00	2,21	2,23	2,23
Ca	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
Mn	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
Na	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣM	6,01	6,00	5,98	6,00	6,00	5,99	5,93	5,91	5,93
O	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
OH	7,99	7,98	8,00	7,99	7,98	7,99	8,00	8,00	8,00
F	0,01	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01			
Fe ²⁺ /(Fe ²⁺ +Mg)	0,60	0,60	0,61	0,57	0,57	0,56	0,51	0,50	0,50

5.19. táblázat folytatása.

	10	11	12	13
SiO ₂	25,93	25,81	25,67	25,68
TiO ₂	0,05	0,00	0,04	0,04
Al ₂ O ₃	23,65	23,87	23,94	23,85
FeO*	21,11	20,92	21,79	21,72
MnO	0,05	0,00	0,00	0,00
MgO	16,60	16,78	16,43	16,58
CaO	0,00	0,03	0,03	0,04
Na ₂ O	0,22	0,25	0,18	0,19
K ₂ O	0,03	0,00	0,00	0,00
H ₂ O**	11,68	11,70	11,71	11,71
Összesen	99,32	99,36	99,79	99,82

Ionszámok 18 (O, OH, F) anionra

Si	2,66	2,65	2,63	2,63
Al	1,34	1,35	1,37	1,37
ΣT	4,00	4,00	4,00	4,00
Al	1,52	1,53	1,52	1,51
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	1,81	1,79	1,87	1,86
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	2,54	2,56	2,51	2,53
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,04	0,05	0,04	0,04
K	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣM	5,93	5,94	5,94	5,95
O	10,00	10,00	10,00	10,00
OH	8,00	8,00	8,00	8,00
Fe ²⁺ /(Fe ²⁺ +Mg)	0,42	0,41	0,43	0,42

* Az összes vasat FeO-ként mértük. A Fe₂O₃/FeO arány a sztöchiometrikus összetételből számolva: ΣM = 6 *apfu*.

** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 8 *apfu*.

5.20. táblázat: A ház-hegyi (Sopron) gránát (S2 minta) elektronmikroszondás elemzéseit tömegszázalékban: 1–6 = mag; 7–10 = szegély. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	36,93	37,72	37,14	37,60	36,96	37,20	37,17	37,28	37,58	37,56
TiO ₂	0,00	0,04	0,00	0,06	0,00	0,05	0,06	0,02	0,10	0,10
Al ₂ O ₃	20,79	21,25	21,12	21,05	20,65	20,95	21,16	21,13	20,85	20,86
Fe ₂ O ₃ *	0,02	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00
FeO*	34,05	33,11	33,65	32,93	32,47	32,90	33,06	33,35	33,80	33,18
MnO	3,09	2,33	3,55	2,51	2,58	2,97	0,87	1,67	1,43	0,83
MgO	1,16	1,13	1,31	1,25	1,12	1,08	1,48	1,42	1,47	1,58
CaO	3,76	4,60	4,13	4,27	4,99	4,90	4,79	4,83	5,21	4,97
Na ₂ O	0,03	0,12	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	99,83	100,30	101,19	99,70	98,77	100,05	98,59	99,77	100,51	99,08

Kationszámok 12 oxigénre

Si	3,00	3,02	2,98	3,03	3,02	3,01	3,01	3,01	3,02	3,03
Al	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣT	3,00	3,02	3,00	3,03	3,02	3,01	3,01	3,01	3,02	3,03
Al	1,99	2,01	1,98	2,00	1,99	2,00	2,03	2,01	1,97	1,99
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Fe ³⁺	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣY	2,00	2,01	2,00	2,01	1,99	2,00	2,03	2,01	1,98	2,00
Fe ²⁺	2,32	2,26	2,26	2,26	2,23	2,23	2,29	2,27	2,27	2,27
Mn	0,21	0,16	0,24	0,17	0,18	0,20	0,06	0,11	0,10	0,06
Mg	0,14	0,13	0,16	0,15	0,14	0,13	0,18	0,17	0,18	0,19
Ca	0,33	0,39	0,36	0,37	0,44	0,42	0,42	0,42	0,45	0,43
ΣX	3,00	2,95	3,01	2,95	2,98	2,99	2,95	2,98	2,99	2,95

Gránátmolekulák részaránya (mol%)

<i>Alm</i>	77,2	76,7	74,7	76,6	74,8	74,6	77,8	76,4	75,7	77,1
<i>Adr</i>	0,1	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
<i>Grs</i>	10,9	13,4	11,1	12,5	14,7	14,2	14,1	14,0	14,9	14,6
<i>Prp</i>	4,7	4,6	5,3	5,1	4,6	4,4	6,1	5,7	5,9	6,4
<i>Sps</i>	7,1	5,4	8,1	5,8	6,0	6,8	2,0	3,8	3,3	1,9
<i>Uv</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

* Az összes vasat FeO-ként mértük. A Fe₂O₃/FeO arány a sztöchiometrikus összetételből számolva:
 $\Sigma(X + Y + T) = 8 \text{ apfu}$.

5.21. táblázat: A ház-hegyi (Sopron) ilmenit (S2 minta) elektronmikroszondás elemzéseinek tömegszázalékban. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	0,05	0,00	0,11	0,00	0,00	0,04
TiO ₂	52,49	53,07	53,11	53,61	53,33	54,00
Al ₂ O ₃	0,08	0,04	0,00	0,14	0,02	0,03
FeO*	47,45	46,98	45,57	44,31	45,23	45,88
MnO	0,90	0,62	0,94	1,02	0,81	0,44
MgO	0,01	0,06	0,10	0,13	0,02	0,13
CaO	0,05	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03
Összesen	101,01	100,84	99,87	99,25	99,43	100,55

Kationszámok 3 oxigénre

Si	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,99	1,00	1,01	1,02	1,01	1,01
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,99	0,98	0,96	0,93	0,95	0,96
Mn	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

* Az összes vasat FeO-ként mértük.

5.22. táblázat: Az S11 minta (S-6. sz. fúrás, „paragonitpala”) biotitjainak elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	38,26	37,62	38,28	37,51	37,79	38,03
TiO ₂	0,72	1,08	0,89	0,95	0,87	1,07
Al ₂ O ₃	19,76	19,01	19,78	19,72	19,16	19,98
FeO*	18,13	17,92	17,82	18,19	18,43	16,38
MnO	0,00	0,16	0,08	0,09	0,08	0,00
MgO	10,90	11,08	10,66	11,06	11,25	11,55
CaO	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,20	0,41	0,22	0,21	0,23	0,29
K ₂ O	8,03	8,20	8,28	8,10	8,18	8,13
H ₂ O**	4,07	4,03	4,07	4,05	4,05	4,07
Összesen	100,07	99,58	100,08	99,88	100,04	99,50

Ionszámok 12 (O, OH) anionra

Si	2,82	2,80	2,82	2,78	2,80	2,80
Al	1,18	1,20	1,18	1,22	1,20	1,20
ΣT	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Al	0,54	0,47	0,54	0,50	0,47	0,53
Ti	0,04	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06
Fe ²⁺	1,12	1,12	1,10	1,13	1,14	1,01
Mn	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
Mg	1,20	1,23	1,17	1,22	1,24	1,27
ΣM	2,89	2,88	2,86	2,91	2,91	2,87
Ca	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,03	0,06	0,03	0,03	0,03	0,04
K	0,75	0,78	0,78	0,77	0,77	0,76
ΣI	0,78	0,84	0,81	0,80	0,81	0,80
OH	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Mg/(Mg+Fe)	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,56

* Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH = 2 *apfu*.

5.23. táblázat folytatása.

	20	21	22	23	24	25	26	27	28
SiO ₂	36,79	36,33	36,63	35,20	35,64	35,70	35,88	35,29	35,80
TiO ₂	0,84	0,71	0,52	0,74	0,54	0,76	0,24	0,74	0,10
B ₂ O ₃ *	10,81	10,64	10,73	10,51	10,47	10,38	10,49	10,33	10,47
Al ₂ O ₃	33,05	31,99	32,62	32,51	31,44	30,60	32,87	30,38	33,61
FeO	7,12	7,32	7,20	7,32	7,98	10,16	9,70	10,90	9,95
MgO	7,13	7,20	7,13	6,80	7,04	5,57	4,92	5,41	4,27
CaO	0,51	0,44	0,39	0,84	0,64	1,13	0,67	1,26	0,46
MnO	0,00	0,05	0,08	0,00	0,00	0,02	0,00	0,05	0,00
Na ₂ O	2,07	2,42	2,44	2,01	2,10	1,65	1,54	1,64	1,25
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,02	0,04	0,01	0,14	0,13	0,11	0,12	0,10	0,13
H ₂ O*	3,72	3,65	3,70	3,56	3,55	3,53	3,56	3,51	3,55
O=F	-0,01	-0,02	0,00	-0,06	-0,05	-0,05	-0,05	-0,04	-0,05
Összesen	102,05	100,78	101,44	99,56	99,46	99,55	99,95	99,57	99,52

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,91	5,93	5,93	5,82	5,92	5,98	5,94	5,94	5,94
Al	0,09	0,07	0,07	0,18	0,08	0,02	0,06	0,06	0,06
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	5,97	6,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,18	0,09	0,16	0,16	0,07	0,02	0,36	0,00	0,52
Ti	0,10	0,09	0,06	0,09	0,07	0,10	0,03	0,09	0,01
Mg	1,71	1,75	1,72	1,68	1,74	1,39	1,21	1,32	1,06
Mn	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Fe ²⁺	0,96	1,00	0,98	1,01	1,11	1,42	1,34	1,53	1,38
ΣY	2,94	2,94	2,94	2,94	2,99	2,93	2,95	2,96	2,97
Ca	0,09	0,08	0,07	0,15	0,11	0,20	0,12	0,23	0,08
Na	0,65	0,77	0,77	0,64	0,68	0,54	0,49	0,53	0,40
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,27	0,16	0,17	0,21	0,21	0,26	0,39	0,24	0,52
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	3,99	3,98	3,99	3,93	3,93	3,94	3,94	3,95	3,93
F	0,01	0,02	0,01	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,07
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

5.24. táblázat folytatása.

	31	32	33	34	35	36	37	38	39
SiO ₂	35,99	36,24	35,75	35,65	36,11	35,49	35,90	35,57	35,79
TiO ₂	0,94	0,52	0,93	0,70	0,83	0,83	0,77	0,86	0,92
B ₂ O ₃ *	10,50	10,59	10,51	10,51	10,59	10,43	10,65	10,51	10,60
Al ₂ O ₃	31,12	32,33	31,86	32,28	31,95	31,50	32,99	32,40	32,32
FeO**	6,44	6,33	6,42	6,63	6,30	6,35	6,80	6,03	6,52
MgO	7,62	7,36	7,30	7,08	7,48	7,45	7,02	7,09	7,36
CaO	0,69	0,52	0,58	0,54	0,56	0,65	0,52	0,60	0,55
MnO	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,03	0,00	0,06	0,13
Na ₂ O	2,14	2,10	2,16	2,07	2,33	2,09	2,19	2,14	2,29
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,11	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05
H ₂ O***	3,62	3,65	3,57	3,63	3,65	3,60	3,67	3,62	3,63
O=F	0,00	0,00	-0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,02
Összesen	99,06	99,64	99,15	99,12	99,81	98,42	100,51	98,88	100,14

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,96	5,95	5,91	5,90	5,93	5,91	5,86	5,88	5,87
Al	0,04	0,05	0,09	0,10	0,07	0,09	0,14	0,12	0,13
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,03	0,20	0,12	0,19	0,11	0,10	0,21	0,20	0,11
Ti	0,12	0,06	0,12	0,09	0,10	0,10	0,09	0,11	0,11
Mg	1,88	1,80	1,80	1,75	1,83	1,85	1,71	1,75	1,80
Mn	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
Fe ²⁺	0,89	0,87	0,89	0,92	0,86	0,88	0,93	0,83	0,89
ΣY	2,92	2,94	2,92	2,94	2,91	2,94	2,94	2,90	2,94
Ca	0,12	0,09	0,10	0,10	0,10	0,12	0,09	0,11	0,10
Na	0,69	0,67	0,69	0,66	0,74	0,68	0,69	0,69	0,73
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,19	0,24	0,20	0,24	0,16	0,21	0,22	0,21	0,18
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	3,94	4,00	3,99	4,00	4,00	4,00	3,97
F	0,00	0,00	0,06	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03
ΣV+W	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

5.25. táblázat folytatása.

	9	10	11	12	13	14	15	16
SiO ₂	36,27	36,42	37,03	37,15	36,55	36,51	36,20	36,46
TiO ₂	0,69	0,69	0,42	0,91	0,72	0,93	0,78	0,96
B ₂ O ₃ *	10,56	10,63	10,68	10,75	10,63	10,65	10,53	10,60
Al ₂ O ₃	31,96	32,54	32,53	32,31	32,48	32,35	32,01	32,32
FeO**	7,18	6,82	6,73	6,66	6,49	6,67	7,26	6,60
MgO	7,03	7,01	6,95	7,30	7,09	7,07	6,67	6,88
CaO	0,16	0,15	0,25	0,16	0,17	0,13	0,06	0,18
MnO	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
Na ₂ O	2,21	2,13	2,15	2,17	2,15	2,25	2,33	2,06
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,64	3,67	3,69	3,71	3,67	3,67	3,63	3,66
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	99,71	100,08	100,45	101,12	99,95	100,28	99,48	99,72

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,97	5,96	6,03	6,01	5,98	5,96	5,97	5,98
Al	0,03	0,04	0,00	0,00	0,02	0,04	0,03	0,02
ΣT	6,00	6,00	6,03	6,01	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,17	0,23	0,24	0,16	0,23	0,18	0,20	0,22
Ti	0,09	0,08	0,05	0,11	0,09	0,11	0,10	0,12
Mg	1,72	1,71	1,69	1,76	1,73	1,72	1,64	1,68
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Fe ²⁺	0,99	0,93	0,92	0,90	0,89	0,91	1,00	0,90
ΣY	2,97	2,96	2,89	2,93	2,94	2,94	2,94	2,92
Ca	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,03
Na	0,71	0,68	0,68	0,68	0,68	0,71	0,75	0,65
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,27	0,30	0,28	0,29	0,29	0,27	0,24	0,31
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

5.26. táblázat: A kvarcitok muszkovitjainak EDS-elemzéseit tömegszázalékban. S12 minta (Sopron, Tövissüveg): 1–4; S16 minta (Sopron, Récényi úti kőfejtő): 5–8. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	47,65	47,39	46,66	46,23	47,65	47,39	46,66	46,23
TiO ₂	0,16	0,15	0,18	0,19	0,16	0,15	0,18	0,19
Al ₂ O ₃	34,35	34,20	35,61	36,24	34,35	34,20	35,61	36,24
FeO*	1,37	1,51	1,41	1,10	1,37	1,51	1,41	1,10
MnO	0,07	0,08	0,06	0,07	0,07	0,08	0,06	0,07
MgO	1,89	2,08	1,56	1,42	1,89	2,08	1,56	1,42
CaO	0,15	0,07	0,09	0,00	0,15	0,07	0,09	0,00
Na ₂ O	1,16	1,27	1,42	1,56	1,16	1,27	1,42	1,56
K ₂ O	8,64	8,71	8,46	8,64	8,64	8,71	8,46	8,64
H ₂ O**	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55
Összesen	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Ionszámok 12 (O, OH) anionra

Si	3,14	3,13	3,07	3,05	3,14	3,13	3,07	3,05
Al	0,86	0,87	0,93	0,95	0,86	0,87	0,93	0,95
ΣT	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Al	1,80	1,78	1,84	1,86	1,80	1,78	1,84	1,86
Ti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Fe ²⁺	0,08	0,08	0,08	0,06	0,08	0,08	0,08	0,06
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,19	0,20	0,15	0,14	0,19	0,20	0,15	0,14
ΣM	2,07	2,08	2,08	2,07	2,07	2,08	2,08	2,07
Ca	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Na	0,15	0,16	0,18	0,20	0,15	0,16	0,18	0,20
K	0,73	0,73	0,71	0,73	0,73	0,73	0,71	0,73
ΣI	0,88	0,90	0,90	0,92	0,88	0,90	0,90	0,92
OH	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00

Csillámmolekulák részaránya (mol%)

<i>Ms</i>	71,1	69,5	69,9	70,5	71,1	69,5	69,9	70,5
<i>Ace</i>	13,2	14,6	11,7	10,2	13,2	14,6	11,7	10,2
<i>Pa</i>	14,6	15,4	17,9	19,3	14,6	15,4	17,9	19,3
<i>Ma</i>	1,1	0,4	0,6	0,0	1,1	0,4	0,6	0,0

* Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH = 2 *apfu*.

