

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM

TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉS INFORMATIKAI KAR

ÁSVÁNYTANI, GEOKÉMIAI ÉS KÖZETTANI TANSZÉK

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

A turmalin petrogenetikai indikátor szerepe hegyes-hegységi kőzetekben

Készítette:

Pozsár Attila

Földtudományi MSc szakos hallgató (I. évfolyam)

Témavezetők:

Dr. Raucsikné Dr. Varga Andrea
adjunktus

Dr. Raucsik Béla
adjunktus

Szeged

2023

Tartalomjegyzék

Tartalmi összefoglaló	3
1. Bevezetés	4
2. A turmalincsoport szerepe a kőzettani rendszerekben	5
2.1. A turmalin általános bemutatása	5
2.2. A turmalinok képződése	7
2.3. A turmalin kőzettani szerepe mint okos ásvány: petrogenetikai indikátor.....	9
3. A Hegyes-hegység geológiája	12
3.1. A turmalinok előfordulása a Hegyes-hegység területén	17
4. Mintagyűjtés, vizsgálati módszerek.....	18
4.1. Mintagyűjtés	18
4.2. Vizsgálati módszerek	20
5. Makroszkópos és binokuláris mikroszkópi megfigyelések.....	22
6. A röntgen pordiffrakciós elemzés eredménye	28
7. A mikropetrográfiai eredmények bemutatása	31
8. Az előzetes ásványkémiai eredmények bemutatása	43
9. Diskusszió.....	47
10. Összefoglaló, következtetések.....	52
11. Irodalomjegyzék	53
12. Köszönetnyilvánítás.....	55
13. Melléklet	56

Tartalmi összefoglaló

A cikloszilikátok közé tartozó turmalin nagy stabilitásának köszönhetően, továbbá a kristályon belüli elemdiffúzió elhanyagolható mértéke miatt jól dokumentálja azt a képződési környezetet, ahol létrejött, ezért nevezik a turmalint petrogenetikai indikátornak.

A bemutatásra kerülő turmalintartalmú kőzetmintákat a Hegyes-hegység északnyugati részén, Kovászi (Covășinț) településtől délkeletre gyűjtöttem. Kőzettanilag granitoid- és aplitos-jellegűeket, uralkodóan kvarc-földpát érkítőltésből származó (pegmatitos jellegű) példányokat, valamint kontakt metamorfózist szenvedett szaruszirt kőzeteket különböztettem meg. A turmalinok megjelenésük alapján makroszkóposan fekete színűek, nagyrészt sugaras fészkekben, tömeges halmazok formájában jelennek meg (granitoid, aplit). Egyes szaruszirt kőzetpéldányokban néhány mm nagyságú hipidiomorf (nyúlt, oszlopos prizmás) turmalinkristályok figyelhetők meg a halmazokban.

A makroszkópos megfigyelések pontosítása érdekében binokuláris mikroszkópi vizsgálatokat végeztem. Az egyes ásványfázisok azonosítása vagy meghatározásának megerősítése céljából röntgen pordiffrakciós elemzések történtek. A részletes petrográfiai vizsgálatra kiválasztott mintákból sztenderd vékonycsiszolatok készültek, melyek segítségével mikropetrográfiai leírást készítettem (alkalmazott módszerek: Raman-spektroszkópia, polarizációs, ráesőfényes és ultraibolya-gerjesztéses mikroszkópia, röntgenfluoreszcens-elemterképezés, pásztázó elektronmikroszkópia). A Hegyes-hegység területén korábban leírt turmalin előfordulásokat összevetettem a saját megfigyeléseimmel. Megállapítottam, hogy az aplit jellegű mintákban szintén található turmalin, melyet a szakirodalom nem említett. Mikropetrográfiai szempontból 4 eltérő színű és megjelenésű turmalint írtam le a területről. A szaruszirtokban ezek közül kettő jelenik meg: (1) világosbarna–sötétzöld pleokroizmusú, zárványgazdag turmalin, (2) világosrózsaszín–sötétbarna poikilites megjelenésű típus. A többi kőzetcsoportban dominánsan világossárga–sötétbarna poikilites turmalin (3) jelenik meg, azonban a kvarc-földpát érkítőltésekben és a granitoid jellegű mintákban az előző változatban repedéskitöltőként, átalakulási szegélyként és a kvarctartalmú erekben egyedi idiomorf szemcsék formájában világos kékeszöld–szürkés-kék árnyalatú típus (4) figyelhető meg. Ez utóbbi típust többnyire epidot, plagioklász földpát és opak ásványok (hematit–vascsillám) kísérik.

Kulcsszavak: turmalin, petrogenetikai indikátor, Hegyes-hegység, perm, mikropetrográfia

1. Bevezetés

Mindenkiben felmerülhet a kérdés, hogy miért éppen a turmalint választottam tudományos diákköri dolgozatom témájaként, és mi volt ennek a közvetlen szakmai oka. Ebben az esetben egy olyan összetett ásványcsoportról beszélhetünk, amelyben a jövő szempontjából eddig nagyrészt kiaknázatlan lehetőségek rejlenek. Szerkezetéből adódóan BRAGG (1937) említi, hogy szinte a periódusos rendszer összes elemét képes önmagába beépíteni, ennek köszönhetően nyerte el becenevét, „az ásványok szemetesládája” (angolul “*garbage-can mineral*”) címet (DUTROW & HENRY 2011). A jövő nyersanyagainak kutatásában lehetséges, hogy szerepet fog játszani, mint potenciális fémforrás. A tudományos diákköri dolgozatom témájaként választott, a Hegyes-hegységből (Erdélyi-középhegység, Románia) származó kőzetek szintén tartalmaznak turmalinban gazdag kifejlődéseket, melyek az adott terület geológiai eseményeinek minél pontosabb rekonstrukciójához hívhatók segítségül. De mi is az a turmalin? Tudományos diákköri dolgozatom első részében erre keresem a választ. Szakirodalmi ismeretek felhasználásával bemutatom a turmalincsoport szerepét a kőzettani rendszerekben, kémiai és szerkezeti tulajdonságait, fizikai jellemzőit és képződésének körülményeit, valamint petrogenetikai indikátor szerepét.

Tudományos diákköri dolgozatom második részében bemutatásra kerül a Hegyes-hegység geológiája és az ott gyűjtött kőzetpéldányok makroszkópos leírása táblázattal és fotókkal illusztrálva. Külön kitérek az egyes példányokon megfigyel turmalinokra, valamint egyéb kísérő ásványokra. Ezt követően pedig részletesen bemutatom az alkalmazott vizsgálati módszerek eredményeit és értelmezem azokat. A makroszkópos megfigyelések eredményeinek megerősítése céljából több ásványfázis vizsgálatot (XRPD, Raman-spektroszkópia) végeztem, melyek eredményeit részletezem. A tanulmányozott szakirodalom alapján a területtel foglalkozó szerzők a turmalintartalmú kőzetek kapcsán nagyrészt makroszkópos leírást végeztek, csak kevés szöveti információ van megemlítve. A petrográfiai leírásnál ennek fényében külön kitérek a mintákban található turmalinok szöveti megjelenésére és más jellemzőire.