5.27. táblázat: A kvarcitok kloritjainak EDS-elemzéseik tömegszázalékban. S12 minta (Sopron, Tövissüveg): 1–3; S16 minta (Sopron, Récényi úti kőfejtő): 4–6; S17 minta (Harka, Fillér-erdő): 7–9. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	27,24	25,31	26,87	27,85	28,25	28,43	25,68	25,44	25,66
TiO ₂	0,06	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	23,71	24,21	24,27	25,99	25,67	25,41	23,52	23,68	23,94
FeO*	24,05	25,03	23,07	0,13	0,17	0,12	23,53	25,11	22,85
MnO	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,06
MgO	12,78	13,77	13,42	32,79	32,72	32,76	15,55	14,11	15,76
CaO	0,09	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
Na ₂ O	0,04	0,08	0,09	0,30	0,26	0,32	0,00	0,05	0,04
K ₂ O	0,37	0,00	0,40	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00
H ₂ O**	11,65	11,57	11,69	12,93	12,94	12,94	11,64	11,56	11,68
Összesen	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Ionszámok 18 (O, OH) anionra számolva

Si	2,80	2,62	2,76	2,58	2,62	2,64	2,65	2,64	2,63
Al	1,20	1,38	1,24	1,42	1,38	1,36	1,35	1,36	1,37
ΣT	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Al	1,68	1,58	1,69	1,42	1,42	1,41	1,50	1,54	1,53
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	2,07	2,17	1,98	0,01	0,01	0,01	2,03	2,18	1,96
Mn	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Mg	1,96	2,13	2,05	4,53	4,52	4,53	2,39	2,18	2,41
Ca	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,01	0,02	0,02	0,05	0,05	0,06	0,00	0,01	0,01
K	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣM	5,78	5,90	5,81	6,02	6,00	6,01	5,93	5,92	5,92
O	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
OH	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00

* Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH = 8 *apfu*.

5.28. táblázat folytatása.

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂	34,94	35,25	35,30	35,29	35,59	35,70	35,49	35,92	35,60	35,51
TiO ₂	0,28	0,12	0,17	0,22	0,19	0,22	0,29	0,24	0,21	0,29
B ₂ O ₃ *	10,55	10,65	10,63	10,63	10,70	10,57	10,67	10,65	10,63	10,58
Al ₂ O ₃	35,85	36,29	36,08	35,74	36,53	35,37	35,56	35,33	35,92	35,09
FeO**	9,02	9,15	8,96	9,48	8,56	10,00	8,37	7,50	8,65	8,73
MgO	3,66	3,86	3,87	4,06	3,94	3,21	4,80	4,76	3,85	4,16
CaO	0,19	0,14	0,13	0,14	0,19	0,14	0,19	0,21	0,15	0,21
MnO	0,20	0,00	0,10	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00
Na ₂ O	1,77	1,75	1,72	1,71	1,61	1,43	1,81	1,93	1,79	1,92
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,06	0,06	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	0,01	0,03	0,07
H ₂ O***	3,61	3,65	3,64	3,67	3,67	3,65	3,68	3,67	3,65	3,62
O=F	-0,03	-0,03	-0,02	0,00	-0,02	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,03
Összesen	100,11	100,89	100,63	100,93	101,01	100,30	100,85	100,24	100,48	100,14

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,75	5,75	5,77	5,77	5,78	5,87	5,78	5,86	5,82	5,84
Al	0,25	0,25	0,23	0,23	0,22	0,13	0,22	0,14	0,18	0,16
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,71	0,74	0,73	0,65	0,77	0,73	0,61	0,66	0,74	0,63
Ti	0,03	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04
Mg	0,90	0,94	0,94	0,99	0,95	0,79	1,17	1,16	0,94	1,02
Mn	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	1,24	1,25	1,23	1,30	1,16	1,38	1,14	1,02	1,18	1,20
ΣY	2,92	2,94	2,93	2,97	2,91	2,92	2,95	2,87	2,89	2,89
Ca	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	0,04
Na	0,57	0,55	0,55	0,54	0,51	0,45	0,57	0,61	0,57	0,61
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,40	0,42	0,43	0,43	0,46	0,52	0,39	0,35	0,41	0,35
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	3,97	3,97	3,97	4,00	3,97	4,00	4,00	3,99	3,98	3,96
F	0,03	0,03	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

5.29. táblázat: A Soproni-hegység kvarcitjaiban lévő turmalinok elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban. HOM24008 minta (Sopron, Vöröshídi-kőfejtő). Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	34,78	34,61	34,87	35,74	35,82	35,06	34,83	35,82	35,43	35,27
TiO ₂	0,43	0,38	0,52	0,60	0,15	0,58	0,48	0,16	0,32	0,30
B ₂ O ₃ *	10,45	10,47	10,41	10,51	10,65	10,46	10,45	10,57	10,51	10,38
Al ₂ O ₃	34,41	34,40	33,75	33,72	35,46	34,18	34,14	34,71	34,38	32,76
FeO**	9,54	9,52	9,85	8,89	8,43	9,21	9,11	8,83	9,02	9,95
MgO	4,26	4,47	4,23	4,44	4,58	4,25	4,64	4,44	4,41	4,59
CaO	0,25	0,27	0,23	0,31	0,16	0,25	0,24	0,16	0,24	0,21
MnO	0,10	0,18	0,00	0,05	0,05	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02
Na ₂ O	1,66	1,98	1,82	1,83	1,47	1,79	1,87	1,61	1,69	2,02
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,02	0,01	0,08	0,07	0,01
H ₂ O***	3,61	3,61	3,58	3,62	3,67	3,60	3,60	3,61	3,59	3,58
O=F	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,03	-0,03	0,00
Összesen	99,49	99,89	99,27	99,72	100,44	99,40	99,39	99,95	99,63	99,08

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,78	5,75	5,82	5,91	5,85	5,83	5,79	5,89	5,86	5,91
Al	0,22	0,25	0,18	0,09	0,15	0,17	0,21	0,11	0,14	0,09
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,53	0,48	0,46	0,48	0,67	0,52	0,48	0,62	0,56	0,37
Ti	0,05	0,05	0,07	0,07	0,02	0,07	0,06	0,02	0,04	0,04
Mg	1,06	1,11	1,05	1,10	1,11	1,05	1,15	1,09	1,09	1,15
Mn	0,01	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	1,33	1,32	1,38	1,23	1,15	1,28	1,27	1,21	1,25	1,39
ΣY	2,98	2,98	2,96	2,88	2,96	2,92	2,96	2,94	2,94	2,96
Ca	0,04	0,05	0,04	0,06	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04
Na	0,54	0,64	0,59	0,59	0,47	0,58	0,60	0,51	0,54	0,66
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,42	0,31	0,37	0,36	0,51	0,38	0,35	0,46	0,42	0,31
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	3,99	3,99	3,99	4,00	3,99	3,99	3,96	3,96	3,99
F	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,04	0,04	0,01
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

5.30. táblázat folytatása.

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂	36,49	36,28	36,40	35,86	36,35	36,12	36,23	36,36	36,21	36,30
TiO ₂	0,61	0,82	0,81	0,84	0,87	0,88	0,71	0,83	0,93	0,84
B ₂ O ₃ *	10,64	10,67	10,65	10,51	10,64	10,51	10,58	10,62	10,68	10,56
Al ₂ O ₃	32,39	32,14	32,45	31,75	32,03	31,76	31,87	32,11	32,58	31,91
FeO**	7,37	7,91	7,24	7,17	7,10	6,81	6,91	6,91	6,85	7,04
MgO	6,78	6,97	6,86	6,83	7,04	6,82	7,17	6,99	7,12	6,63
CaO	0,49	0,60	0,64	0,66	0,67	0,54	0,67	0,73	0,73	0,60
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	2,18	2,20	1,91	2,29	2,25	2,09	2,02	2,12	2,01	2,20
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,11	0,06	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00
H ₂ O***	3,62	3,65	3,68	3,61	3,67	3,61	3,65	3,67	3,67	3,64
O=F	-0,05	-0,03	0,00	-0,01	0,00	-0,01	0,00	0,00	-0,01	0,00
Összesen	100,63	101,26	100,63	99,53	100,62	99,17	99,94	100,34	100,79	99,72

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,96	5,91	5,94	5,93	5,94	5,97	5,95	5,95	5,89	5,98
Al	0,04	0,09	0,06	0,07	0,06	0,03	0,05	0,05	0,11	0,02
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,19	0,08	0,18	0,11	0,10	0,16	0,12	0,14	0,15	0,17
Ti	0,07	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,09	0,10	0,11	0,10
Mg	1,65	1,69	1,67	1,68	1,72	1,68	1,76	1,71	1,73	1,63
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	1,01	1,08	0,99	0,99	0,97	0,94	0,95	0,95	0,93	0,97
ΣY	2,92	2,95	2,93	2,89	2,90	2,89	2,93	2,89	2,92	2,87
Ca	0,09	0,10	0,11	0,12	0,12	0,10	0,12	0,13	0,13	0,11
Na	0,69	0,69	0,60	0,73	0,71	0,67	0,64	0,67	0,64	0,70
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,22	0,20	0,28	0,15	0,17	0,23	0,24	0,20	0,24	0,19
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	3,94	3,97	4,00	3,98	4,00	3,98	4,00	4,00	3,98	4,00
F	0,06	0,03	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

5.31. táblázat folytatása.

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂	36,26	35,70	35,88	38,84	38,95	38,83	38,67	38,54	38,55	38,70
TiO ₂	0,25	0,87	0,34	0,00	0,00	0,04	0,00	0,04	0,06	0,00
B ₂ O ₃ *	10,49	10,38	10,43	11,16	11,19	11,15	11,14	11,13	11,15	11,14
Al ₂ O ₃	34,57	34,04	34,35	37,69	37,89	37,67	38,02	37,69	38,23	37,76
FeO**	11,72	11,96	11,66	0,09	0,03	0,07	0,13	0,07	0,13	0,11
MgO	1,78	1,30	1,94	8,15	8,06	8,18	7,84	8,25	7,82	8,01
CaO	0,18	0,26	0,15	0,06	0,08	0,07	0,06	0,09	0,05	0,01
MnO	0,00	0,06	0,00	0,27	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,11
Na ₂ O	1,29	1,19	1,25	0,47	0,73	0,57	0,62	0,68	0,66	0,70
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01
F	0,00	0,01	0,06	0,00	0,10	0,01	0,00	0,00	0,00	0,07
H ₂ O***	3,62	3,58	3,57	3,85	3,81	3,84	3,84	3,84	3,85	3,81
O=F	0,00	0,00	-0,03	0,00	-0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,03
Összesen	100,16	99,34	99,60	100,57	100,85	100,43	100,33	100,40	100,51	100,41

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	6,01	5,98	5,98	6,05	6,05	6,05	6,03	6,02	6,01	6,04
Al	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣT	6,01	6,00	6,00	6,05	6,05	6,05	6,03	6,02	6,01	6,04
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,75	0,70	0,73	0,92	0,94	0,92	0,99	0,94	1,02	0,95
Ti	0,03	0,11	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Mg	0,44	0,32	0,48	1,89	1,87	1,90	1,82	1,92	1,82	1,86
Mn	0,00	0,01	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
Fe ²⁺	1,62	1,67	1,63	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
ΣY	2,84	2,81	2,88	2,86	2,81	2,83	2,83	2,88	2,86	2,84
Ca	0,03	0,05	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
Na	0,41	0,39	0,40	0,14	0,22	0,17	0,19	0,21	0,20	0,21
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,55	0,57	0,57	0,85	0,77	0,82	0,80	0,77	0,79	0,78
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	3,99	3,97	4,00	3,95	4,00	4,00	4,00	4,00	3,97
F	0,00	0,01	0,03	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

5.32. táblázat folytatása.

	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SiO ₂	36,46	35,35	35,35	38,01	38,47	38,01	38,04	38,40	38,16
TiO ₂	0,28	0,83	0,77	0,23	0,16	0,18	0,28	0,19	0,23
B ₂ O ₃ *	10,63	10,55	10,54	10,99	11,04	11,02	11,05	11,06	11,11
Al ₂ O ₃	35,80	34,87	34,87	35,08	35,21	35,35	35,77	35,69	36,14
FeO**	9,65	10,67	10,89	0,58	0,35	0,48	0,46	0,44	0,37
MgO	2,59	2,58	2,55	9,60	9,47	9,60	9,30	9,16	9,32
CaO	0,14	0,32	0,32	0,15	0,30	0,17	0,28	0,18	0,29
MnO	0,06	0,09	0,11	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	1,14	1,94	1,79	1,64	1,49	1,66	1,52	1,58	1,57
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,03	0,03	0,00	0,03
F	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,05	0,00	0,04	0,04
H ₂ O***	3,67	3,64	3,61	3,79	3,81	3,78	3,81	3,80	3,81
O=F	0,00	0,00	-0,03	0,00	0,00	-0,02	0,00	-0,02	-0,02
Összesen	100,42	100,83	100,83	100,12	100,28	100,33	100,54	100,52	101,06

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,96	5,83	5,83	6,01	6,06	6,00	5,98	6,03	5,97
Al	0,04	0,17	0,17	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,01	6,06	6,00	6,00	6,03	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,86	0,60	0,61	0,54	0,53	0,57	0,61	0,61	0,63
Ti	0,03	0,10	0,10	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03
Mg	0,63	0,63	0,63	2,26	2,22	2,26	2,18	2,15	2,17
Mn	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	1,32	1,47	1,50	0,08	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05
ΣY	2,85	2,82	2,84	2,90	2,82	2,91	2,89	2,83	2,88
Ca	0,02	0,06	0,06	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05
Na	0,36	0,62	0,57	0,50	0,45	0,51	0,46	0,48	0,48
K	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
□	0,61	0,32	0,37	0,46	0,49	0,46	0,48	0,49	0,47
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	3,97	4,00	4,00	3,98	4,00	3,98	3,98
F	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,02
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

5.33. táblázat folytatása.

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂	36,95	37,18	36,52	36,43	36,18	36,35	36,10	36,68	35,84	34,49
TiO ₂	0,68	0,52	0,73	1,14	0,81	0,89	2,39	0,54	0,74	0,98
B ₂ O ₃ *	10,59	10,69	10,64	10,54	10,43	10,67	10,52	10,67	10,52	10,39
Al ₂ O ₃	31,24	31,59	33,41	31,41	29,72	34,30	31,47	34,53	34,48	34,63
FeO**	7,65	5,86	8,84	10,23	11,40	8,60	9,19	7,61	12,46	13,11
MgO	6,89	8,17	4,89	5,15	5,88	4,44	4,89	4,78	1,64	1,36
CaO	0,17	0,48	0,21	0,12	0,19	0,25	0,25	0,14	0,18	0,28
MnO	0,00	0,00	0,10	0,00	0,01	0,02	0,06	0,03	0,11	0,09
Na ₂ O	2,39	2,12	1,83	2,20	2,49	1,72	1,66	1,51	1,41	1,45
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,65	3,62	3,67	3,64	3,60	3,68	3,63	3,68	3,63	3,58
O=F	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	100,22	100,31	100,84	100,86	100,71	100,92	100,16	100,18	101,01	100,35

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	6,06	6,05	5,97	6,01	6,03	5,92	5,96	5,98	5,92	5,77
Al	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,08	0,04	0,02	0,08	0,23
ΣT	6,06	6,05	6,00	6,01	6,03	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	5,84	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,04	0,06	0,40	0,10	0,00	0,50	0,09	0,61	0,64	0,60
Ti	0,08	0,06	0,09	0,14	0,10	0,11	0,30	0,07	0,09	0,12
Mg	1,69	1,98	1,19	1,27	1,30	1,08	1,20	1,16	0,40	0,34
Mn	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01
Fe ²⁺	1,05	0,80	1,21	1,41	1,59	1,17	1,27	1,04	1,72	1,83
ΣY	2,86	2,90	2,90	2,92	2,99	2,86	2,87	2,88	2,87	2,91
Ca	0,03	0,08	0,04	0,02	0,03	0,04	0,04	0,02	0,03	0,05
Na	0,76	0,67	0,58	0,70	0,80	0,54	0,53	0,48	0,45	0,47
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,21	0,25	0,38	0,28	0,16	0,41	0,43	0,50	0,52	0,48
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	3,92	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

5.34. táblázat folytatása.

	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂	36,96	36,64	38,12	38,40	38,67	38,20	38,72
TiO ₂	0,18	0,92	0,24	0,23	0,00	0,21	0,06
B ₂ O ₃ *	10,63	10,48	11,00	11,01	11,11	11,00	11,06
Al ₂ O ₃	34,49	30,91	35,08	34,59	37,80	35,07	34,17
FeO**	9,05	10,55	0,26	0,24	0,17	0,22	0,21
MgO	3,76	4,87	9,84	9,98	7,82	9,71	10,49
CaO	0,09	0,42	0,04	0,10	0,00	0,11	0,06
MnO	0,05	0,08	0,01	0,06	0,03	0,00	0,03
Na ₂ O	1,42	1,89	1,52	1,68	0,69	1,69	2,11
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,17	0,19	0,00	0,23	0,19
H ₂ O***	3,67	3,62	3,71	3,71	3,83	3,69	3,73
O=F	0,00	0,00	0,07	0,08	0,00	0,10	0,08
Összesen	100,30	100,38	99,93	100,10	100,14	100,03	100,74

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	6,04	6,08	6,02	6,06	6,05	6,03	6,09
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣT	6,04	6,08	6,02	6,06	6,05	6,03	6,09
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,65	0,04	0,53	0,44	0,97	0,53	0,33
Ti	0,02	0,11	0,03	0,03	0,00	0,02	0,01
Mg	0,92	1,20	2,32	2,35	1,82	2,29	2,46
Mn	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	1,24	1,46	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
ΣY	2,83	2,83	2,92	2,85	2,82	2,87	2,83
Ca	0,02	0,07	0,01	0,02	0,00	0,02	0,01
Na	0,45	0,61	0,47	0,51	0,21	0,52	0,64
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,53	0,32	0,53	0,47	0,79	0,46	0,35
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	3,91	3,91	4,00	3,89	3,91
F	0,00	0,00	0,09	0,09	0,00	0,11	0,09
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

5.35. táblázat folytatása.

	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SiO ₂	35,37	35,71	35,55	35,53	35,23	36,11	36,21	36,26	36,67
TiO ₂	0,48	0,08	0,10	0,19	0,14	0,44	0,31	0,25	0,46
B ₂ O ₃ *	10,49	10,38	10,40	10,40	10,30	10,52	10,57	10,56	10,59
Al ₂ O ₃	34,30	34,52	34,43	34,80	34,20	31,32	31,51	31,70	31,47
FeO**	8,60	14,15	13,32	14,03	14,64	6,43	6,42	6,32	7,40
MgO	4,43	0,73	1,57	0,66	0,60	7,99	8,06	7,98	7,27
CaO	0,19	0,06	0,00	0,03	0,04	0,27	0,49	0,36	0,28
MnO	0,07	0,04	0,11	0,09	0,14	0,00	0,00	0,03	0,01
Na ₂ O	1,76	0,79	0,97	0,97	0,73	2,59	2,55	2,40	2,37
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,62	3,58	3,59	3,59	3,55	3,63	3,65	3,64	3,65
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	99,32	100,05	100,03	100,30	99,56	99,31	99,76	99,51	100,17

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,86	5,98	5,94	5,94	5,95	5,96	5,96	5,97	6,02
Al	0,14	0,02	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,00
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,02
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,56	0,79	0,72	0,79	0,75	0,06	0,06	0,12	0,09
Ti	0,06	0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,04	0,03	0,06
Mg	1,09	0,18	0,39	0,17	0,15	1,97	1,97	1,96	1,78
Mn	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	1,19	1,98	1,86	1,96	2,07	0,89	0,88	0,87	1,01
ΣY	2,91	2,97	3,00	2,95	3,01	2,97	2,96	2,98	2,94
Ca	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01	0,05	0,09	0,06	0,05
Na	0,56	0,25	0,31	0,31	0,24	0,83	0,81	0,76	0,76
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,40	0,73	0,69	0,68	0,75	0,12	0,10	0,17	0,20
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

6. A Velencei Gránit és a környező kontaktpala turmalinjai

6.1. táblázat: A velencei Bence-hegy gránitjából származó turmalin (MBFSZ-5307) elektronmikroszondás elemzéseai tömegszázalékban. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	33,80	33,91	34,08	34,34	33,14	33,98	33,70	34,06
TiO ₂	0,05	0,05	0,01	0,00	0,04	0,06	0,06	0,05
B ₂ O ₃ *	10,02	9,97	9,88	9,97	9,88	9,87	9,94	10,05
Al ₂ O ₃	29,17	28,92	28,60	28,94	28,49	28,60	28,81	28,82
Fe ₂ O ₃ **	2,61	1,71	1,17	0,91	3,25	0,85	3,05	3,25
FeO**	18,11	18,82	18,63	18,83	17,67	18,89	17,40	17,92
MgO	0,46	0,36	0,38	0,44	0,53	0,39	0,43	0,48
CaO	0,61	0,47	0,56	0,58	0,55	0,54	0,41	0,44
MnO	0,57	0,51	0,51	0,58	0,60	0,48	0,72	0,63
Na ₂ O	2,18	2,42	2,08	2,19	2,30	2,22	2,09	2,23
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,46	3,44	3,41	3,44	3,41	3,40	3,43	3,47
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	101,04	100,58	99,31	100,22	99,86	99,28	100,04	101,40

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,86	5,91	6,00	5,99	5,83	5,99	5,89	5,89
Al	0,14	0,09	0,00	0,01	0,17	0,01	0,11	0,11
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	5,82	5,86	5,93	5,94	5,74	5,92	5,83	5,76
Mg	0,12	0,09	0,07	0,06	0,14	0,08	0,11	0,12
Fe ³⁺	0,06	0,05	0,00	0,00	0,12	0,00	0,06	0,11
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Fe ³⁺	0,28	0,17	0,15	0,12	0,31	0,11	0,34	0,31
Mg	0,00	0,00	0,03	0,05	0,00	0,03	0,00	0,00
Mn	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,07	0,11	0,09
Fe ²⁺	2,63	2,74	2,74	2,75	2,60	2,78	2,54	2,59
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Ca	0,11	0,09	0,11	0,11	0,10	0,10	0,08	0,08
Na	0,73	0,82	0,71	0,74	0,78	0,76	0,71	0,75
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,15	0,09	0,18	0,15	0,11	0,14	0,21	0,17
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Összes Fe eredetileg FeO-ként mérve. A Fe₂O₃/FeO arány úgy számolva, hogy teljesüljön: Z + Y = 9 *apfu*.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

6.2. táblázat: A sukorói murvabánya pegmatitjából származó turmalin (MBFSZ-11138) elektronmikroszondás elemzéseai tömegszázalékban. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	33,86	34,16	33,70	34,03	33,73	33,68	33,80	33,61
TiO ₂	0,22	0,13	0,22	0,14	0,16	0,12	0,12	0,21
B ₂ O ₃ *	9,85	9,95	9,89	9,94	9,83	9,85	9,89	9,84
Al ₂ O ₃	27,05	27,24	27,29	28,42	27,68	27,80	28,27	28,72
Fe ₂ O ₃ **	3,00	3,80	3,73	2,22	2,12	2,65	2,33	0,60
FeO**	19,31	19,03	18,87	19,13	19,39	18,48	18,63	19,15
MgO	0,12	0,13	0,16	0,09	0,07	0,12	0,13	0,17
CaO	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,10	0,10	0,11
MnO	0,61	0,64	0,62	0,45	0,52	0,96	0,72	0,74
Na ₂ O	2,73	2,62	2,69	2,58	2,71	2,64	2,60	2,86
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,40	3,43	3,41	3,43	3,39	3,40	3,41	3,40
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	100,24	101,23	100,70	100,55	99,73	99,79	100,00	99,41

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,97	5,97	5,92	5,95	5,96	5,95	5,94	5,93
Al	0,03	0,03	0,08	0,05	0,04	0,05	0,06	0,07
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	5,60	5,57	5,57	5,80	5,73	5,73	5,80	5,91
Mg	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04
Fe ³⁺	0,37	0,39	0,39	0,17	0,25	0,24	0,17	0,05
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
Fe ³⁺	0,03	0,11	0,11	0,12	0,03	0,11	0,14	0,03
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,09	0,09	0,09	0,07	0,08	0,14	0,11	0,11
Fe ²⁺	2,85	2,78	2,77	2,80	2,87	2,73	2,74	2,83
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Ca	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Na	0,93	0,89	0,92	0,87	0,93	0,90	0,89	0,98
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,05	0,09	0,06	0,10	0,05	0,08	0,10	0,00
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.** Összes Fe eredetileg FeO-ként mérve. A Fe₂O₃/FeO arány úgy számolva, hogy teljesüljön: Z + Y = 9 *apfu*.*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

6.3. táblázat: A sukorói murvabánya pegmatitjából származó turmalin (MBFSZ-11144) elektronmikroszondás elemzéseai tömegszázalékban. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	33,24	33,12	33,51	33,19	33,39	33,56	33,30	33,41	33,92	33,87
TiO ₂	0,35	0,26	0,21	0,38	0,42	0,53	0,41	0,55	0,35	0,41
B ₂ O ₃ *	9,87	9,84	9,89	9,75	9,77	9,84	9,87	9,83	9,87	9,76
Al ₂ O ₃	26,42	26,67	26,56	26,39	27,13	26,59	26,49	26,35	26,96	26,20
Fe ₂ O ₃ **	5,70	5,35	5,57	4,80	2,57	4,35	5,57	4,83	3,30	2,97
FeO**	18,57	18,68	18,84	18,06	19,05	18,71	18,38	18,67	19,47	19,47
MgO	0,31	0,28	0,23	0,16	0,21	0,34	0,15	0,12	0,24	0,16
CaO	0,07	0,09	0,10	0,08	0,12	0,08	0,09	0,08	0,04	0,03
MnO	0,27	0,10	0,07	0,76	0,52	0,27	0,67	0,67	0,11	0,73
Na ₂ O	2,72	2,71	2,59	2,47	2,68	2,53	2,62	2,58	2,67	2,52
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,40	3,39	3,41	3,37	3,37	3,40	3,41	3,39	3,41	3,37
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	100,92	100,49	100,98	99,41	99,23	100,20	100,96	100,49	100,33	99,49

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,86	5,85	5,89	5,91	5,94	5,93	5,86	5,90	5,97	6,03
Al	0,14	0,15	0,11	0,09	0,06	0,07	0,14	0,10	0,03	0,00
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,03
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	5,34	5,41	5,39	5,46	5,63	5,46	5,36	5,39	5,57	5,50
Mg	0,08	0,07	0,06	0,04	0,06	0,09	0,04	0,03	0,06	0,04
Fe ³⁺	0,58	0,52	0,54	0,50	0,31	0,45	0,60	0,58	0,37	0,40
Fe ²⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,05	0,03	0,03	0,05	0,06	0,07	0,05	0,07	0,05	0,05
Fe ³⁺	0,18	0,19	0,19	0,14	0,03	0,13	0,14	0,07	0,07	0,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,04	0,01	0,01	0,11	0,08	0,04	0,10	0,10	0,02	0,11
Fe ²⁺	2,74	2,76	2,77	2,69	2,83	2,76	2,71	2,76	2,87	2,84
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Ca	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
Na	0,93	0,93	0,88	0,85	0,92	0,87	0,89	0,88	0,91	0,87
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,06	0,05	0,10	0,13	0,05	0,12	0,09	0,10	0,08	0,12
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.** Összes Fe eredetileg FeO-ként mérve. A Fe₂O₃/FeO arány úgy számolva, hogy teljesüljön: Z + Y = 9 *apfu*.*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

6.4. táblázat: A sukorói murvbánya pegmatitjából származó turmalin (MBFSZ-11149) elektronmikroszondás elemzéseai tömegszázalékban. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	33,77	33,91	33,86	34,14	34,26	34,37	33,36
TiO ₂	0,19	0,25	0,19	0,26	0,24	0,22	0,27
B ₂ O ₃ *	9,77	9,82	9,81	9,85	9,88	9,90	9,79
Al ₂ O ₃	26,02	26,03	26,08	26,14	26,65	26,71	26,12
Fe ₂ O ₃ **	4,00	4,47	4,40	3,41	3,07	2,50	5,17
FeO**	19,16	19,11	19,11	20,02	19,93	20,42	18,49
MgO	0,13	0,10	0,09	0,11	0,10	0,14	0,15
CaO	0,04	0,06	0,00	0,06	0,00	0,13	0,03
MnO	0,67	0,57	0,64	0,61	0,51	0,55	0,66
Na ₂ O	2,67	2,54	2,70	2,68	2,61	2,67	2,65
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,37	3,39	3,39	3,40	3,41	3,42	3,38
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	99,79	100,25	100,27	100,68	100,66	101,03	100,07

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	6,01	6,00	6,00	6,03	6,03	6,03	5,92
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
ΣT	6,01	6,00	6,00	6,03	6,03	6,03	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	5,45	5,43	5,44	5,44	5,53	5,53	5,39
Mg	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Fe ³⁺	0,51	0,54	0,54	0,45	0,41	0,33	0,57
Fe ²⁺	0,00	0,00	0,00	0,08	0,04	0,11	0,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
Fe ³⁺	0,02	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,12
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,10	0,09	0,10	0,09	0,08	0,08	0,10
Fe ²⁺	2,85	2,83	2,83	2,87	2,89	2,89	2,75
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Ca	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01
Na	0,92	0,87	0,93	0,92	0,89	0,91	0,91
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,07	0,12	0,07	0,07	0,11	0,07	0,08
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.** Összes Fe eredetileg FeO-ként mérve. A Fe₂O₃/FeO arány úgy számolva, hogy teljesüljön: Z + Y = 9 *apfu*.*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

6.5. táblázat: A velencei Bence-hegy aplitjából származó turmalin (MBFSZ-5304) elektronmikroszondás elemzéseai tömegszázalékban. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	33,34	33,71	33,25	33,45	33,53	33,62	34,24	33,72	33,76
TiO ₂	0,45	0,41	0,47	0,44	0,21	0,25	0,16	0,30	0,40
B ₂ O ₃ *	9,97	9,94	9,98	10,05	10,02	10,09	9,97	9,90	9,84
Al ₂ O ₃	29,49	29,24	29,26	29,34	29,89	30,06	29,73	28,80	28,59
Fe ₂ O ₃ **	1,97	1,15	3,12	3,08	2,17	2,98	0,68	1,86	0,88
FeO**	18,37	18,85	18,13	18,18	18,58	17,82	18,66	18,49	18,98
MgO	0,31	0,25	0,21	0,30	0,23	0,24	0,21	0,23	0,25
CaO	0,16	0,13	0,12	0,17	0,12	0,14	0,07	0,11	0,14
MnO	0,31	0,37	0,30	0,45	0,03	0,40	0,30	0,40	0,34
Na ₂ O	2,58	2,60	2,50	2,58	2,59	2,43	2,38	2,45	2,49
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,44	3,43	3,44	3,47	3,46	3,48	3,44	3,42	3,40
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	100,38	100,08	100,79	101,50	100,82	101,51	99,85	99,67	99,07

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,81	5,89	5,79	5,79	5,82	5,79	5,97	5,92	5,96
Al	0,19	0,11	0,21	0,21	0,18	0,21	0,03	0,08	0,04
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	5,88	5,92	5,79	5,77	5,93	5,89	6,00	5,88	5,91
Mg	0,08	0,07	0,05	0,08	0,06	0,06	0,00	0,06	0,07
Fe ³⁺	0,04	0,02	0,15	0,15	0,01	0,04	0,00	0,06	0,02
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00
Ti	0,06	0,05	0,06	0,06	0,03	0,03	0,02	0,04	0,05
Fe ³⁺	0,22	0,13	0,25	0,25	0,27	0,34	0,09	0,19	0,09
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
Mn	0,05	0,05	0,04	0,07	0,00	0,06	0,04	0,06	0,05
Fe ²⁺	2,68	2,76	2,64	2,63	2,70	2,57	2,72	2,71	2,80
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Ca	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03
Na	0,87	0,88	0,84	0,87	0,87	0,81	0,80	0,83	0,85
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,10	0,09	0,13	0,10	0,11	0,16	0,18	0,15	0,12
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.** Összes Fe eredetileg FeO-ként mérve. A Fe₂O₃/FeO arányt számolva, hogy teljesüljön: Z + Y = 9 *apfu*.*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