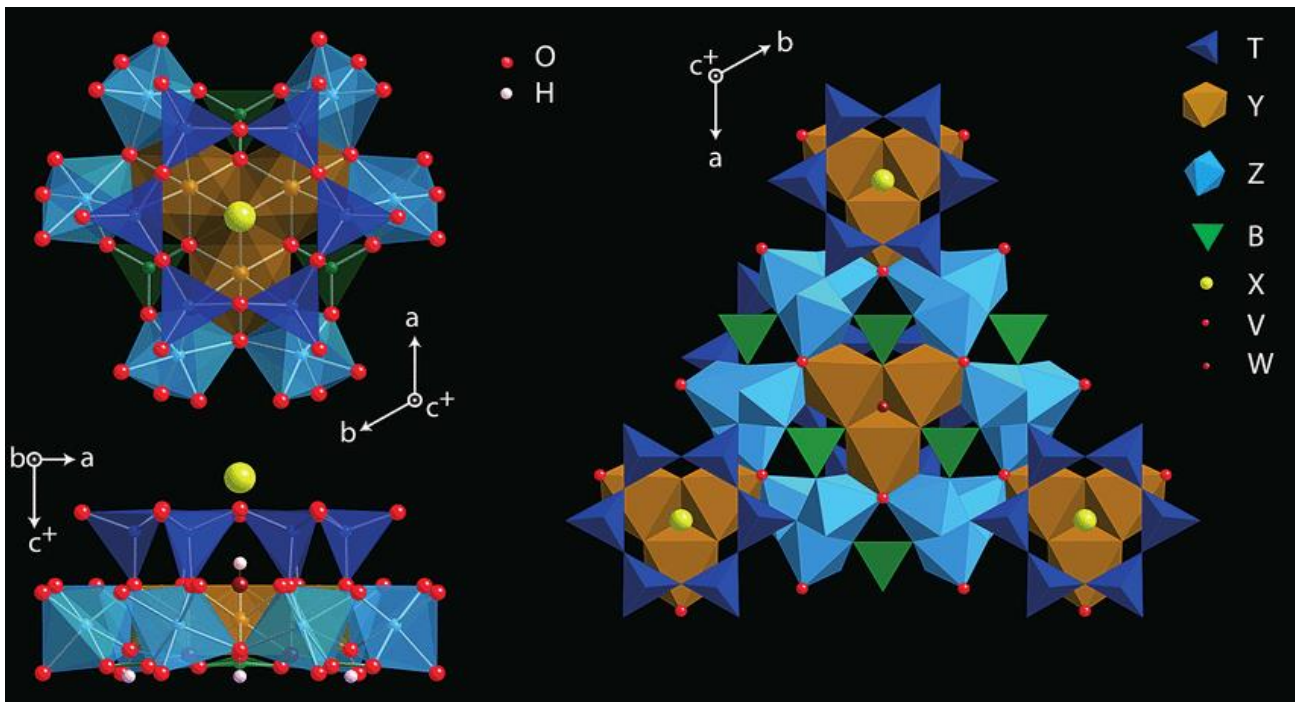
Munkám harmadik részében a diszkusszióban összevetem az általam vizsgált szakirodalom eredményeit a saját megfigyeléseimmel. Dolgozatom célja a Hegyes-hegység geológiájának minél pontosabb rekonstruálása az általam gyűjtött turmalinos kőzetminták segítségével, valamint a területen leírt turmalin előfordulások pontosítása, részletezése.