6.6. táblázat: A pákozdi Tompos-hegy aplitjából származó turmalin (V3) elektronmikroszondás elemzéseai tömegszázalékban. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	33,80	34,19	33,96	34,06	34,45	34,29	34,14	34,27	33,95
TiO ₂	0,36	0,42	0,42	0,49	0,58	0,41	0,15	0,11	0,25
B ₂ O ₃ *	9,86	9,94	9,91	9,95	9,97	9,88	9,95	9,92	9,86
Al ₂ O ₃	27,46	27,32	27,60	27,11	27,50	27,03	27,42	27,33	27,52
Fe ₂ O ₃ **	3,15	3,25	2,87	3,72	2,25	2,15	4,02	2,88	2,58
FeO**	18,78	19,24	19,15	19,21	19,79	20,16	18,51	19,36	18,88
MgO	0,07	0,09	0,09	0,09	0,08	0,06	0,08	0,06	0,07
CaO	0,02	0,00	0,04	0,02	0,05	0,01	0,02	0,11	0,04
MnO	0,60	0,54	0,44	0,54	0,52	0,50	0,85	0,76	0,84
Na ₂ O	2,53	2,61	2,56	2,62	2,59	2,55	2,54	2,65	2,62
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,40	3,43	3,42	3,43	3,44	3,41	3,43	3,42	3,40
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	100,04	101,04	100,45	101,24	101,23	100,45	101,12	100,88	100,02

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,96	5,98	5,96	5,95	6,00	6,03	5,96	6,00	5,98
Al	0,04	0,02	0,04	0,05	0,00	0,00	0,04	0,00	0,02
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,03	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	5,66	5,60	5,67	5,54	5,65	5,60	5,60	5,64	5,70
Mg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Fe ³⁺	0,32	0,37	0,31	0,44	0,29	0,28	0,38	0,34	0,28
Fe ²⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,10	0,00	0,00	0,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,05	0,06	0,06	0,06	0,08	0,05	0,02	0,01	0,03
Fe ³⁺	0,10	0,05	0,07	0,05	0,00	0,00	0,15	0,04	0,06
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,09	0,08	0,07	0,08	0,08	0,07	0,13	0,11	0,13
Fe ²⁺	2,77	2,81	2,81	2,81	2,85	2,87	2,70	2,84	2,78
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Ca	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01
Na	0,86	0,88	0,87	0,89	0,88	0,87	0,86	0,90	0,90
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,13	0,12	0,12	0,11	0,12	0,13	0,14	0,08	0,10
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.** Összes Fe eredetileg FeO-ként mérve. A Fe₂O₃/FeO arányt úgy számolva, hogy teljesüljön: Z + Y = 9 *apfu*.*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

6.7. táblázat folytatása.

	9	10	11	12	13	14	15	16
SiO ₂	35,31	35,06	35,17	34,83	35,57	35,43	35,45	35,15
TiO ₂	0,15	0,15	0,16	0,09	0,07	0,00	0,04	0,06
B ₂ O ₃ *	10,32	10,21	10,19	10,14	10,28	10,25	10,29	10,21
Al ₂ O ₃	33,97	31,76	32,02	31,79	33,67	33,68	33,93	33,55
FeO**	10,10	17,57	16,38	17,12	14,76	14,73	15,03	15,28
MgO	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,02	0,00	0,01
CaO	0,07	0,02	0,07	0,07	0,07	0,00	0,04	0,01
MnO	2,30	0,39	0,27	0,23	0,37	0,49	0,41	0,39
Li ₂ O***	0,79	0,12	0,24	0,14	0,21	0,15	0,11	0,07
Na ₂ O	2,55	2,20	2,00	2,04	1,05	1,00	1,00	1,03
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O****	3,28	3,52	3,52	3,50	3,55	3,54	3,55	3,52
O=F	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	99,18	101,01	100,01	99,96	99,61	99,28	99,86	99,29

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,95	5,97	6,00	5,97	6,01	6,01	5,99	5,98
Al	0,05	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,02
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,01	6,01	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,69	0,34	0,44	0,40	0,71	0,73	0,74	0,71
Ti	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
Mg	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
Mn	0,33	0,06	0,04	0,03	0,05	0,07	0,06	0,06
Fe ²⁺	1,42	2,50	2,34	2,46	2,09	2,09	2,12	2,17
Li	0,54	0,08	0,17	0,10	0,14	0,10	0,08	0,05
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Ca	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
Na	0,83	0,73	0,66	0,68	0,34	0,33	0,33	0,34
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,15	0,27	0,33	0,31	0,64	0,67	0,67	0,66
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	3,69	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Összes vas FeO-ként mérve.

*** Li₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: ΣY = 3 *apfu*.**** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

6.8. táblázat: A sukorói murvabánya gránitpegmatitjának miarolitos üregéből származó zöld turmalin (MBFSZ-11133) elektronmikroszondás elemzéseinek tömegszázalékban. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	36,22	37,32	37,00	36,62	37,05	36,56	35,73	37,03
TiO ₂	0,07	0,06	0,03	0,03	0,01	0,08	0,07	0,04
B ₂ O ₃ *	10,64	10,73	10,68	10,60	10,62	10,69	10,52	10,70
Al ₂ O ₃	36,45	36,13	35,91	36,05	35,38	36,89	36,03	36,16
FeO**	8,21	7,29	7,99	7,60	8,01	7,62	8,71	7,51
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
CaO	0,06	0,02	0,08	0,02	0,05	0,01	0,13	0,03
MnO	0,90	0,67	0,73	0,61	0,68	0,44	0,62	0,89
ZnO	0,27	0,31	0,24	0,28	0,28	0,30	0,32	0,29
Li ₂ O***	1,19	1,50	1,36	1,32	1,45	1,28	1,11	1,37
Na ₂ O	2,83	2,81	2,80	2,76	2,72	2,71	2,65	2,83
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,88	1,16	1,13	1,08	0,85	0,79	0,55	0,89
H ₂ O****	3,26	3,15	3,15	3,15	3,26	3,32	3,37	3,27
O=F	0,37	0,49	0,48	0,46	0,36	0,33	0,23	0,37
Összesen	100,60	100,66	100,62	99,67	100,00	100,36	99,60	100,62

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,92	6,04	6,02	6,00	6,06	5,95	5,90	6,02
Al	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,10	0,00
ΣT	6,00	6,04	6,02	6,00	6,06	6,00	6,00	6,02
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,93	0,90	0,89	0,96	0,82	1,02	0,92	0,92
Ti	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,12	0,09	0,10	0,08	0,09	0,06	0,09	0,12
Fe ²⁺	1,12	0,99	1,09	1,04	1,10	1,04	1,20	1,02
Zn	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03
Li	0,78	0,98	0,89	0,87	0,95	0,84	0,74	0,90
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Ca	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01
Na	0,89	0,88	0,88	0,88	0,86	0,86	0,85	0,89
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,09	0,12	0,10	0,12	0,13	0,14	0,13	0,10
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	3,55	3,40	3,42	3,44	3,56	3,60	3,71	3,54
F	0,45	0,60	0,58	0,56	0,44	0,40	0,29	0,46
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 apfu.

** Összes vas FeO-ként mérve.

*** Li₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: ΣY = 3 apfu.

**** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 apfu.

6.9. táblázat: Vizsgált minták a Velencei-hegység kontakpaláiból és kvarcteléreiből.
Szerző saját szerkesztése.

Mintaszám	Lelőhely	Kőzettípus	Elemzési táblázat
MBFSZ-5301	Velence, Bence-hegy	breccsás szövetű kvarctelér	6.10
MBFSZ-5297	Lovasberény, Antónia-hegy	kvarcér	6.11
HOM 18142	Lovasberény, Antónia-hegy	kvarctelér	6.12
HOM 17701	Lovasberény, Antónia-hegy	kvarctelér	6.13
HOM 25922	Lovasberény, Antónia-hegy	kvarctelér	6.14
HOM 23596	Pátka, Varga-hegy	kvarctelér	6.15
HOM 26284	Pátka, Varga-hegy	kontaktpala	6.16
V1	Pátka, Varga-hegy	turmalinszirt kontaktpalában	6.17

6.10. táblázat: A velencei Bence-hegy breccsás szövetű kvarcteléréből származó turmalin (MBFSZ-5301) elektronmikroszondás elemzéseai tömegszázalékban. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	36,69	36,64	36,46	36,86	36,31	35,93	36,31	36,36
TiO ₂	0,39	0,43	0,64	0,31	0,68	0,56	0,37	0,66
B ₂ O ₃ *	10,60	10,47	10,48	10,62	10,44	10,44	10,50	10,47
Al ₂ O ₃	32,53	32,57	31,35	32,91	30,73	31,75	32,04	31,13
FeO**	10,14	14,03	11,77	9,65	12,30	12,02	11,58	12,81
MgO	4,70	1,83	4,29	4,58	4,30	4,06	4,23	3,96
CaO	0,25	0,13	0,19	0,12	0,21	0,18	0,19	0,14
MnO	0,16	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	2,13	1,60	2,01	2,33	2,20	2,08	2,08	2,11
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,66	3,61	3,62	3,66	3,60	3,60	3,62	3,61
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	101,25	101,32	100,80	101,04	100,87	100,62	100,92	101,25

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	6,02	6,08	6,05	6,03	6,05	5,98	6,01	6,04
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
ΣT	6,02	6,08	6,05	6,03	6,05	6,00	6,01	6,04
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,29	0,37	0,13	0,35	0,03	0,21	0,25	0,09
Ti	0,05	0,05	0,08	0,04	0,09	0,07	0,05	0,08
Mg	1,15	0,45	1,06	1,12	1,07	1,01	1,04	0,98
Mn	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	1,39	1,95	1,63	1,32	1,71	1,67	1,60	1,78
ΣY	2,90	2,82	2,90	2,83	2,91	2,96	2,94	2,93
Ca	0,04	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03	0,03	0,02
Na	0,68	0,51	0,65	0,74	0,71	0,67	0,67	0,68
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,28	0,46	0,32	0,24	0,25	0,30	0,30	0,30
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Összes vas FeO-ként mérve.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

6.11. táblázat: A lovasberényi Antónia-hegy kvarcteléréből származó turmalin (MBFSZ-5297) elektronmikroszondás elemzéseai tömegszázalékban. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	35,22	35,50	35,25	34,72	35,23	34,89	35,85	36,00	35,88
TiO ₂	0,20	0,38	0,54	0,75	0,21	0,18	0,41	0,26	0,34
B ₂ O ₃ *	10,56	10,49	10,50	10,26	10,46	10,42	10,40	10,59	10,36
Al ₂ O ₃	35,26	34,29	32,93	30,45	33,87	34,06	33,71	35,39	33,16
Fe ₂ O ₃ **	0,00	0,00	1,00	1,05	1,02	0,72	0,00	0,00	0,00
FeO**	10,09	11,44	10,24	14,14	11,61	13,04	12,21	9,98	11,63
MgO	3,70	2,96	4,58	3,21	2,98	2,25	2,07	2,86	2,51
CaO	0,16	0,07	0,17	0,29	0,07	0,07	0,03	0,10	0,05
MnO	0,00	0,06	0,00	0,00	0,11	0,00	0,02	0,07	0,00
Na ₂ O	1,74	1,64	1,82	2,23	1,44	1,59	1,42	1,55	1,64
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O*	3,64	3,62	3,62	3,54	3,61	3,60	3,59	3,65	3,57
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	100,58	100,45	100,65	100,64	100,62	100,82	99,71	100,45	99,14

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,80	5,88	5,84	5,88	5,85	5,82	5,99	5,91	6,02
Al	0,20	0,12	0,16	0,12	0,15	0,18	0,01	0,09	0,00
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,02
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	5,96	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,63	0,58	0,26	0,00	0,48	0,51	0,63	0,76	0,56
Ti	0,02	0,05	0,07	0,10	0,03	0,02	0,05	0,03	0,04
Fe ³⁺	0,00	0,00	0,12	0,13	0,13	0,09	0,00	0,00	0,00
Mg	0,91	0,73	1,13	0,77	0,74	0,56	0,52	0,70	0,63
Mn	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00
Fe ²⁺	1,39	1,58	1,42	2,00	1,61	1,82	1,71	1,37	1,63
ΣY	2,95	2,95	3,00	3,00	3,00	3,00	2,90	2,87	2,86
Ca	0,03	0,01	0,03	0,05	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Na	0,56	0,53	0,58	0,73	0,46	0,51	0,46	0,49	0,53
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,42	0,46	0,39	0,22	0,52	0,47	0,53	0,49	0,46
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.** Összes Fe eredetileg FeO-ként mérve. A Fe₂O₃/FeO arány úgy számolva, hogy teljesüljön: Z + Y = 9 *apfu*.*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

6.12. táblázat folytatása.

	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SiO ₂	35,68	35,54	35,94	36,23	35,80	36,15	35,85	35,85	36,03
TiO ₂	0,62	0,79	0,34	0,19	0,64	0,84	0,36	0,38	0,35
B ₂ O ₃ *	10,44	10,34	10,54	10,61	10,41	10,44	10,46	10,47	10,50
Al ₂ O ₃	32,91	32,10	34,51	35,22	32,23	31,69	33,49	33,56	33,70
FeO**	9,54	10,50	8,43	7,85	8,44	9,13	9,18	8,74	8,72
MgO	4,34	3,63	4,06	4,04	5,03	4,87	4,01	4,32	4,21
CaO	0,23	0,27	0,26	0,19	0,30	0,34	0,32	0,28	0,24
MnO	0,24	0,16	0,00	0,04	0,16	0,18	0,12	0,00	0,18
Na ₂ O	1,90	2,21	1,89	1,83	2,27	2,21	1,91	2,03	1,95
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,60	3,57	3,64	3,66	3,59	3,60	3,61	3,61	3,62
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	99,51	99,11	99,61	99,86	98,87	99,45	99,30	99,25	99,50

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,94	5,97	5,92	5,93	5,98	6,02	5,96	5,95	5,96
Al	0,06	0,03	0,08	0,07	0,02	0,00	0,04	0,05	0,04
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,02	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,39	0,33	0,63	0,73	0,32	0,22	0,52	0,51	0,54
Ti	0,08	0,10	0,04	0,02	0,08	0,11	0,04	0,05	0,04
Mg	1,08	0,91	1,00	0,99	1,25	1,21	0,99	1,07	1,04
Mn	0,03	0,02	0,00	0,01	0,02	0,03	0,02	0,00	0,03
Fe ²⁺	1,33	1,48	1,16	1,08	1,18	1,27	1,28	1,21	1,21
ΣY	2,91	2,84	2,83	2,82	2,85	2,83	2,85	2,84	2,85
Ca	0,04	0,05	0,05	0,03	0,05	0,06	0,06	0,05	0,04
Na	0,61	0,72	0,60	0,58	0,73	0,71	0,62	0,65	0,63
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,35	0,23	0,35	0,39	0,21	0,23	0,33	0,30	0,33
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Összes vas FeO-ként mérve.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

6.13. táblázat folytatása.

	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SiO ₂	36,11	36,15	36,57	36,02	36,15	35,85	36,18	36,47	36,12
TiO ₂	0,16	0,22	0,24	0,31	0,36	0,21	0,36	0,30	0,66
B ₂ O ₃ *	10,65	10,67	10,68	10,62	10,69	10,65	10,50	10,49	10,48
Al ₂ O ₃	35,71	35,60	35,86	34,76	35,39	35,87	34,41	34,47	32,81
FeO**	8,22	7,32	7,69	8,06	7,36	7,56	10,34	9,53	9,74
MgO	3,88	4,58	3,74	4,58	4,75	4,30	2,75	2,70	4,13
CaO	0,19	0,26	0,18	0,23	0,34	0,22	0,08	0,07	0,25
MnO	0,07	0,00	0,02	0,03	0,03	0,05	0,00	0,06	0,02
Na ₂ O	1,66	1,63	1,42	1,91	1,72	1,73	1,43	1,41	2,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,67	3,68	3,68	3,66	3,69	3,67	3,62	3,62	3,62
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	100,33	100,11	100,10	100,18	100,47	100,12	99,67	99,12	99,85

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,89	5,89	5,95	5,90	5,88	5,85	5,99	6,04	5,99
Al	0,11	0,11	0,05	0,10	0,12	0,15	0,01	0,00	0,01
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,04	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,76	0,73	0,83	0,60	0,66	0,75	0,71	0,73	0,40
Ti	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,08
Mg	0,94	1,11	0,91	1,12	1,15	1,05	0,68	0,67	1,02
Mn	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Fe ²⁺	1,12	1,00	1,05	1,10	1,00	1,03	1,43	1,32	1,35
ΣY	2,86	2,86	2,82	2,87	2,86	2,86	2,86	2,77	2,86
Ca	0,03	0,05	0,03	0,04	0,06	0,04	0,01	0,01	0,05
Na	0,52	0,51	0,45	0,61	0,54	0,55	0,46	0,45	0,64
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,44	0,44	0,52	0,35	0,40	0,41	0,52	0,53	0,31
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Összes vas FeO-ként mérve.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

6.14. táblázat folytatása.

	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	35,40	35,75	35,65	35,52	35,60	35,80
TiO ₂	0,81	0,78	0,68	0,78	0,25	0,21
B ₂ O ₃ *	10,39	10,47	10,45	10,45	10,59	10,67
Al ₂ O ₃	31,92	32,47	32,49	32,14	35,32	35,83
FeO**	10,44	9,50	9,94	10,62	10,39	9,04
MgO	4,61	4,70	4,70	4,67	3,21	3,84
CaO	0,45	0,56	0,35	0,36	0,26	0,29
MnO	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00	0,07
Na ₂ O	1,95	1,94	1,94	2,09	1,63	1,56
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,58	3,61	3,61	3,61	3,66	3,68
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	99,55	99,82	99,81	100,24	100,91	100,99

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,92	5,94	5,93	5,91	5,84	5,83
Al	0,08	0,06	0,07	0,09	0,16	0,17
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,22	0,29	0,30	0,21	0,67	0,71
Ti	0,10	0,10	0,09	0,10	0,03	0,03
Mg	1,15	1,16	1,17	1,16	0,79	0,93
Mn	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Fe ²⁺	1,46	1,32	1,38	1,48	1,43	1,23
ΣY	2,93	2,88	2,93	2,94	2,91	2,91
Ca	0,08	0,10	0,06	0,06	0,05	0,05
Na	0,63	0,62	0,63	0,67	0,52	0,49
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,29	0,28	0,31	0,26	0,44	0,46
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Összes vas FeO-ként mérve.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

6.15. táblázat folytatása.

	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂	35,34	34,77	35,40	35,50	34,83	35,62	35,31
TiO ₂	0,37	0,43	0,23	0,20	0,13	0,10	0,09
B ₂ O ₃ *	10,47	10,42	10,56	10,69	10,43	10,48	10,44
Al ₂ O ₃	34,00	33,98	34,90	35,92	35,24	34,06	33,45
FeO**	8,29	10,57	9,36	8,22	9,09	9,97	10,90
MgO	4,77	3,76	4,10	4,49	3,62	4,19	4,13
CaO	0,26	0,36	0,20	0,20	0,20	0,08	0,10
MnO	0,02	0,00	0,08	0,16	0,00	0,00	0,10
Na ₂ O	2,00	1,83	1,79	2,00	1,78	1,53	1,84
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,61	3,59	3,64	3,69	3,60	3,62	3,60
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	99,14	99,71	100,26	101,07	98,92	99,65	99,96

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,87	5,80	5,83	5,77	5,80	5,91	5,88
Al	0,13	0,20	0,17	0,23	0,20	0,09	0,12
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,52	0,48	0,60	0,66	0,72	0,56	0,44
Ti	0,05	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
Mg	1,18	0,94	1,01	1,09	0,90	1,04	1,03
Mn	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01
Fe ²⁺	1,15	1,47	1,29	1,12	1,27	1,38	1,52
ΣY	2,90	2,94	2,94	2,91	2,90	2,99	3,01
Ca	0,05	0,06	0,04	0,03	0,04	0,01	0,02
Na	0,64	0,59	0,57	0,63	0,57	0,49	0,59
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,31	0,34	0,39	0,33	0,39	0,49	0,39
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Összes vas FeO-ként mérve.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

6.16. táblázat folytatása.

	9	10	11	12	13	14	15	16
SiO ₂	35,77	35,89	35,47	35,97	35,58	35,50	35,29	35,60
TiO ₂	0,56	0,71	0,90	0,39	0,46	0,77	0,83	0,50
B ₂ O ₃ *	10,60	10,58	10,54	10,58	10,53	10,47	10,40	10,54
Al ₂ O ₃	34,71	34,55	33,93	34,63	34,99	34,04	33,83	34,86
FeO**	8,70	7,92	7,93	6,87	8,76	8,18	10,85	7,72
MgO	4,18	4,33	5,01	4,94	3,64	4,18	2,68	4,35
CaO	0,32	0,33	0,41	0,36	0,37	0,39	0,32	0,37
MnO	0,09	0,04	0,02	0,12	0,00	0,00	0,07	0,05
Na ₂ O	1,77	1,85	1,86	1,79	1,61	1,83	1,54	1,74
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,66	3,65	3,64	3,65	3,63	3,61	3,59	3,64
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	100,35	99,85	99,71	99,29	99,57	98,97	99,40	99,37

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,87	5,89	5,85	5,91	5,87	5,89	5,90	5,87
Al	0,13	0,11	0,15	0,09	0,13	0,11	0,10	0,13
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,58	0,58	0,44	0,62	0,68	0,55	0,56	0,64
Ti	0,07	0,09	0,11	0,05	0,06	0,10	0,10	0,06
Mg	1,02	1,06	1,23	1,21	0,90	1,03	0,67	1,07
Mn	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01
Fe ²⁺	1,19	1,09	1,09	0,94	1,21	1,14	1,52	1,06
ΣY	2,87	2,82	2,88	2,84	2,84	2,82	2,86	2,84
Ca	0,06	0,06	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07
Na	0,56	0,59	0,59	0,57	0,52	0,59	0,50	0,56
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,38	0,35	0,33	0,37	0,42	0,34	0,44	0,38
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Összes vas FeO-ként mérve.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

6.17. táblázat: A pátkai Varga-hegy turmalinszirtjéből származó turmalin (V1) elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	35,65	35,61	35,07	35,59	35,63	35,08	35,74	35,75	35,84	34,95
TiO ₂	0,28	0,25	0,84	0,74	0,26	0,22	0,38	0,25	0,35	0,77
B ₂ O ₃ *	10,50	10,55	10,39	10,41	10,53	10,50	10,50	10,49	10,51	10,37
Al ₂ O ₃	34,16	35,06	32,44	31,84	34,63	34,80	33,31	34,52	33,56	31,60
FeO**	9,89	8,65	10,90	9,56	9,48	9,91	8,64	8,88	10,50	10,16
MgO	3,76	4,09	4,30	5,16	3,80	3,92	5,13	3,92	4,00	5,51
CaO	0,16	0,21	0,44	0,41	0,19	0,19	0,25	0,19	0,15	0,47
MnO	0,10	0,00	0,00	0,08	0,18	0,05	0,05	0,02	0,16	0,05
Na ₂ O	1,79	1,67	1,83	1,99	1,63	1,65	1,99	1,49	1,69	2,09
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,62	3,64	3,59	3,59	3,63	3,62	3,62	3,62	3,63	3,58
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	99,91	99,73	99,80	99,37	99,96	99,94	99,62	99,13	100,39	99,55

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,90	5,87	5,86	5,94	5,88	5,81	5,91	5,92	5,92	5,86
Al	0,10	0,13	0,14	0,06	0,12	0,19	0,09	0,08	0,08	0,14
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,57	0,67	0,26	0,21	0,62	0,60	0,41	0,67	0,46	0,10
Ti	0,03	0,03	0,11	0,09	0,03	0,03	0,05	0,03	0,04	0,10
Mg	0,93	1,00	1,07	1,28	0,94	0,97	1,27	0,97	0,99	1,38
Mn	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01
Fe ²⁺	1,37	1,19	1,52	1,34	1,31	1,37	1,20	1,23	1,45	1,42
ΣY	2,91	2,90	2,96	2,93	2,92	2,97	2,93	2,90	2,97	3,00
Ca	0,03	0,04	0,08	0,07	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,08
Na	0,57	0,53	0,59	0,64	0,52	0,53	0,64	0,48	0,54	0,68
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,40	0,43	0,33	0,28	0,44	0,44	0,32	0,49	0,43	0,24
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Összes vas FeO-ként mérve.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

7. A Bükk turmalinjai

7.1. táblázat: A felsőháromi Puskaporos epidotjának elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5
SiO ₂	37,52	38,04	37,36	36,76	37,37
TiO ₂	0,06	0,05	0,11	0,07	0,40
Al ₂ O ₃	24,00	23,97	22,47	24,20	22,44
Fe ₂ O ₃ *	11,89	12,70	14,10	11,45	14,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	23,46	22,93	23,18	24,69	23,27
MnO	0,21	0,29	0,07	0,11	0,12
Na ₂ O	0,02	0,00	0,04	0,00	0,02
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O**	1,87	1,89	1,87	1,87	1,87
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	99,03	99,87	99,20	99,15	99,49

Ionszámok 13 (O, OH, F) anionra

Si	3,00	3,02	3,00	2,95	3,00
Ti	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02
Al	2,26	2,24	2,13	2,29	2,12
Fe ³⁺	0,72	0,76	0,85	0,69	0,84
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	2,01	1,95	2,00	2,12	2,00
Mn	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01
Na	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OH	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

* Összes vas Fe₂O₃-ként mérve.

** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 1 *apfu*.

7.2. táblázat: A felsőháromi Puskaaporos kloritjának elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3
SiO ₂	26,78	26,24	26,69
TiO ₂	0,00	0,04	0,00
Al ₂ O ₃	20,90	21,06	21,58
FeO*	25,34	26,53	25,49
MnO	0,57	0,56	0,54
MgO	13,85	13,38	14,03
CaO	0,13	0,04	0,00
Na ₂ O	0,05	0,01	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00
H ₂ O**	11,40	11,34	11,50
Összesen	99,02	99,21	99,84

Ionszámok 18 (O, OH, F) anionra

Si	2,82	2,77	2,78
Al	1,18	1,23	1,22
ΣT	4,00	4,00	4,00
Al	1,41	1,40	1,44
Ti	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	2,23	2,35	2,22
Mn	0,05	0,05	0,05
Mg	2,17	2,11	2,18
Ca	0,02	0,00	0,00
Na	0,01	0,00	0,00
K	0,00	0,00	0,00
ΣM	5,89	5,91	5,89
OH	8,00	8,00	8,00
F	0,00	0,00	0,00

* Összes vas FeO-ként mérve.

** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 8 *apfu*.

7.3. táblázat: A felsőháromi Puskaporos plagioklászának elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	68,50	69,03	68,12	68,83	68,79	67,65
TiO ₂	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04
Al ₂ O ₃	19,62	19,52	19,65	19,37	19,96	19,88
FeO*	0,06	0,12	0,00	0,07	0,06	0,11
MnO	0,00	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00
MgO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
CaO	0,68	0,55	0,59	0,17	0,55	0,80
Na ₂ O	10,47	10,65	10,45	10,85	10,68	10,64
K ₂ O	0,01	0,02	0,06	0,00	0,01	0,00
Összesen	99,34	99,95	98,94	99,29	100,06	99,13

Kationszámok 8 oxigénre

Si	3,00	3,01	3,00	3,01	2,99	2,98
Al	1,01	1,00	1,02	1,00	1,02	1,03
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,03	0,03	0,03	0,01	0,03	0,04
Na	0,89	0,90	0,89	0,92	0,90	0,91
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

A földpátmolekulák részaránya (mol%)

Or	0,1	0,1	0,4	0,0	0,1	0,0
Ab	96,5	97,1	96,6	99,1	97,2	96,0
An	3,5	2,8	3,0	0,9	2,8	4,0

* Összes vas FeO-ként mérve.

7.4. táblázat: A felsőháromi Puskaporos turmalinjának energiadiszperzív spektrométeres elemzése tömegszázalékban. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	36,61	36,61	36,48	36,54	36,35	36,55	36,31
TiO ₂	0,04	0,05	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03
B ₂ O ₃ *	10,62	10,61	10,63	10,62	10,61	10,62	10,61
Al ₂ O ₃	33,11	32,93	33,30	33,11	33,24	33,10	33,31
FeO**	6,80	6,84	6,57	6,81	6,86	6,61	6,81
MgO	6,49	6,52	6,60	6,53	6,48	6,59	6,53
CaO	0,15	0,23	0,13	0,15	0,20	0,17	0,13
MnO	0,03	0,00	0,00	0,03	0,04	0,00	0,04
Na ₂ O	2,42	2,49	2,57	2,48	2,44	2,60	2,53
K ₂ O	0,03	0,03	0,05	0,03	0,04	0,08	0,00
F	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
H ₂ O***	3,66	3,66	3,67	3,66	3,66	3,66	3,66
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	99,97	99,97	99,99	99,97	99,95	99,97	99,96

Ionszámok 31 (O, OH) anionra

Si	5,99	5,99	5,97	5,98	5,96	5,98	5,95
Al	0,01	0,01	0,03	0,02	0,04	0,02	0,05
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,38	0,35	0,38	0,37	0,37	0,37	0,37
Ti	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	1,58	1,59	1,61	1,59	1,58	1,61	1,59
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
Fe ²⁺	0,93	0,94	0,90	0,93	0,94	0,90	0,93
ΣY	2,90	2,88	2,89	2,90	2,91	2,88	2,91
Ca	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02
Na	0,77	0,79	0,82	0,79	0,78	0,82	0,80
K	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00
□	0,20	0,17	0,15	0,18	0,18	0,13	0,17
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Összes vas FeO-ként mérve.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH = 4 *apfu*.

7.5. táblázat: A felsőháromi Puskaporos turmalinjának röntgen-pordiffrakciós adatai, összehasonlítva az ICDD 00-085-1814 kártya adataival. Szerző saját szerkesztése.

Miskolc-Hámor, Puskaporos			Bronson Station, Ontario (Kanada) ICDD 00-085-1814 (drávit)				
$d_{\text{mért}}$ (Å)	$d_{\text{szám.}}$ (Å)	$I_{\text{rel.}}$ (%)	d (Å)	$I_{\text{rel.}}$ (%)	h	k	l
6,40	6,389	100	6,394	35	1	0	1
4,99	4,990	35	4,993	21	0	2	1
4,62	4,612	22	4,613	20	3	0	0
4,24	4,232	79	4,234	63	2	1	1
4,00	3,994	97	3,995	70	2	2	0
3,484	3,485	58	3,489	49	0	1	2
3,364	3,387	14	3,388	9	1	3	1
3,110	3,118	3	3,119	2	4	0	1
3,019	3,020	11	3,020	13	4	1	0
2,965	2,966	53	2,968	71	1	2	2
2,905	2,905	6	2,906	9	3	2	1
2,584	2,583	70	2,584	100	0	5	1
2,499	2,495	2	2,496	3	0	4	2
2,457	2,458	3	2,459	3	2	4	1
2,395	2,401	9	2,403	8	0	0	3
2,377	2,381	9	2,383	13	2	3	2
2,349	2,349	11	2,350	16	5	1	1
2,194	2,194	8	2,195	12	5	0	2
2,168	2,169	8	2,170	11	4	3	1
2,125	2,130	10	2,131	11	3	0	3
2,046	2,046	27	2,046	39	1	5	2
2,000	1,997	2	1,998	4	4	4	0
1,922	1,923	15	1,924	27	3	4	2
1,906	1,906	3	1,907	2	7	0	1
1,877	1,879	4	1,881	6	1	4	3
1,852	1,854	4	1,855	7	6	2	1
1,822	1,821	1	1,821	1	6	1	2
1,782	1,783	3	1,784	4	3	3	3
1,663	1,663	10	1,664	18	0	6	3
1,647	1,646	8	1,646	12	2	7	1
1,598	1,597	11	1,598	19	4	0	4
1,548	1,550	2	1,550	3	4	6	1
1,534	1,530	3	1,531	5	7	2	2
1,509	1,509	7	1,510	16	0	5	4
1,478	1,477	1	1,478	2	1	8	2
1,461	1,458	4	1,459	15	5	1	4
1,455	1,452	8	1,453	6	6	4	2
1,434	1,435	4	1,435	7	7	4	0
1,423	1,422	5	1,422	7	6	5	1
1,412	1,412	7	1,413	10	4	3	4
1,359	1,359	4	1,359	9	10	0	1
1,345	1,346	1	1,346	3	5	6	2
1,330	1,330	5	1,331	8	0	4	5
1,314	1,313	5	1,314	10	10	1	0
1,280	1,278	4	1,279	13	5	0	5
1,276	1,275	4	1,275	7	2	9	2
1,240	1,239	2	1,239	3	0	11	1
1,233	1,232	1	1,232	2	7	4	3

7.6. táblázat folytatása.