2. A turmalincsoport szerepe a kőzettani rendszerekben

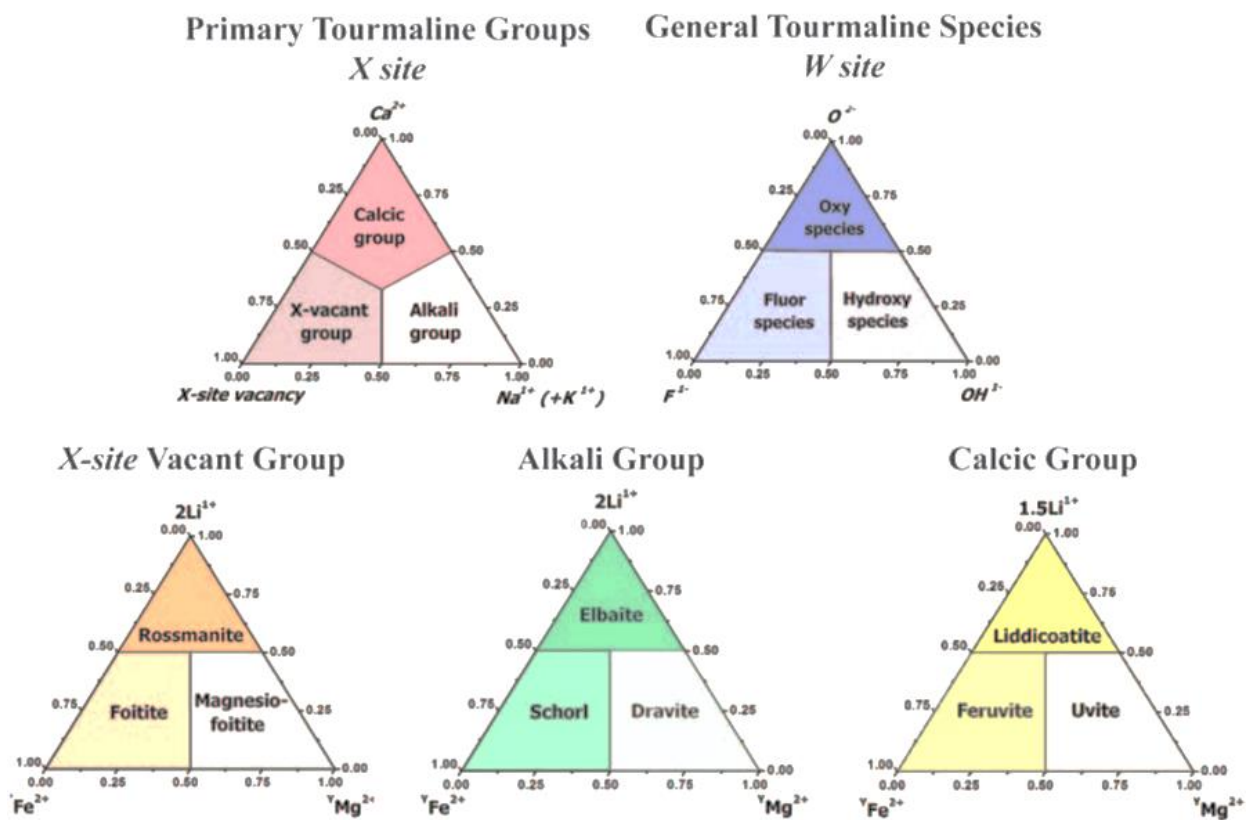
2.1. A turmalin általános bemutatása

Az ásványok rendszerezésének alapja a kristályszerkezet és a kémiai összetétel, ezért tudományos diákköri dolgozatomban a turmalin jellemzőinek tárgyalását ezzel kezdem. A turmalincsoport tagjai a trigonális rendszerben kristályosodó cikloszilikátok közé tartoznak. Bizonyos kation-konfigurációk miatt azonban a szimmetria rombosra, monoklinra vagy triklinre is csökkenhet. A cikloszilikátok SiO_4 -tetraéderek összekapcsolódásából álló, gyűrű alakú anioncsoportokat tartalmaznak, melyekben az $\text{Si}:\text{O}$ arány 1:3; így az általános anion $(\text{Si}_x\text{O}_{3x})^{2x-}$ formában adható meg. A turmalin-csoport jellegzetessége, hogy a SiO_4 -tetraéderek hatos kapcsolódásával $(\text{Si}_6\text{O}_{18})^{12-}$, hexagonális szimmetriájú, gyűrűalakú csoportok jönnek létre. A gyűrűk között rétegszerűen elhelyezkedő BO_3 planáris csoportok (síkháromszögek) találhatók. A turmalin messze a legfontosabb ásványfázis a földkéregben, amely alapvető szerkezeti alkotóelemként bórt tartalmaz (SZAKÁLL 2005; HAWTHORNE & DIRLAM 2011; VAN HINSBERG et al. 2011; MORGAN 2016; FEHÉR 2020).

A turmalin-csoport tagjainak általános szerkezeti képlete a következő alakban írható fel: $\text{XY}_3\text{Z}_6(\text{T}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3\text{V}_3\text{W}$, ahol az X, Y, Z, T és B különböző, vegyes betöltésű kationpozíciókat, míg a V és W anionpozíciókat jelöl (1. ábra). A leggyakoribb ionok, melyek a szerkezetben a kationpozíciókat betöltik: $\text{X} = \text{Na}^+$, Ca^{2+} vagy vakancia (azaz üres, nincs betöltve a pozíció), 9-es koordinációval; $\text{Y} = \text{Mg}^{2+}$, Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Li^+ , Mn^{2+} 6-os koordinációval; $\text{Z} = \text{Al}^{3+}$, Fe^{3+} , Mg^{2+} , Cr^{3+} , Mn^{3+} 6-os koordinációval. Az anionhelyeket tekintve: $\text{V} = (\text{OH})^-$, O^{2-} , míg $\text{W} = (\text{OH})^-$, O^{2-} , F^- . A turmalin különböző szerkezeti pozícióiban általánosak az elemhelyettesítések, leggyakoribb formája az Y-pozícióban a Mg^{2+} és Fe^{2+} helyettesítése egymással. Reális szerkezetének építőeleme a hat TO_4 -tetraéder, melyek a csúcsaikkal összekapcsolódva gyűrűs szerkezetet hoznak létre úgy, hogy az összes tetraéder ugyanabba az irányba néz, és ahol a T-pozíciót elsősorban Si tölti be, amit némi Al és B helyettesíthet. A turmalinok legújabb nevezéktana alapján az alcsoportok megállapítása az X kationhelyek kémiai összetétele alapján történik. Ennek megfelelően vannak alkáli, kalciumos és betöltetlen X-pozíciókkal jellemezhető alcsoportok (2. ábra). Ezen alcsoportok alapján az alkáli turmalinok közé tartozik az elbait, a sörl és a drávit (domináns alkotó a Na^+ , ritkábban a K^+), a kalciumos alcsoportba a liddicoatit, a feruvit és az uvit (domináns alkotó a Ca^{2+}), míg a betöltetlen X-pozícióval rendelkező alcsoportba a rossmanit, a foitit és a magneziofoitit (SZAKÁLL 2005; HAWTHORNE & DIRLAM 2011; HENRY et al. 2011; MORGAN 2016; FEHÉR 2022).



1. ábra: A turmalin ideális kristályszerkezete. Alapeleme hat tetraéderből áll, melyek a csúcaikkal összekapcsolódva gyűrűs szerkezetet hoznak létre úgy, hogy az összes tetraéder ugyanabba az irányba néz, és ahol a T-pozíciót elsősorban Si tölti be, amit némi Al és B helyettesíthet. A gyűrűk között rétegszerűen elhelyezkedő BO_3 planáris csoportok találhatók (VAN HINSBERG et al. 2011)



2. ábra: A turmalincsoportba tartozó ásványok osztályozása kémiai összetétel alapján (HAWTHORNE & DIRLAM 2011)

A turmalin-csoportot (boroszilikátok) képviselő ásványok alakja – a kristálytani felépítésnek megfelelően – általában megnyúlt, oszlopos prizmás kristályaik gyakran hosszirányban sávozottak, és jellemző a prizmazóna hosszanti barázdáltsága (FEHÉR 2020). A kristályok habitusa lehet még zömök piramisos, oszlopos, lencseszerű, izometrikus vagy táblás. A szimmetria miatt a kristályok keresztmetszete hatszöges vagy még gyakrabban ditrigonális (SZAKÁLL 2005).

A turmalinváltozatok szimmetriacentrummal nem rendelkező, poláros ásványok. A duplán terminált („kétvégű”) kristályokon a hemimorfia (ún. feles szimmetria) 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. A turmalin piroelektromos és piezoelektromos tulajdonsága a poláros szimmetriából ered (PANDEY & SCHREUER 2012; FEHÉR 2020).

A turmalinváltozatok döntő többsége nagyon rosszul hasad (rideg), a törési felületek egyenetlenek, kagylósak. A keménysége a Mohs-féle skálán a 7-es (az üveget karcolja), néhány esetben akár a 7,5 értéket is elérheti (HAWTHORNE & DIRLAM 2011). A turmalinok döntő többségének karcszíne színtelen, de egyes példányok esetében megfigyelhető enyhe színezettség. Ilyen pl. a sötétzöld elbait ($\text{Na}(\text{Li},\text{Al})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$), ennek porszíne világoszöld, vagy a barna drávit ($\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$), amely pora világosbarna és a buergerit ($\text{Na}(\text{Fe}^{3+})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$) karca sárgásbarna (HAWTHORNE & HENRY 1999).

2.2. A turmalinok képződése

A turmalin olyan tulajdonságokkal rendelkezik, mint egy kiváló tanú, egy törvényszéki ásvány: széles körben elterjedt, a legtöbb közettípusban előfordul, mivel a hőmérséklet- és nyomásviszonyok nagyon tág tartományában stabilan viselkedik. Ennek megfelelően a turmalin az esetek döntő többségében a kőzetek akcesszórius vagy járulékos elegyrészeként lehet jelen (DUTROW & HENRY 2011; SPRÁNITZ et al. 2018).

A turmalin kiváltképp gránitokban, valamint ezeknek pegmatitos-pneumatolitos differenciátumaiban otthonos (pl. Velencei-hegység). Továbbá típusos kontakt ásvány, a benyomuló gránit szegélyzónájában (endogén kontakt folyamattal) a biotit és földpát helyén, valamint a mellékkőzetben exogén (kívülről származó) terméként is keletkezik. A leírások alapján kristályos palákban, gneiszekben, granulitokban, sőt agyagpalákban és fillitekben is képződik (pl. Soproni-hegység). Keménysége és kémiai stabilitása folytán homokokban, homokkövekben, torlatokban

egyaránt állandó elegyrész (KOCH & SZTRÓKAY 1967; HENRY & GUIDOTTI 1985; DUTROW & HENRY 2011; SPRÁNITZ et al. 2018; FEHÉR & ZAJZON 2021).

A leggyakrabban előforduló turmalintartalmú magmás kőzetek azok, melyek jelentős kémiai frakcionálódáson estek át, mivel a bór – mely a turmalin képződéséhez szükséges egyik legfontosabb tényező és elem – inkompatibilis elemként viselkedik a magmás rendszerekben, azaz nem tud beépülni a fő kőzetalkotó ásványok szerkezetébe, és éppen ezért jelentősen dúsul a frakcionálódott olvadékokban. A turmalin leggyakoribb a savanyú vulkáni és mélységi kőzetekben, mint pl. a riolitban, a gránitban és a gránitpegmatitban (VAN HINSBERG et al. 2011).

Kémiaiailag a magmás turmalin az eredeti magma összetételét és jellemzőit őrzi meg. Az intermedier magmás kőzetekben található turmalinkristályok általában Na-gazdagok, a Fe- és Mg-tartalom alárendelt (pl. sörl, drávit), míg a közepesen frakcionálódott gránitos kőzetekben kristályosodott turmalinok inkább Fe-gazdag összetételűek (pl. sörl, foitit). A növekvő frakcionálódással a turmalin Li-ban gazdagodik, ezáltal erősen differenciálódott pegmatitokban a Li-domináns fajok (elbait és rossmanit) a jellemzők. A mélységi magmás kőzetekkel kapcsolatban, kései szakaszú hidrotermás fluidumok bórban gazdagodhatnak és a környező mellékkőzetekbe áramolhatnak. A bórnak ezen fajta beáramlása turmalin-képződést idézhet elő, turmalin-gazdag kőzeteket kialakítva a magmás kőzetek szegélyénél. Granitoid intrúziók környezetében fellépő metasomatikus átalakulás során gyakori jelenség az Sn-W greizenes érctelepek kialakulása, amihez erős turmalinosodás kötődhet (LONDON et al. 1996; VAN HINSBERG et al. 2011).

A granitoidok után a metamorfizálódott agyagos kőzetek (metapélitek) a turmalinok leggyakoribb befogadó kőzetei. Ezekben az agyagos kőzetekben a turmalin, mint törmelékes vagy diagenetikus ásvány már nagy valószínűséggel korábban is jelen lehetett, és a metamorfózis során ezeken a magokon alkot további növekedéseket az új, metamorf fázis. A progresszív metamorfózis ideje alatt a turmalin csak akkor tud növekedni, ha ehhez a rendszerben megfelelő mennyiségű bór található. Ez a bórtartalom nagyrészt az agyagásványokból szabadulhat fel. Turmalinok sok más metamorf kőzetben megjelenhetnek még, pl. metakvarcitokban, meszes metaüledékekben, gneiszekben, metaevaporitokban (DUTROW & HENRY 2011).

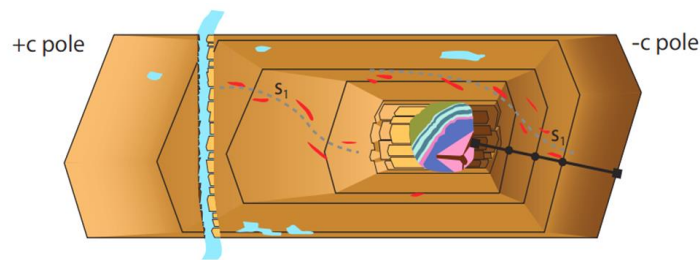
A turmalin a fentiekén túl az üledékes kőzetek egyik jellemző nehézásványa (pl. Mecsek), amely a keletkezési körülményektől függően változó összetételű, termetű és színű, ezért a lehordási terület meghatározásakor döntő jelentőséggel bír. Az üledékes törmelékanyag eltemetődése és kőzetté válása az üledékes kőzetképződéshez vezet, amely gyakran jár együtt új turmalin keletkezésével a

törmelékes szemcséken, vagy egy új turmalin-generáció megjelenésével. Ez az ún. diagenetikus turmalin (HENRY & GUIDOTTI 1985; DUTROW & HENRY 1996; VAN HINSBERG et al. 2011).

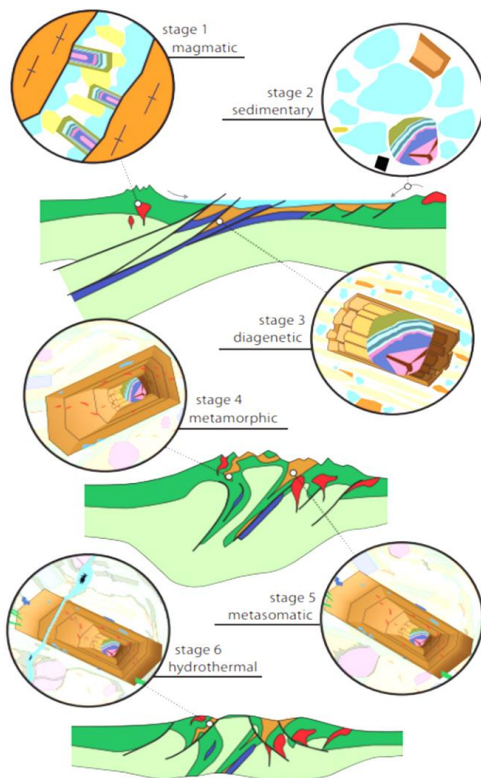
2.3. A turmalin közettani szerepe mint okos ásvány: petrogenetikai indikátor

Ha egyszer létrejött a turmalin, akkor nagy stabilitásának köszönhetően és a kristályon belüli elemdiffúzió elhanyagolható mértéke miatt, jól dokumentálja azt a képződési környezetet, ahol létrejött. Ezért nevezik a turmalint petrogenetikai indikátor ásványnak (HENRY & GUIDOTTI 1985).