	6	7	8	9	10	12	16	17	18
SiO ₂	36,49	36,52	36,23	36,12	36,38	36,25	36,31	36,22	36,61
TiO ₂	0,02	0,00	0,05	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	0,01
B ₂ O ₃ *	9,92	9,92	9,92	9,92	9,92	9,92	9,92	9,92	9,92
Al ₂ O ₃	33,66	33,67	33,38	33,05	33,20	32,85	33,62	33,78	33,43
FeO**	12,02	12,43	12,93	12,51	12,54	13,03	12,53	12,75	12,08
MgO	3,19	3,12	2,79	2,78	3,04	2,83	3,02	2,97	2,94
CaO	0,12	0,06	0,05	0,07	0,09	0,05	0,10	0,08	0,05
MnO	0,17	0,28	0,20	0,28	0,32	0,23	0,31	0,23	0,25
Na ₂ O	1,59	1,47	1,88	1,71	1,57	1,81	1,31	1,35	1,68
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,07	0,02	0,00	0,02
H ₂ O***	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,01
Összesen	100,57	100,86	100,82	99,88	100,45	100,49	100,53	100,71	100,38

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,99	5,99	5,98	6,01	6,01	6,01	5,98	5,96	6,03
Al	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,00
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,01	6,01	6,01	6,00	6,00	6,03
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,51	0,50	0,46	0,48	0,46	0,42	0,51	0,52	0,49
Ti	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Mg	0,78	0,76	0,69	0,69	0,75	0,70	0,74	0,73	0,72
Mn	0,02	0,04	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,03	0,04
Fe ²⁺	1,65	1,71	1,78	1,74	1,73	1,81	1,73	1,76	1,66
ΣY	2,97	3,01	2,97	2,95	2,99	2,96	3,03	3,03	2,91
Ca	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
Na	0,51	0,47	0,60	0,55	0,50	0,58	0,42	0,43	0,54
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,47	0,52	0,39	0,44	0,48	0,41	0,56	0,56	0,46
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,96	3,99	4,00	3,99
F	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,01	0,00	0,01
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Összes vas FeO-ként mérve.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

7.7. táblázat: A bükkisztáslói rostos turmalin röntgen-pordiffrakciós adatai, összehasonlítva az ICDD 00-043-1464 kártya (sörl) megfelelő reflexióival. Szerző saját szerkesztése.

Bükkisztásló Hideg-víz		St. Andreasberg (Németország) ICDD 00-043-1464 (sörl)				
<i>d</i> (Å)	<i>I</i> _{rel.} (%)	<i>d</i> (Å)	<i>I</i> _{rel.} (%)	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>
6,411	24	6,369	49	1	0	1
4,992	9	4,982	19	0	2	1
4,615	21	4,616	17	0	3	0
4,242	21	4,228	54	2	1	1
3,997	100	3,998	70	2	2	0
3,500	24	3,472	50	0	1	2
3,387	4	3,386	5	1	3	1
3,023	10	3,022	9	1	4	0
2,976	25	2,959	52	1	2	2
2,909	4	2,905	8	3	2	1
2,633	3	2,621	4	3	1	2
2,587	52	2,584	100	0	5	1
2,505	2	2,491	3	0	4	2
2,459	2	2,459	4	2	4	1
2,387	6	2,391	6	0	0	3
2,353	6	2,350	14	5	1	1
2,203	4	2,192	13	5	0	2
2,173	5	2,170	21	4	3	1
2,127	3	2,123	8	0	3	3
2,117	3	2,114	6	4	2	2
2,059	5	2,052	14	2	2	3
2,050	14	2,044	37	1	5	2
2,028	5	2,026	8	1	6	1
2,000	4	1,999	3	4	4	0
1,926	8	1,922	20	3	4	2
1,887	3	1,875	6	1	4	3
1,855	3	1,855	6	6	2	1
1,669	6	1,661	15	0	6	3
1,649	5	1,647	10	2	7	1
1,600	11	1,599	12	5	5	0
1,552	2	1,551	4	4	6	1
1,539	3	1,539	3	0	9	0
1,532	2	1,530	2	7	2	2
1,515	6	1,511	5	2	8	0
1,438	4	1,436	4	4	7	0
1,425	3	1,423	4	1	9	1
1,361	4	1,360	8	10	0	1

7.8. táblázat: A bükkzentlászói turmalinos breccsák földpátjainak elektron-mikroszondás elemzéseit tömegszázalékban. 1–3 = káliföldpát-I; 4–6 = káliföldpát-IIa; 7–9 = káliföldpát-IIb; 10–12 = káliföldpát-III; 13–15 = albit. Szerző saját szerkesztése.

	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	64,42	64,11	64,07	64,71	64,23	63,99	64,71	64,74
Al ₂ O ₃	18,84	18,42	18,63	18,87	18,84	18,48	19,24	19,02
FeO*	0,00	0,00	0,03	0,21	0,44	0,33	0,00	0,29
MgO	0,00	0,00	0,05	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
CaO	0,11	0,06	0,07	0,09	0,08	0,09	0,04	0,07
Na ₂ O	0,44	0,20	0,19	0,07	0,33	0,23	0,17	0,26
K ₂ O	15,96	16,48	16,07	15,94	16,23	16,43	15,86	15,73
Összesen	99,76	99,27	99,10	99,89	100,17	99,54	100,02	100,11

Kationszámok 8 oxigénre

Si	2,98	2,99	2,99	2,99	2,97	2,98	2,98	2,98
Al	1,03	1,01	1,02	1,03	1,03	1,02	1,04	1,03
Fe	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,04	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02
K	0,94	0,98	0,96	0,94	0,96	0,98	0,93	0,92
Σkation	5,00	5,00	4,99	4,98	5,01	5,01	4,97	4,96

A földpát szélsőtag-komponensek részaránya (%)

Or	95,5	97,9	97,9	98,9	96,6	97,5	98,2	97,2
Ab	4,0	1,8	1,8	0,6	3,0	2,1	1,6	2,4
An	0,5	0,3	0,3	0,5	0,4	0,4	0,2	0,4

7.8. táblázat folytatása.

	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂	65,36	64,45	64,40	64,41	69,08	69,29	69,47
Al ₂ O ₃	18,99	18,60	18,82	18,74	20,15	20,33	20,36
FeO*	0,14	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,13
MgO	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,07	0,07	0,07	0,07	0,14	0,13	0,15
Na ₂ O	0,33	0,16	0,33	0,14	10,01	10,62	10,55
K ₂ O	16,08	15,95	15,80	15,79	0,13	0,26	0,07
Összesen	100,96	99,25	99,42	99,16	99,53	100,63	100,72

Kationszámok 8 oxigénre

Si	2,99	2,99	2,99	2,99	3,01	2,99	3,00
Al	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04
Fe	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
Na	0,03	0,01	0,03	0,01	0,85	0,89	0,88
K	0,94	0,95	0,93	0,94	0,01	0,01	0,00
Σkation	4,99	4,97	4,98	4,97	4,91	4,94	4,94

A földpát szélsótag-komponensek részaránya (%)

Or	96,6	98,1	96,6	98,3	0,8	1,6	0,4
Ab	3,0	1,5	3,1	1,3	98,4	97,8	98,8
An	0,4	0,4	0,3	0,4	0,8	0,6	0,8

* Összes vas FeO-ként mérve.

7.9. táblázat folytatása.

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂	36,42	36,53	36,37	36,66	36,65	36,31	36,40	36,16	36,75	36,20
TiO ₂	0,32	0,16	0,28	0,40	0,24	0,26	0,24	0,27	0,24	0,29
B ₂ O ₃ *	9,92	9,92	9,92	9,92	9,92	9,92	9,92	9,92	9,92	9,92
Al ₂ O ₃	31,10	31,15	31,16	31,59	31,21	30,85	31,23	31,49	30,86	31,16
FeO**	12,92	13,04	13,45	13,15	12,53	12,44	12,11	13,34	12,07	12,66
MgO	3,75	3,60	3,92	3,90	3,70	3,95	3,83	3,60	3,74	3,96
CaO	0,22	0,20	0,28	0,20	0,22	0,22	0,18	0,23	0,18	0,15
MnO	0,00	0,06	0,10	0,00	0,19	0,00	0,07	0,00	0,15	0,03
Na ₂ O	2,06	2,04	2,17	2,27	2,16	2,28	2,30	2,17	2,13	2,26
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,04	0,01
H ₂ O***	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40
Összesen	100,11	100,09	101,10	101,49	100,21	99,70	99,68	100,57	99,49	100,03

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	6,07	6,09	6,03	6,03	6,10	6,08	6,08	6,02	6,15	6,04
ΣT	6,07	6,09	6,03	6,03	6,10	6,08	6,08	6,02	6,15	6,04
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,11	0,12	0,09	0,12	0,12	0,09	0,15	0,17	0,08	0,13
Ti	0,04	0,02	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
Mg	0,93	0,90	0,97	0,96	0,92	0,99	0,95	0,89	0,93	0,99
Mn	0,00	0,01	0,01	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00
Fe ²⁺	1,80	1,82	1,86	1,81	1,74	1,74	1,69	1,86	1,69	1,77
ΣY	2,89	2,87	2,97	2,94	2,83	2,85	2,83	2,96	2,76	2,92
Ca	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03
Na	0,67	0,66	0,70	0,72	0,70	0,74	0,75	0,70	0,69	0,73
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,30	0,31	0,25	0,24	0,26	0,22	0,22	0,26	0,28	0,24
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	3,97	4,00	4,00	3,97	4,00	4,00	3,98	4,00
F	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00
Σ(V+W)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

7.10. táblázat: A bükkisztászlói turmalin kötőanyagú breccsáról készült röntgen-pordiffrakciós felvétel adatai, összehasonlítva az ICDD 00-046-1045 (kvarc), 00-043-1464 (sörl) és 00-007-0042 (muszkovit) kártyák megfelelő reflexióival. Szerző saját szerkesztése.

Vizsgált minta		Kvarc ICDD 00-046-1045			Sörl ICDD 00-043-1464			Muszkovit ICDD 00-007-0042		
<i>d</i> (Å)	<i>I</i> _{rel} (%)	<i>d</i> (Å)	<i>I</i> _{rel} (%)	<i>hkl</i>	<i>d</i> (Å)	<i>I</i> _{rel} (%)	<i>hkl</i>	<i>d</i> (Å)	<i>I</i> _{rel} (%)	<i>hkl</i>
9,95	5							9,97	100	003
6,39	5				6,369	49	101			
4,99	2				4,982	19	021	4,99	55	006
4,62	2				4,616	17	030			
4,25	22	4,25499	16	100	4,228	54	211			
3,994	8				3,998	70	220			
3,475	4				3,472	50	012			
3,343	100	3,34347	100	101				3,331	100	009
3,004	2				3,022	9	140			
2,954	2				2,959	52	122			
2,906	1				2,905	8	321	2,884	16	108
2,584	11				2,584	100	051	2,589	16	111
2,565	2							2,564	25	112
2,457	7	2,45687	9	110	2,459	4	241	2,457	8	114
2,281	4	2,28149	8	102						
2,236	2	2,23613	4	111				2,222	4	117
2,130	5							2,136	12	118
2,128	5	2,12771	6	200	2,123	8	033			
2,052	2				2,052	14	223	2,056	4	206
2,043	2				2,044	37	152			
1,980	3	1,97986	4	201						
1,921	2				1,922	20	342			
1,819	10	1,81796	13	112	1,820	2	612			
1,672	3	1,67173	4	202						
1,660	2	1,65919	2	103	1,661	15	063	1,654	10	1.1.14
1,599	2				1,599	12	550			
1,597	1				1,592	5	404			
1,543	7	1,54153	9	211	1,539	3	090			
1,453	2	1,45289	2	113	1,455	16	173			
1,383	4	1,38210	6	212	1,380	1	381			
1,375	5	1,37496	7	203						

8.1. táblázat folytatása.

	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SiO ₂	36,48	36,00	36,76	36,23	36,47	36,00	35,15	35,54	34,78
TiO ₂	0,09	0,04	0,11	0,09	0,09	0,10	0,13	0,10	0,09
B ₂ O ₃ *	10,77	10,60	10,85	10,67	10,81	10,78	10,64	10,73	10,66
Al ₂ O ₃	36,83	35,95	37,20	36,28	36,95	36,96	36,56	37,43	37,26
MgO	4,64	4,77	4,76	4,92	5,15	5,70	6,35	5,85	6,38
CaO	0,49	0,48	0,50	0,60	0,60	0,79	1,01	0,99	1,05
MnO	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
FeO**	6,50	6,06	5,91	5,62	5,56	4,98	3,92	3,63	3,52
Na ₂ O	0,78	1,10	1,01	0,95	1,11	1,04	1,12	1,02	1,17
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,72	3,66	3,74	3,68	3,73	3,72	3,67	3,70	3,68
-O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	100,30	98,65	100,85	99,07	100,49	100,07	98,57	98,99	98,60

Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra

Si	5,89	5,91	5,89	5,90	5,86	5,80	5,74	5,76	5,67
Al	0,11	0,09	0,11	0,10	0,14	0,20	0,26	0,24	0,33
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Ti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Al	0,89	0,85	0,91	0,87	0,86	0,82	0,78	0,91	0,83
Mg	1,12	1,17	1,14	1,20	1,23	1,37	1,55	1,41	1,55
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	0,88	0,83	0,79	0,77	0,75	0,67	0,54	0,49	0,48
ΣY	2,90	2,86	2,85	2,85	2,85	2,87	2,89	2,82	2,87
Ca	0,09	0,08	0,09	0,11	0,10	0,14	0,18	0,17	0,18
Na	0,24	0,35	0,31	0,30	0,35	0,32	0,35	0,32	0,37
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,67	0,57	0,60	0,59	0,55	0,54	0,47	0,51	0,45
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣV+W	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + F = 4 *apfu*.

8.2. táblázat folytatása.

	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SiO ₂	36,48	36,00	36,76	36,23	36,47	36,00	35,15	35,54	34,78
TiO ₂	0,09	0,04	0,11	0,09	0,09	0,10	0,13	0,10	0,09
B ₂ O ₃ *	10,70	10,50	10,74	10,56	10,71	10,69	10,55	10,60	10,57
Al ₂ O ₃	36,83	35,95	37,20	36,28	36,95	36,96	36,56	37,43	37,26
MgO	4,64	4,77	4,76	4,92	5,15	5,70	6,35	5,85	6,38
CaO	0,49	0,48	0,50	0,60	0,60	0,79	1,01	0,99	1,05
MnO	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
FeO**	6,50	6,06	5,91	5,62	5,56	4,98	3,92	3,63	3,52
Na ₂ O	0,78	1,10	1,01	0,95	1,11	1,04	1,12	1,02	1,17
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O***	3,07	3,11	3,15	3,10	3,19	3,20	3,22	3,20	3,24
-O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	99,58	98,01	100,15	98,38	99,84	99,46	98,02	98,36	98,07

Ionszámok 15 (Y + Z + T) kationra

Si	5,93	5,96	5,95	5,96	5,92	5,85	5,79	5,83	5,72
Al	0,07	0,04	0,05	0,04	0,08	0,15	0,21	0,17	0,28
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Ti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Al	0,98	0,98	1,04	1,00	0,99	0,93	0,88	1,06	0,94
Mg	1,12	1,18	1,15	1,21	1,25	1,38	1,56	1,43	1,56
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	0,88	0,84	0,80	0,77	0,76	0,68	0,54	0,50	0,48
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Ca	0,09	0,09	0,09	0,11	0,10	0,14	0,18	0,17	0,19
Na	0,25	0,35	0,32	0,30	0,35	0,33	0,36	0,32	0,37
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,67	0,56	0,60	0,59	0,55	0,54	0,46	0,50	0,44
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OH	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣV	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	0,33	0,44	0,40	0,41	0,45	0,47	0,54	0,50	0,56
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
O	0,67	0,56	0,60	0,59	0,55	0,54	0,46	0,50	0,44
ΣW	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

* B₂O₃ a sztöchiometrikus összetételből számolva: B = 3 *apfu*.

** Az összes vasat FeO-ként vettük figyelembe.

*** H₂O a sztöchiometrikus összetételből számolva: OH + O + F = 4 *apfu*.

8.3. táblázat: A nagybörzsönyi magneziofoitit(-foitit) röntgen-pordiffrakciós adatai. Szerző saját szerkesztése.