A fenti jellemzők következtében a turmalin a keletkezésének körülményeit és kémiai jellemzőit rögzíti, és ami a legfontosabb, megőrzi ezt a kapcsolódó geológiai információt a későbbi vizsgálatok számára. Fontos szempont továbbá, hogy a turmalinszemcsék általában növekedési zónákat hoznak létre fejlődésük során (3. ábra), és ezáltal a kristályok teljes növekedési történetét rögzítik és tárolják, mint ahogy a fák évgűrűi is tárolják a fa növekedési történetére vonatkozó információkat. Ahogy korábban már említésre került, a bór a turmalin kialakulásához nélkülözhetetlen elem, ezért elérhetőségének nyomon követése a Földön kapcsolatot biztosít a turmalin kialakulásának megértéséhez, valamint a kialakulásának és növekedésének időskálájához, mivel a turmalincsoport tagjaiban található a földkéreg fő bórkészlete (DUTROW & HENRY 2011). Kialakulhatnak azonban eltérések is, amikor a növekedés bórhiány miatt leáll, de ezek szintén fontosak és informatívak lehetnek. A turmalin elsődleges mikroszerkezete és összetétele általában jól megőrződik, még akkor is, ha a szemcsék a befogadó kőzetükből kimállanak (4. ábra) és üledékbe halmozódnak át. A turmalin továbbá képes megőrizni a befogadóközet és a fluidumok összetételét tükröző nagy kémiai változásokat, valamint az adott p-T körülményeket, melyek között kialakult (DUTROW & HENRY 2011). Ha ezeket az információkat megfelelően értelmezzük, akkor azok egyértelmű bizonyítékai az ásvány kialakulásának és átalakulási folyamatainak vulkáni, üledékes és metamorf folyamatok során egyaránt (VAN HINSBERG et al. 2011). A jobb megértés kedvéért tudományos diákköri dolgozatomban VAN HINSBERG et al. (2011) ábrasorozatának segítségével mutatom be egy többgenerációs turmalinszemcse fejlődésének a történetét (4. ábra), továbbá azt, hogy a turmalin hogyan rögzíthet olyan geológiai információkat, melyek később fontos adatokkal szolgálhatnak számunkra.

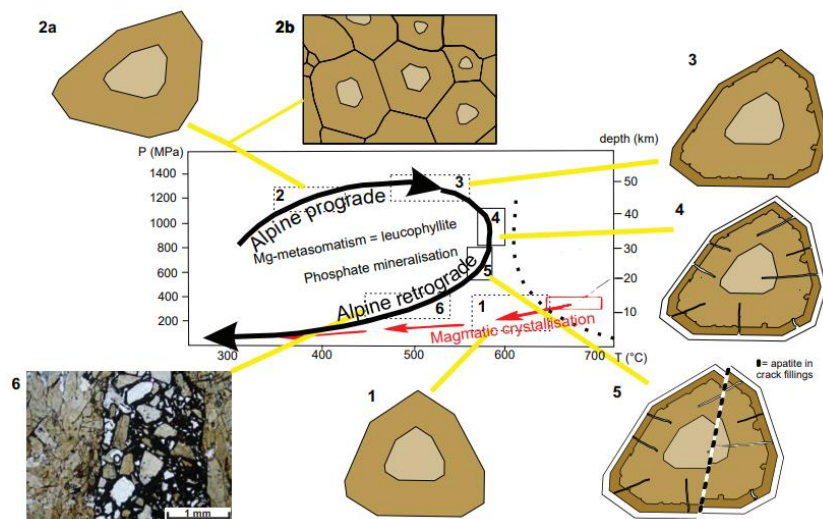


3. ábra: Egy "idealizált" többgenerációs turmalin sematikus rajza, amelynek fejlődésére különféle geológiai folyamatok hatottak. Belülről kifelé haladva a szemcse a következőket tartalmazza: lekerekített törmelékes magot, amely az olvadékból való kristályosodással keletkezett; aszimmetrikus diagenetikus továbbnövekedést, amely +c pólus felé történő preferált növekedéssel jellemezhető; metamorf és metasomatikus zónás továbbnövekedést, amelyek egy zárványokkal jelölt belső foliáció (S_1) nőnek túl; és egy törést, amelyet hidrotermális növekedés zárt le a felületen. A sarkok növekedése és a homokóra-szerű szektorzónásság színárnyékolással jelölve (VAN HINSBERG et al. 2011 alapján egyszerűsítve)



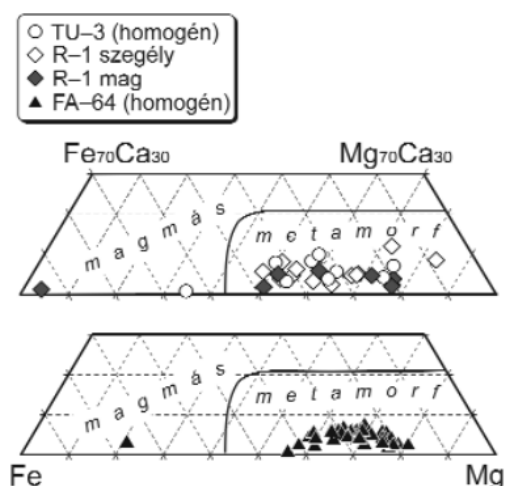
4. ábra: Egy "idealizált" többgenerációs turmalin fejlődéstörténetének állomásai: magmás képződés (1. állomás); üledékes áthalmozás (2. állomás); diagenetikus továbbnövekedés a reliktum szemcséken egy üledékes medencében (3. állomás); progresszív metamorf továbbnövekedés (4. állomás); retrográd metasomatikus növekedés hűlő plutonból, melyből bórban gazdag fluidum származik (5. állomás); növekedés extenziós rideg töréssel ércképződéshez kapcsolódóan (6. állomás) (VAN HINSBERG et al. 2011 alapján egyszerűsítve)

A turmalin petrogenetikai indikátor szerepét számos hazai és nemzetközi kutatás hasznosította már, melyek nagyban hozzájárultak a földtörténeti korokban lejátszódott folyamatok minél pontosabb rekonstruálásához. Hazai példaként megemlítem SPRÁNITZ et al. (2018) munkáját, ahol a turmalin nagy mennyiségben való jelenléte új lehetőséget adott a magmás, metamorf és metasomatikus fejlődés betekintésébe a Soproni-hegység térségben (5. ábra), illetve utalok még FEHÉR (2022) doktori (PhD) értekezésére, melyben a hazai magmás és metamorf képződményekben előforduló turmalinok kristálykémiájával, és a belőlük nyert adatok földtani alkalmazásával foglalkozott.



5. ábra: A turmalinok magmás és metamorf fejlődése a soproni ortogneiszekben és a turmalinitekben (SPRÁNITZ et al. 2018). A szerzők a P-T pályákat TÖRÖK (2001) alapján vázolták fel. (1) A turmalin kristályosodása gránitokban és pegmatitokban, az összetételt (Mg/Fe) befolyásolhatta a befogadó kőzettel való kölcsönhatás. A turmalinban gazdag kőzetek akkor képződtek, amikor a granitoidból B-ban gazdag fluidumok szabadultak fel. (2) Deformált (2a) és poligonális szövet (2b) alakult ki az alpi prográd metamorfózis során, utóbbi a turmalinitekben. (3) Az alpi csúcsmetamorfózis közelében Fe-gazdag sörrel képződött (sötétbarna peremek formájában és repedéskitöltések). (4) A leukofillitképződéssel párhuzamosan (Mg-metaszomatózis) Mg-gazdag drávit keletkezett. (5) Foszfátos ásványosodás, ami a retrográd, nagy sótartalmú fluidumok által okozott foszfátmineralizáció következtében jelent meg a turmalinszemcsék repedéseiben. (6) Kvarc-turmalinkőzetek breccsásodása

Végezetül egy hazai üledékes esettanulmányt ismertetek, amely a Mecsek területéről, a Rékavölgyi (a munka megjelenésekor még Óbányai) Aleurolit Formáció Réka-völgyi szelvényéből származó kőzetminták nehézásvány-vizsgálati eredményeit ismertette. A képződmény ásványos összetételének, illetve szöveti jellemzőinek pontosítása a lepusztulási terület földtani felépítésének, továbbá a kora toarci üledékképződési környezet lehetséges ösföldrajzi kapcsolatainak felvázolását tette lehetővé. A turmalinszemcsék kémiai összetétele a Ca–Fe–Mg mezőre vetítve (6. ábra) mind az Óbányai Aleurolitot képviselő Tu-3 és R-1 minták, mind a Mecseknádasdi Homokkőből származó FA-64 minta esetében metamorf eredetet bizonyított (VARGA et al. 2009).

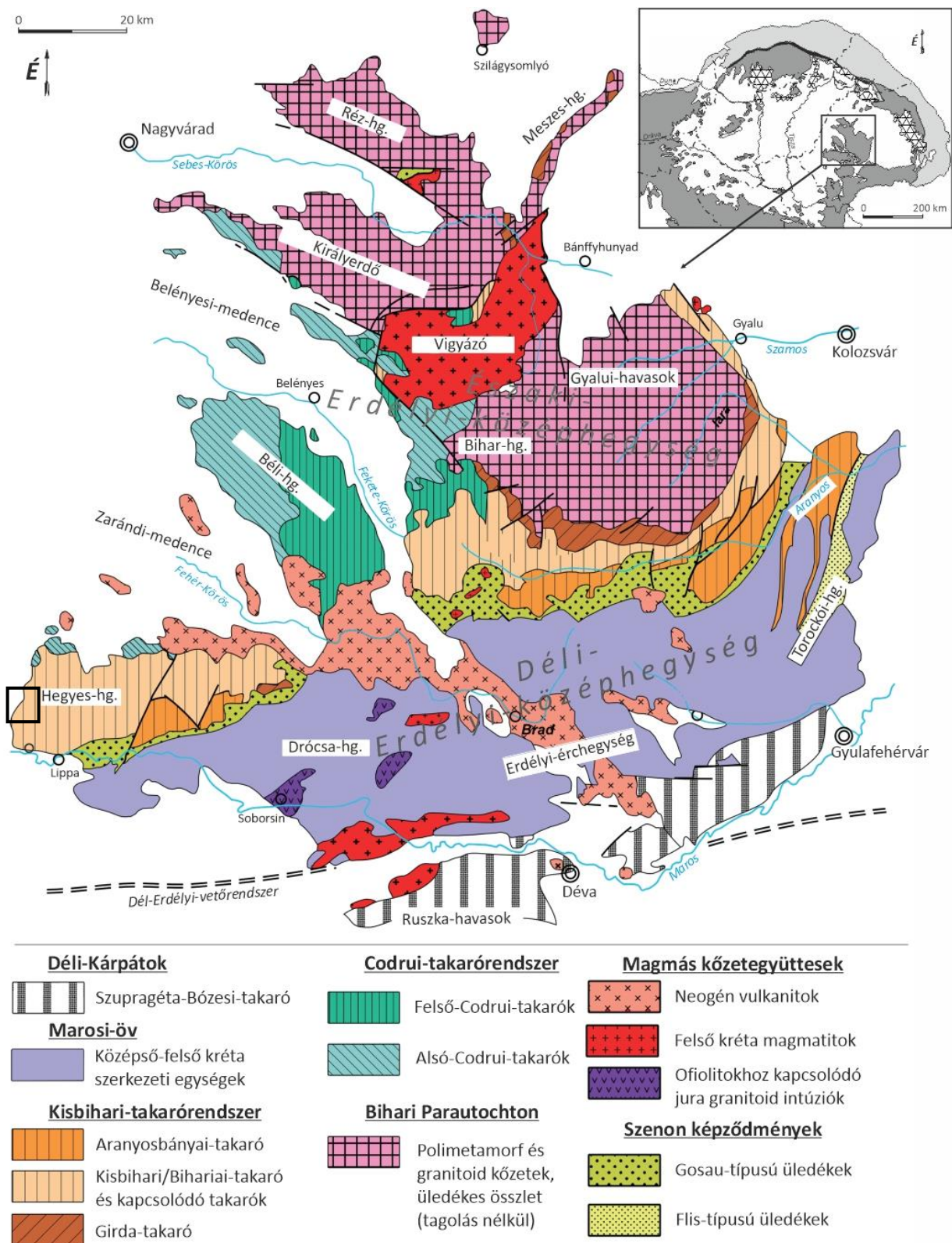


6. ábra: A turmalinkristályok kémiai összetétele és forrásköze közötti kapcsolat (VARGA et al. 2009); a szemcsék Ca-ban szegény, Mg-ban gazdag összetétele metamorf eredetet tükröz (HENRY & GUIDOTTI 1985 után, egyszerűsítve)