Turmalin Nagybörzsöny		Magneziofoitit Kyonosawa, Japán (Hawthorne <i>et al.</i> , 1999)		<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>
<i>d</i> (Å)	Int. (%)	<i>d</i> (Å)	Int. (%)			
6,39	67	6,366	60	1	0	1
4,98	41	4,984	30	0	2	1
4,60	23	4,602	10	3	0	0
4,22	75	4,211	90	2	1	1
3,982	100	3,969	100	2	2	0
3,474	48	3,470	60	0	1	2
3,375	11	3,374	10	1	3	1
3,101	5			4	0	1
3,005	11			4	1	0
2,956	51	2,949	70	1	2	2
2,892	8			3	2	1
2,573	65	2,567	100	0	5	1
2,476	2			0	4	2
2,451	2			2	4	1
2,390	8			0	0	3
2,369	11			2	3	2
2,339	13	2,341	20	5	1	1
2,295	2			1	1	3
2,184	7			5	0	2
2,158	6			4	3	1
2,119	6			3	0	3
2,103	4			4	2	2
2,036	26	2,037	50	1	5	2
2,016	5			1	6	1
1,986	3			4	4	0
1,914	17	1,913	40	3	4	2
1,870	4			1	4	3
1,844	4			6	2	1
1,819	1			7	1	0
1,777	3	1,777	10	3	3	3
1,729	1			6	3	0
1,685	2			2	6	2
1,654	11	1,657	20	0	6	3
1,638	8	1,638	20	2	7	1
1,590	9	1,587	30	5	5	0
1,583	4			4	5	2
1,541	2			4	6	1
1,532	1			9	0	0
1,524	2			7	2	2
1,502	8	1,503	20	0	5	4
1,450	7			5	1	4
1,444	3			6	4	2
1,428	2			7	4	0
1,414	3			6	5	1
1,405	6	1,405	20	2	0	5
1,400	2			6	3	3
1,353	3	1,350	10	10	0	1

8.3. táblázat folytatása.

Turmalin Nagybörzsöny		Magneziofoitit Kyonosawa, Japán (Hawthorne <i>et al.</i> , 1999)				
<i>d</i> (Å)	Int. (%)	<i>d</i> (Å)	Int. (%)	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>
1,338	1			5	6	2
1,325	4	1,323	10	6	6	0
1,306	4	1,305	10	10	1	0
1,302	2			8	3	2
1,273	5	1,273	20	8	2	3
1,269	4			2	9	2

Mellékletek jegyzéke

Mellékletek I. Ábrák

- 2.1. ábra:** Jellegzetes turmalinkristályok (Goldschmidt, 1923).
- 2.2. ábra:** Egy turmalinkristály antilóg és analóg végeinek fejképe (Dana, 1892).
- 2.3. ábra:** $\{10\bar{1}1\}$ szerint ikresedett turmalinkristály (Goldschmidt, 1923).
- 2.4. ábra:** A turmalin kristályszerkezetének poliéderez ábrázolása.
- 2.5. ábra:** Az X-pozíció betöltöttségén alapuló elsődleges turmalincsoportok terner rendszere (Henry és társai, 2011).
- 2.6. ábra:** A W-pozíció betöltöttségén alapuló turmalinsorozatok terner rendszere (Henry és társai, 2011).
- 2.7. ábra:** A turmalin stabilitási viszonyai van Hinsberg és társai (2011) alapján, egyszerűsítve.
- 2.8. ábra:** Az Al-Fe-Mg (AFM) diagram (Henry és Guidotti, 1985).
- 2.9. ábra:** A Ca-Fe-Mg (CFM) diagram (Henry és Guidotti, 1985).
- 3.1. ábra:** Fluor standardizálása különböző standardok (fluorapatit, LiF), analizátor-kristályok (TAP, LDE1) és mintaáramok (20 nA, 40 nA) használatával.
- 4.1. ábra:** Vilyvitány és Felsőregmec környékének földtani térképe (Kuti és Pentelényi, 2005 alapján).
- 4.2. ábra:** A Vilyvitányi Csillámpala Formáció turmalinos mintáiról készült visszaszórtelektron-képek.
- 4.3. ábra:** A vilyvitányi turmalinok X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszög-diagramjában ábrázolva.
- 4.4. ábra:** A vilyvitányi csillámpala turmalinjainak kémiai összetétele a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})^Y - \square/(\square + \text{Na})^X$ diagramban ábrázolva.
- 4.5. ábra:** Helyettesítési mechanizmusok a vilyvitányi csillámpala turmalinjában.
- 4.6. ábra:** A vilyvitányi turmalinok összetételének ábrázolása az AFM-diagramban (Henry és Guidotti, 1985 alapján).
- 4.7. ábra:** A) Feldarabolódott turmalinok (Tur1) albitban (Ab); B) Csipkézett szegélyű turmalin (Tur1) albittal (Ab) érintkezve. Visszaszórtelektron-képek.
- 5.1. ábra:** A Soproni-hegység vázlatos földtani térképe (Scharek és társai, 2005a, b alapján).

- 5.2. ábra:** Zömök oszlopos turmalinkristály pegmatitban. S6 minta. Képszélesség: 8 mm.
- 5.3. ábra:** Perthites káliföldpát (Kfs), mely a repedések mentén albittá (Ab) és muszkovittá (Ms) alakult át. S8 minta. Visszaszórtelektron-kép.
- 5.4. ábra:** Káliföldpát (Kfs) és albit (Ab) érintkezése. A káliföldpátban alig láthatóak a perthites albit-szételegyedések, viszont mindkét földpátban jelen van zárványként a muszkovit (Ms) és az apatit (Ap). S14 minta. Visszaszórtelektron-kép.
- 5.5. ábra:** Erősen repedezett, alakatlan, kissé megnyúlt gránátkristály (Grt). S14 minta. Visszaszórtelektron-kép.
- 5.6. ábra:** Turmalinos pegmatit a soproni Tövissüvegről (S18 minta). A példány 7,5 cm hosszú.
- 5.7. ábra:** Muszkovit (Ms) és klorit (Chl) váltakozásából álló halmaz. S18 minta. Visszaszórtelektron-kép.
- 5.8. ábra:** Gneiszek és pegmatitok turmalinjairól készült visszaszórtelektron-képek.
- 5.9. ábra:** A gneiszek és pegmatitok turmalinjainak X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszögdiagramjában ábrázolva.
- 5.10. ábra:** A gneiszek és pegmatitok turmalinjainak kémiai összetétele a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})^Y - \square/(\square + \text{Na})^X$ diagramban ábrázolva. A jelmagyarázatot lásd az előző ábrán.
- 5.11. ábra:** A muszkovit két generációja (Ms) és biotit (Bt) az S15 mintában (Sopron, Bükkfafürás-árok). Visszaszórtelektron-kép.
- 5.12. ábra:** Ilmenitzárványos (Ilm) gránát (Grt) az S15 mintában (Sopron, Bükkfafürás-árok). Visszaszórtelektron-kép.
- 5.13. ábra:** Fehér gneisz és csillámpala érintkezése (HOM16030 minta, Sopron, Halászcserda-rög). A csillámpalában jól láthatók a fekete turmalinkristályok. Képszélesség: 6 cm.
- 5.14. ábra:** A csillámpala ásványtársulása (HOM16030 minta, Sopron, Halászcserda-rög) visszaszórtelektron-képen.
- 5.15. ábra:** A gneiszek és csillámpalák szegélyén megjelenő turmalinok visszaszórtelektron-képei (A, C) és röntgentérképe (B).
- 5.16. ábra:** A gneiszek és csillámpalák kontaktusán képződött turmalinok X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszögdiagramjában ábrázolva.
- 5.17. ábra:** A gneiszek és csillámpalák kontaktusán képződött turmalinok kémiai összetétele a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})^Y - \square/(\square + \text{Na})^X$ diagramban ábrázolva.
- 5.18. ábra:** A) Barnásszürke, oszlopos turmalinkristályok kvarcban. Sopron, Ultra-hegy (S3 minta). Képszélesség: 8 mm. B) Barnásfekete, tús turmalinkristályok sugaras

- halmaza tömeges turmalinitben. Sopron, Ultra-hegy (S4 minta). Képszélesség: 6 cm.
- C) Turmalinit a kópházai Kő-hegyről (HOM2008.241 minta). Képszélesség: 10 cm.
- 5.19. ábra:** Az S3 minta (Sopron, Ultra-hegy) turmalinjainak visszaszórtelektron-képei.
- 5.20. ábra:** Turmalinitekből származó turmalinok visszaszórtelektron-képei.
- 5.21. ábra:** A turmalinitek turmalinjainak X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszögdiagramjában ábrázolva.
- 5.22. ábra:** A turmalinitek turmalinjainak kémiai összetétele a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})^Y - \square/(\square + \text{Na})^X$ diagramban ábrázolva. A jelmagyarázatot lásd az előző ábrán.
- 5.23. ábra:** Az S-6. sz. fúrás rétegsora Fülöp (1990) alapján, feltüntetve az S11 minta helyzetét.
- 5.24. ábra:** Fekete, oszlopos turmalinok és barna, lekerekített gránátok csillámpalában. Sopron, Ház-hegy (S2 minta). Képszélesség: 8 mm.
- 5.25. ábra:** Szétaprózódott, illetve rotálódott gránátkristály (Grt).
- 5.26. ábra:** Egy gránátkristály kompozit röntgenképe (S2 minta).
- 5.27. ábra:** A nap-hegyi (Sopron, S5) minta jellegzetes ásványtársulása. Visszaszórtelektron-kép.
- 5.28. ábra:** Fekete, oszlopos turmalinok csillámpalában. Sopron, Nap-hegy (S5 minta). Képszélesség: 8 mm.
- 5.29. ábra:** Muszkovit (világosabb szürke, Mu) és paragonit (sötétebb szürke, Pa) összenövése az S11 mintában. Az apró, még világosabb foltok kloritok. Visszaszórtelektron-kép.
- 5.30. ábra:** Széttört, oszlopos turmalinkristály (Tur) közti teret kitöltő, kaotikus ásványtársulás.
- 5.31. ábra:** Csillámpalák turmalinjairól készült visszaszórtelektron-képek.
- 5.32. ábra:** A csillámpalák turmalinjainak X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszögdiagramjában ábrázolva.
- 5.33. ábra:** A csillámpalák turmalinjainak kémiai összetétele a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})^Y - \square/(\square + \text{Na})^X$ diagramban ábrázolva. A jelmagyarázatot lásd az előző ábrán.
- 5.34. ábra:** Soproni-hegységi turmalinos kvarcitminták képei.
- 5.35. ábra:** A tiszta kvarcitokban megjelenő turmalinokról készült visszaszórtelektron-képek.
- 5.36. ábra:** A kianit-klinoklor-muszkovit-kvarcitokban megjelenő turmalinokról készült visszaszórtelektron-képek.

- 5.37. ábra:** A kvarcitok turmalinjainak X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszögdiagramjában ábrázolva.
- 5.38. ábra:** A kvarcitok turmalinjainak kémiai összetétele a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})^Y - \square/(\square + \text{Na})^X$ diagramban ábrázolva.
- 5.39. ábra:** A) A Seprőkötő-hegyi turmalin (S10 minta) zónás belső magja (Tur1), a Mg-ban gazdag ránövekedéssel (Tur2), kvarcban (Qtz). Visszaszórtelektron-kép. B) Az előző mintában a Fe (rózsaszín) és a Mg (kék) eloszlását mutató röntgenkép.
- 5.40. ábra:** A csillámpalák turmalin-összetételeinek ábrázolása az AFM-diagramban (Henry és Guidotti, 1985 alapján). Az egyes mezők jelentését lásd a 2.8. ábrán.
- 5.41. ábra:** A gneiszek turmalin-összetételeinek ábrázolása az AFM-diagramban (Henry és Guidotti, 1985 alapján). Az egyes mezők jelentését lásd a 2.8. ábrán.
- 5.42. ábra:** A gneisz-csillámpala kontaktusok turmalin-összetételeinek ábrázolása az AFM-diagramban (Henry és Guidotti, 1985 alapján). Az egyes mezők jelentését lásd a 2.8. ábrán.
- 5.43. ábra:** A turmalinitok turmalin-összetételeinek ábrázolása az AFM-diagramban (Henry és Guidotti, 1985 alapján). Az egyes mezők jelentését lásd a 2.8. ábrán.
- 5.44. ábra:** A kvarcitok turmalin-összetételeinek ábrázolása az AFM-diagramban (Henry és Guidotti, 1985 alapján). Az egyes mezők jelentését lásd a 2.8. ábrán.
- 5.45. ábra:** A Soproni-hegység klorit-tartalmú kőzeteiben lévő turmalinok és kloritok átlagos $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})$ arányának ábrázolása. Turmalinok esetében az értékek a legkülső zónára vonatkoznak.
- 6.1. ábra:** A Velencei-hegység és északi előterének földtani térképe (Gyalog, 2005a, b alapján).
- 6.2. ábra:** Fekete turmalin gránitban. Velence, Bence-hegy (MBFSZ-5307).
- 6.3. ábra:** Az intragránitos turmalinok X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszögdiagramjában ábrázolva.
- 6.4. ábra:** Az intragránitos turmalinok kémiai összetétele a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})^Y - \square/(\square + \text{Na})^X$ diagramban ábrázolva.
- 6.5. ábra:** A sukorói turmalin-tartalmú pegmatit elvi szelvénye Nagy (1967a) alapján.
- 6.6. ábra:** Fekete, háromszöges turmalin pegmatitban. Sukoró, murvafejtő (MBFSZ-11144).
- 6.7. ábra:** A pegmatitos turmalinok (Tur1) szélén megjelenő, későbbi fluidum-infiltráció átalakító hatására képződött reakciószegélyek (Tur2), kvarccal (Qtz). Visszaszórtelektron-kép (MBFSZ 11138 minta).

- 6.8. ábra:** Az aplitok turmalinjai.
- 6.9. ábra:** Turmalinkristályok miarolitos üregből a pákozdi Sas-hegyről (HOM 2009.215).
- 6.10. ábra:** A pákozdi Sas-hegy és a sukorói murvabánya pegmatitjának miarolitos üregeiben megjelenő turmalinok X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszögdiagramjában ábrázolva.
- 6.11. ábra:** A pákozdi Sas-hegy és a Sukorói legelő pegmatitjának miarolitos üregeiben megjelenő turmalinok osztályozása a $(\text{Fe} + \text{Mn} + \text{Mg})/(\text{Fe} + \text{Mn} + \text{Mg} + 2\text{Li})^Y - \square/(\square + \text{Na})^X$ diagramban.
- 6.12. ábra:** A sukorói turmalinkristályról készült visszaszórtelektron-kép.
- 6.13. ábra:** A sas-hegyi turmalinkristály Tur1 zónája (körök) és a sukorói kristály (háromszögek) F-tartalmának ábrázolása a Li-tartalom függvényében ($r =$ korrelációs együttható).
- 6.14. ábra:** Turmalinosodott kontaktpala; Pátka, Varga-hegy (HOM 26284). Képszélesség: 6 cm.
- 6.15. ábra:** Oszcillációs zónásságot mutató turmalinkristályok (Tur) kvarcban (Qtz). Pátka, Varga-hegy (HOM 23596). Visszaszórtelektron-kép.
- 6.16. ábra:** A Velencei Gránit palaköpenyéből származó turmalinok X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszögdiagramjában ábrázolva.
- 6.17. ábra:** A Velencei Gránit palaköpenyéből származó turmalinok kémiai összetétele a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})^Y - \square/(\square + \text{Na})^X$ diagramban ábrázolva.
- 6.18. ábra:** A Velencei Gránit palaköpenyéből származó turmalinokban működő helyettesítési mechanizmusok: A) az Mg-tartalom ábrázolása a Fe-tartalom függvényében; B) a $\text{Na} + \text{Mg} + \text{Fe}$ ábrázolása a $\square + \text{Al}^{[6]}$ függvényében; C) a $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe}$ ábrázolása a $\text{Na} + \text{Al}^{[6]}$ függvényében; D) a $\text{Ca} + \text{Na} + \text{Fe} + \text{Mg} + \text{Mn}$ ábrázolása az $\text{Al}^{[6]} + 1,33\text{Ti}$ függvényében ($r =$ korrelációs együttható).
- 6.19. ábra:** A velencei-hegységi gránit és telérközetei összetételének ábrázolása az A/CNK–A/NK diszkriminációs diagramban (Maniar és Piccoli, 1989).
- 6.20. ábra:** A velencei-hegységi posztorogén gránit képződésének lehetséges forgatókönyve Uher és Broska (1996) alapján, módosítva.
- 6.21. ábra:** A velencei-hegységi turmalinok összetételének ábrázolása az AFM-diagramban (Henry és Guidotti, 1985 alapján). Az egyes mezők jelentését lásd a 2.8. ábrán.
- 7.1. ábra:** A Lillafüred, Miskolc és Bükk-szentkereszt közötti terület földtani térképe (Rónai és Less, 2005 alapján).