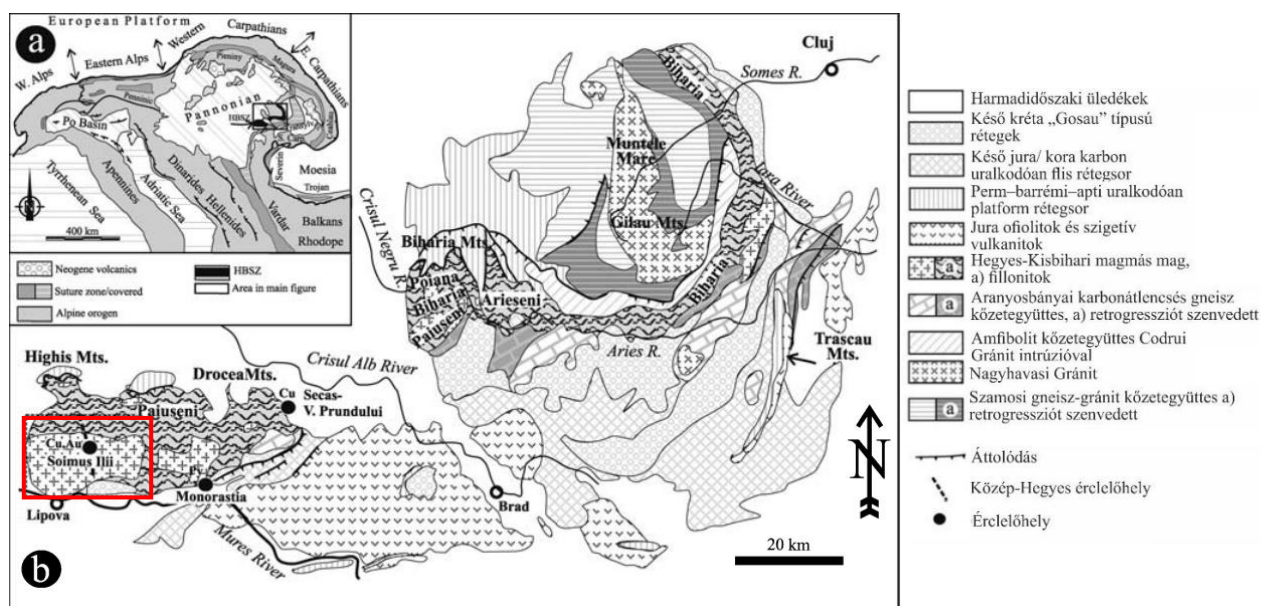
3. A Hegyes-hegység geológiája

Az Erdélyi-középhegység (*Munții Apuseni*) vagy más néven Erdélyi-szigethegység két, markánsan elkülönülő részre, az Északi- (Belső Dacidák) és a Déli-Erdélyi-középhegységre (Transzilvanidák) osztható, melynek egyszerűsített földtani felépítését a 7. ábra mutatja be. A középhegység egy alpi orogén egységet alkot (8. ábra, a), melyben a Hegyes-hegység (*Munții Highișului*, angolul: *Highiș Massif*) az Északi-Erdélyi-középhegység délnyugati peremét képezi. A Hegyes-hegység fő tömegét alkotó magmás sorozat és az ahhoz kapcsolódó, deformációt szenvedett kőzetek (fillonitok, Pajzsi Komplexum) a Kisbihari-takarórendszeren belül találhatóak (BONIN & TATU 2016; 8. ábra, b). A terület északi részén elkülönített szerkezeti öv a Hegyes–Kisbihari nyírási zóna (angolul: *Highiș Biharia Shear Zone*, rövidítve HBSZ), ami valószínűleg variszkuszi zöldpala fáciesű nyírási zónát képvisel egyértelmű alpi felülbélyegzéssel (CIOBANU et al. 2006 és hivatkozásaik).

A HBSZ zóna olyan összetett öv, melyben fillonitokkal körbeölelt magmás testeket találhatunk (késő kambrium, kisbihari magmatitok; kora–középső perm, hegyesi magmatitok). Ezek az alpi szerkezetalakulás során nem szenvedtek számottevő deformációt, ezért eredeti magmás szövetű testekként maradtak fenn (PANĂ et al. 2002). A méterestől kilométeresig változó méretű magmás testek különböző kőzettípusokból állnak, többek között gabbróból, dioritból, alkáligránitból, szienitből, granodioritból és gránitból, továbbá a magmás masszívumon („mágmas magon”) kívül, a fillonitokon belül is előfordulhatnak. A nyírási övben hidrotermális oldatok átalakító hatását is megfigyelték: a nyírásnak kitett kőzeteket „átjárták” a fluidumok, majd a módosító hatásnak köszönhetően másodlagos ásványegyüttesek jöttek létre, mint pl. klorit, epidot, aktinolit, albit, fehércsillám, magnetit, kvarc stb., ezek mellett feltételezhetően metasztatikus eredetű ásványok is képződhettek (CIOBANU et al. 2006). A következőkben a jellemző kőzetasszociációkat és a kapcsolódó korhatározási eredményeket ismertetem.

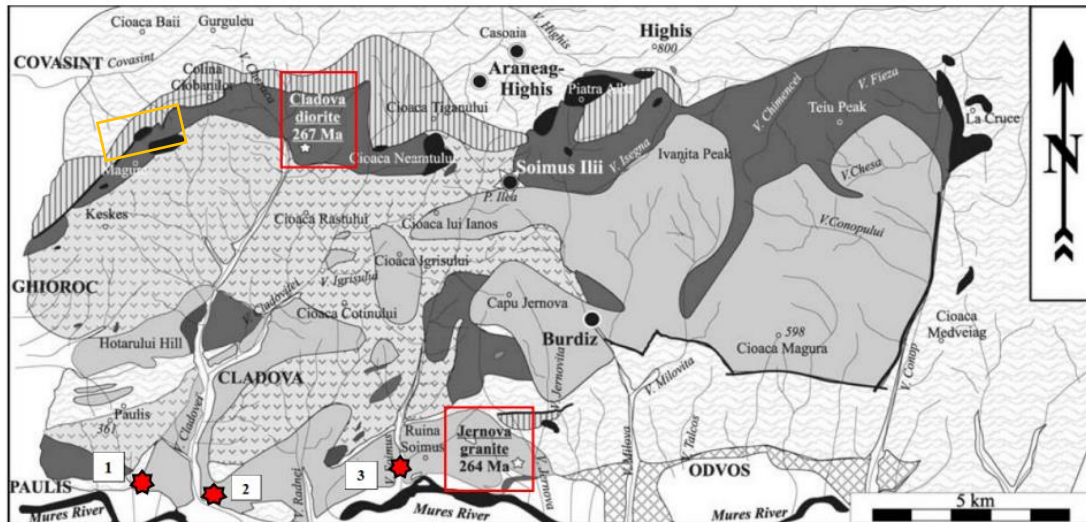


7. ábra: Az Erdélyi-középhegység alpi szerkezeti egységeinek tradicionális térképe (BLEAHU 1976, IANOVICI et al. 1976, SÂNDULESCU 1984, BALINTONI et al. 2009 és IONESCU & HOECK 2010 alapján RAUCSIK & VARGA 2015, kissé módosítva), a térképen jelölt rész (fekete téglalap) a mintagyűjtési területet mutatja a Hegyes-hegységen belül, Kovászi (Covăsint) közelében