- 7.2. ábra:** A felsőháromi Puskaporos turmalinja.
- 7.3. ábra:** A turmalinos kvarcérben lévő, különböző megjelenésű epidotok visszászórtelektron-képei.
- 7.4. ábra:** A bükki turmalinok X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszögdiagramjában ábrázolva.
- 7.5. ábra:** A bükki turmalinok kémiai összetétele a $Fe/(Fe + Mg)^Y - \square/(\square + Na)^X$ diagramban ábrázolva.
- 7.6. ábra:** Az „a” és „c” rácsállandókat összehasonlító diagram, az X-hiányos, alkáli, Fe- és Mg-tartalmú turmalinok tapasztalati úton meghatározott mezőivel (Uher és társai, 2009 alapján).
- 7.7. ábra:** Fekete, rostos turmalinerek fehér kvarc-földpát telérközvetben. Miskolc-Bükkszentlászló, Hideg-víz (HOM 2010.76). Képszélesség: 12 cm.
- 7.8. ábra:** Préselt riolittufa és kvarc-földpát-telér érintkezése. Miskolc-Bükkszentlászló, Hideg-víz. Jól látszik, hogy a turmalin előfordulása a kvarc-földpát-telérre korlátozódik, a turmalinos erek pedig közel merőlegesek az érintkezési felületre. Képszélesség: 7 cm.
- 7.9. ábra:** A bükkszentlászlói turmalin visszászórtelektron-képei.
- 7.10. ábra:** Fekete, finomszemcsés turmalin által cementált breccsa Miskolc-Bükkszentlászlóról. A példány 5,5 cm hosszú.
- 7.11. ábra:** A káliföldpátok három generációja (visszászórtelektron-képek).
- 7.12. ábra:** A turmalin kötőanyagú breccsa vékonycsiszolati képe.
- 7.13. ábra:** Kémiaiilag homogén turmalin (Tur) cementanyag, mely albitos (Ab) klasztokat övez, kis mennyiségű apatittal (Ap). Visszászórtelektron-kép.
- 7.14. ábra:** A turmalin-kötőanyagú breccsa röntgen-pordiffrakciós felvétele.
- 7.15. ábra:** A bükki turmalinok összetételének ábrázolása az AFM-diagramban (Henry és Guidotti, 1985 alapján). Az egyes mezők jelentését lásd a 2.8. ábrán.
- 8.1. ábra:** A nagybörzsönyi Rózsa-hegy és környékének földtani térképe (Budai és Síkhegyi, 2005 alapján).
- 8.2. ábra:** A nagybörzsönyi turmalin pásztázó-elektronmikroszkópos felvétele.
- 8.3. ábra:** A nagybörzsönyi táblás anatóz pásztázó-elektronmikroszkópos felvétele.
- 8.4. ábra:** A nagybörzsönyi turmalin X-kation tartalma a fő turmalincsoportok háromszögdiagramjában ábrázolva.
- 8.5. ábra:** A nagybörzsönyi turmalin visszászórtelektron-képe.

- 8.6. ábra:** A nagybörzsőnyi turmalinban lévő Mg-Fe helyettesítés diagramja. A folytonos vonal az ideális korrelációt mutatja $(\text{Mg} + \text{Fe})^Y = 2 \text{ apfu}$ esetére.
- 8.7. ábra:** A nagybörzsőnyi turmalin kémiai összetétele a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})^Y - \square/(\square + \text{Na})^X$ diagramban ábrázolva.
- 8.8. ábra:** A nagybörzsőnyi turmalin összetételi diagramjai. A) A Na+Mg+Fe ábrázolása a $\square + \text{Al}^{[6]}$ függvényében; B) a Ca+Mg+Fe ábrázolása a Na+Al^[6] függvényében; C) az Al^[6] ábrázolása a vakanciák függvényében; D) a Na+Al_(tot) ábrázolása a $\square + \text{Si}$ függvényében. Rövidítés: r = korrelációs együttható. Piros pontok = foitit; kék pontok = magneziofoitit (31 anionra).
- 8.9. ábra:** A nagybörzsőnyi turmalin összetételi diagramjai. A) A Ca+Na+Fe+Mg+Mn ábrázolása az $\text{Al}^{[6]} + 1,33\text{Ti}$ függvényében; B) a Na ábrázolása a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})$ függvényében; C) a Ca ábrázolása a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})$ függvényében; D) a vakanciák ábrázolása a $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})$ függvényében. Piros pontok = foitit; kék pontok = magneziofoitit (31 anionra számolva); piros csillagok = foitit; kék csillagok = magneziofoitit (15 Y+Z+T kationra számolva).
- 8.10. ábra:** Az „a” és „c” rácsállandókat összehasonlító diagram, az X-hiányos, alkáli, Fe- és Mg-tartalmú turmalinok tapasztalati úton meghatározott mezőivel (Uher és társai, 2009 alapján).
- 8.11. ábra:** A nagybörzsőnyi turmalin összetételének ábrázolása az Al–Fe(tot)–Mg (AFM) diagramban (Henry és Guidotti, 1985 alapján).

Mellékletek II. Táblázatok

- 2.1. táblázat:** Gyakoribb helyettesítési mechanizmusok turmalinokban (Henry és Dutrow, 1996).
- 2.2. táblázat:** A turmalinfőcsoport ásványai (Henry és társai, 2011 alapján, kiegészítve).
- 3.1. táblázat:** A hullámhosszdiszperzív elektronmikroszkondás elemzésekkel mért elemek, a használt analizátorkristályok és standardok.
- 4.1. táblázat:** A Vilyvitányi Csillámpala Formáció plagioklászainak elektronmikroszkondás elemzése tömegszázalékban.
- 4.2. táblázat:** A Vilyvitányi Csillámpala Formáció muszkovitjainak elektronmikroszkondás elemzése tömegszázalékban.

- 4.3. táblázat:** A Vilyvitányi Csillámpala Formáció kloritjának energiadiszipatív elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban. Az elemzések 100%-ra átszámolva.
- 4.4. táblázat:** A Vilyvitányi Csillámpala Formáció turmalinjainak elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban.
- 5.1. táblázat:** A Soproni-hegység gneiszeiben és pegmatitjaiban lévő földpátok elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban.
- 5.2. táblázat:** A Soproni-hegység gneiszeiben és pegmatitjaiban lévő muszkovitok EDS-elemzése tömegszázalékban.
- 5.3. táblázat:** Az S14 minta (Sopron, Bükkfafürés-árok) pegmatitjában lévő gránátok EDS-elemzése tömegszázalékban.
- 5.4. táblázat:** Az S18 minta (Sopron, Tövissüveg) pegmatitjában lévő kloritok EDS-elemzése tömegszázalékban.
- 5.5. táblázat:** Az S18 minta (Sopron, Tövissüveg) pegmatitjában lévő kolumbitok EDS-elemzése tömegszázalékban.
- 5.6. táblázat:** A gneiszek és pegmatitok turmalinjainak elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban. S6 minta (Sopron, Kánya-szurdok).
- 5.7. táblázat:** A gneiszek és pegmatitok turmalinjainak elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban. S8 minta (Sopron, Muck).
- 5.8. táblázat:** A gneiszek és pegmatitok turmalinjainak elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban. S14 minta (Sopron, Bükkfafürés-árok).
- 5.9. táblázat:** A gneiszek és pegmatitok turmalinjainak elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban. S18 minta (Sopron, Tövissüveg).
- 5.10. táblázat:** A Soproni-hegység gneisszel érintkező csillámpalaiban lévő fehér csillámok elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban.
- 5.11. táblázat:** A Soproni-hegység gneisszel érintkező csillámpalaiban lévő gránátok elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban.
- 5.12. táblázat:** A Soproni-hegység gneisszel érintkező csillámpalaiban lévő biotitok elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban.
- 5.13. táblázat:** A Soproni-hegység gneisszel érintkező csillámpalaiban lévő turmalinok elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban. S15 minta (Sopron, Bükkfafürés-árok).
- 5.14. táblázat:** A Soproni-hegység gneisszel érintkező csillámpalaiban lévő turmalinok elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban. HOM16030 minta (Sopron, Halászcserda-rög).

- 5.15. táblázat:** A turmalinitek turmalinjainak elektronmikroszondás elemzéseit tömegszázalékban. S3 minta (Sopron, Ultra-hegy).
- 5.16. táblázat:** A turmalinitek turmalinjainak elektronmikroszondás elemzéseit tömegszázalékban. S4 minta (Sopron, Ultra-hegy).
- 5.17. táblázat:** A turmalinitek turmalinjainak elektronmikroszondás elemzéseit tömegszázalékban. HOM2008.241 minta (Kópháza, Kő-hegy).
- 5.18. táblázat:** A Soproni-hegység csillámpalaiban lévő fehér csillámok elektronmikroszondás elemzéseit tömegszázalékban.
- 5.19. táblázat:** A Soproni-hegység csillámpalaiban lévő kloritok elektronmikroszondás elemzéseit tömegszázalékban.
- 5.20. táblázat:** A ház-hegyi (Sopron) gránát (S2 minta) elektronmikroszondás elemzéseit tömegszázalékban.
- 5.21. táblázat:** A ház-hegyi (Sopron) ilmenit (S2 minta) elektronmikroszondás elemzéseit tömegszázalékban.
- 5.22. táblázat:** Az S11 minta (S-6. sz. fúrás, „paragonitpala”) biotitjainak elektronmikroszondás elemzéseit tömegszázalékban.
- 5.23. táblázat:** A csillámpalák turmalinjainak elektronmikroszondás elemzéseit tömegszázalékban. S2 (Sopron, Ház-hegy).
- 5.24. táblázat:** A csillámpalák turmalinjainak elektronmikroszondás elemzéseit tömegszázalékban. S5 (Sopron, Nap-hegy).
- 5.25. táblázat:** A csillámpalák turmalinjainak elektronmikroszondás elemzéseit tömegszázalékban. S11 (Sopron, S-6. sz. fúrás).
- 5.26. táblázat:** A kvarcitok muszkovitjainak EDS-elemzéseit tömegszázalékban.
- 5.27. táblázat:** A kvarcitok kloritjainak EDS-elemzéseit tömegszázalékban.
- 5.28. táblázat:** A Soproni-hegység kvarcitjaiban lévő turmalinok elektronmikroszondás elemzéseit tömegszázalékban. HOM22030 minta (Sopron, Récényi úti kőfejtő).
- 5.29. táblázat:** A Soproni-hegység kvarcitjaiban lévő turmalinok elektronmikroszondás elemzéseit tömegszázalékban. HOM24008 minta (Sopron, Vöröshídi-kőfejtő).
- 5.30. táblázat:** A Soproni-hegység kvarcitjaiban lévő turmalinok elektronmikroszondás elemzéseit tömegszázalékban. S1 minta (Fertőrákos, Gödölye-bérc).
- 5.31. táblázat:** A Soproni-hegység kvarcitjaiban lévő turmalinok elektronmikroszondás elemzéseit tömegszázalékban. S9 minta (Sopron, Seprőkötő-hegy).
- 5.32. táblázat:** A Soproni-hegység kvarcitjaiban lévő turmalinok elektronmikroszondás elemzéseit tömegszázalékban. S10 minta (Sopron, Seprőkötő-hegy).

- 5.33. táblázat:** A Soproni-hegység kvarcitjaiban lévő turmalinok elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban. S12 minta (Sopron, Tövissüveg).
- 5.34. táblázat:** A Soproni-hegység kvarcitjaiban lévő turmalinok elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban. S16 minta (Sopron, Récényi úti kőfejtő).
- 5.35. táblázat:** A Soproni-hegység kvarcitjaiban lévő turmalinok elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban. S17 minta (Harka, Fillér-erdő).
- 6.1. táblázat:** A velencei Bence-hegy gránitjából származó turmalin (MBFSZ-5307) elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban.
- 6.2. táblázat:** A sukorói murvabánya pegmatitjából származó turmalin (MBFSZ-11138) elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban.
- 6.3. táblázat:** A sukorói murvabánya pegmatitjából származó turmalin (MBFSZ-11144) elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban.
- 6.4. táblázat:** A sukorói murvabánya pegmatitjából származó turmalin (MBFSZ-11149) elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban.
- 6.5. táblázat:** A velencei Bence-hegy aplitjából származó turmalin (MBFSZ-5304) elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban.
- 6.6. táblázat:** A pákozdi Tompos-hegy aplitjából származó turmalin (V3 minta) elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban.
- 6.7. táblázat:** A pákozdi Sas-hegy gránitpegmatitjának miarolitos üregéből származó turmalin (HOM 2009.215) elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban.
- 6.8. táblázat:** A sukorói murvabánya gránitpegmatitjának miarolitos üregéből származó zöld turmalin (MBFSZ-11133) elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban.
- 6.9. táblázat:** Vizsgált minták a Velencei-hegység kontakpaláiból és kvarcteléreiből.
- 6.10. táblázat:** A velencei Bence-hegy breccsás szövetű kvarcteléréből származó turmalin (MBFSZ-5301) elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban.
- 6.11. táblázat:** A lovasberényi Antónia-hegy kvarcteléréből származó turmalin (MBFSZ-5297) elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban.
- 6.12. táblázat:** A lovasberényi Antónia-hegy kvarcteléréből származó turmalin (HOM 18142) elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban.
- 6.13. táblázat:** A lovasberényi Antónia-hegy kvarcteléréből származó turmalin (HOM 17701) elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban.
- 6.14. táblázat:** A lovasberényi Antónia-hegy kvarcteléréből származó turmalin (HOM 25922) elektronmikroszondás elemzése tömegszázalékban.

- 6.15. táblázat:** A pátkai Varga-hegy kvarcteléréből származó turmalin (HOM 23596) elektronmikroszondás elemzései tömegszázalékban.
- 6.16. táblázat:** A pátkai Varga-hegy kontaktpalájából származó turmalin (HOM 26284) elektronmikroszondás elemzései tömegszázalékban.
- 6.17. táblázat:** A pátkai Varga-hegy turmalinszirtjéből származó turmalin (V1) elektronmikroszondás elemzései tömegszázalékban.
- 7.1. táblázat:** A felsőháromi Puszkaporos epidotjának elektronmikroszondás elemzései tömegszázalékban.
- 7.2. táblázat:** A felsőháromi Puszkaporos kloritjának elektronmikroszondás elemzései tömegszázalékban.
- 7.3. táblázat:** A felsőháromi Puszkaporos plagioklászának elektronmikroszondás elemzései tömegszázalékban.
- 7.4. táblázat:** A felsőháromi Puszkaporos turmalinjának energiadiszipatív spektrométeres elemzései tömegszázalékban.
- 7.5. táblázat:** A felsőháromi Puszkaporos turmalinjának röntgen-pordiffrakciós adatai, összehasonlítva az ICDD 00-085-1814 kártya adataival.
- 7.6. táblázat:** A bükkszentlászlói rostos turmalin elektronmikroszondás elemzései tömegszázalékban.
- 7.7. táblázat:** A bükkszentlászlói rostos turmalin röntgen-pordiffrakciós adatai, összehasonlítva az ICDD 00-043-1464 kártya (sörl) megfelelő reflexióival.
- 7.8. táblázat:** A bükkszentlászlói turmalinos breccsák földpátjainak elektronmikroszondás elemzései tömegszázalékban.
- 7.9. táblázat:** A bükkszentlászlói breccsa cementáló turmalin elektronmikroszondás elemzései tömegszázalékban.
- 7.10. táblázat:** A bükkszentlászlói turmalin kötőanyagú breccsáról készült röntgen-pordiffrakciós felvétel adatai, összehasonlítva az ICDD 00-046-1045 (kvarc), 00-043-1464 (sörl) és 00-007-0042 (muszkovit) kártyák megfelelő reflexióival.
- 8.1. táblázat:** A nagybörzsönyi turmalin elektronmikroszondás elemzései tömegszázalékban. Ionszámok 31 (O, OH, F) anionra.
- 8.2. táblázat:** A nagybörzsönyi turmalin elektronmikroszondás elemzései tömegszázalékban. Ionszámok 15 (Y + Z + T) kationra.
- 8.3. táblázat:** A nagybörzsönyi magneziofoitit(-foitit) röntgen-pordiffrakciós adatai.