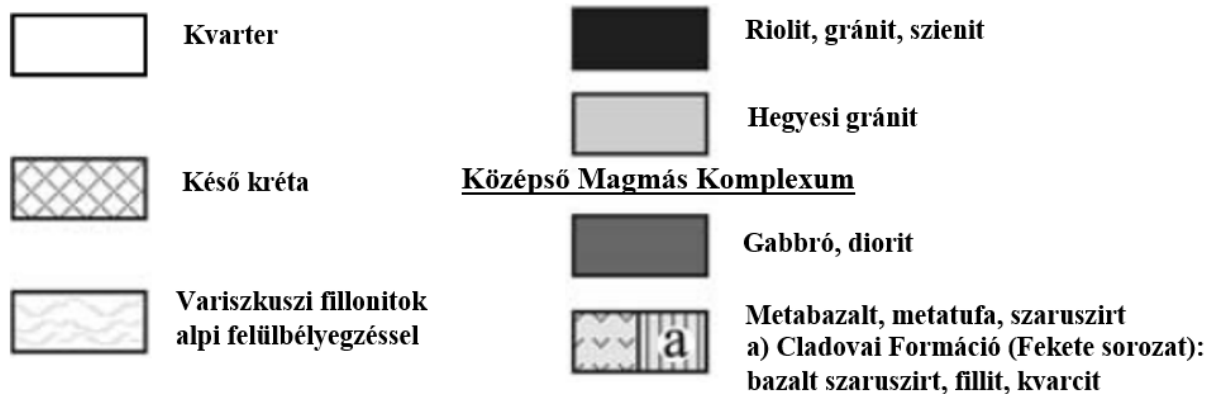


8. ábra: a) az Erdélyi-középhegység elhelyezkedése az alpi orogénen belül. b) az Erdélyi-középhegység geológiai térképe a Hegyes-hegységgel (piros téglalap) és a fillonitokat tartalmazó Hegyes-Kisbihari nyírási övvel (CIOBANU et al. 2006 alapján SZÁLI 2021, kissé módosítva)

A Hegyes-hegység magját képező magmás kőzetek korai bázikus vulkanitokat és plutonokat is tartalmaznak („Középső Magmás Komplexum”, „ofiolit komplexum”), melyeket gránitos és bázikus intrúziók követtek a térségben (IANOVICI et al. 1976). Régebben a hegyes-hegységi granitoidokat variszkuszi (herciniai) szinorogén intrúzióknak tekintették (pl. IANOVICI et al., 1976), mivel a Hegyes-hegység gránitjából nyert K–Ar teljeskörű elemzés alapján 350 millió éves koradatokat kaptak. Később PANĂ et al. (2002) eredményei módosították ezt a besorolást. Vizsgálataik során a magmás intrúziókból (a cladovai dioritból és a jernovai porfiros mikrogránitból; 9. ábra) származó cirkonkristályok U–Pb kormeghatározását végezték el, melyek segítségével pontosabb és megbízhatóbb korolás történt. A vizsgálatok alapján 264–267 millió éves cirkonkorokat kaptak, melyet később SZEMERÉDI et al. (2021) szintén igazoltak a pálosbarackai (Barațca) kőfejtőben gyűjtött középszemcsés gránitokból, a Cladova-völgyi kőfejtőből, valamint a solymosvári (Șoimuș) kőfejtőben gyűjtött gránitokból ($267,8 \pm 4,4$; $263,2 \pm 4,4$ és $262,9 \pm 4,1$ millió év). Ezen adatok alapján arra következtettek, hogy a „mágmás” mag egy rövid életű permi magmás eseményhez tartozott, amely az Erdélyi-középhegység harmadik magmás epizódjának részét képezte (CIOBANU et al. 2006 és hivatkozásaik). Mind a Hegyes-hegységben, mind a Kisbihari-masszívumban a magmás magokat felülbélyegzés érte a különböző nyírási és retrográd eseményeknek köszönhetően, amelyek egyben a fillonitok (Pajzsi Komplexum) kialakulásáért is felelősek voltak a HBSZ-en belül (CIOBANU et al. 2006).



Magmás magok (kora középső perm)



9. ábra: A Hegyes-hegység geológiai térképe (CIOBANU et al. 2006). A PANĂ et al. (2002) által közölt U–Pb cirkonkorokat piros téglalap, a Kovászi környéki saját kőzetmintagyűjtés területét narancssárga téglalap, a SZEMERÉDI et al. (2021)-féle lelőhelyeket piros csillagok jelölik: 1–pálosbarackai kőfejtő; 2–Cladova-völgyi kőfejtő; 3–solymosvári kőfejtő

A granitoid intrúziók és a befoglaló kőzetek érintkezési zónájában (kontakt aureola) metamorf kőzetváltozatokat figyeltek meg. A biotit a legfontosabb ásvány a szaruszirt-társulások azonosításában, mivel az amfibol (aktinolit) csak kisebb intrúziók kontakt zónájában jelenik meg a magmás mag (masszívum) északi részén. Itt cordierites szaruszirtek szintén előfordulnak fillites megjelenésű palákban („Fekete sorozat”), amelyet Cladovai Formációként is ismerünk (CIOBANU et al. 2006). A formáció jellegzetes fekete színét valószínűleg a magnetitkristályok adják, melyek átalakult formában (maghemit és/vagy martit) biotittal és poikilites turmalinnal társulnak (BONIN & TATU 2016). A Cladovai Formáció rétegtani és kőzettani besorolása nem egységes, korábban permi üledékes fedőképződménynek vélték, esetleg az ofiolitos komplexummal együtt kontakt metamorfózist szenvedett karbon összletnek tartották (CIOBANU et al. 2006). PANĂ & RICMAN

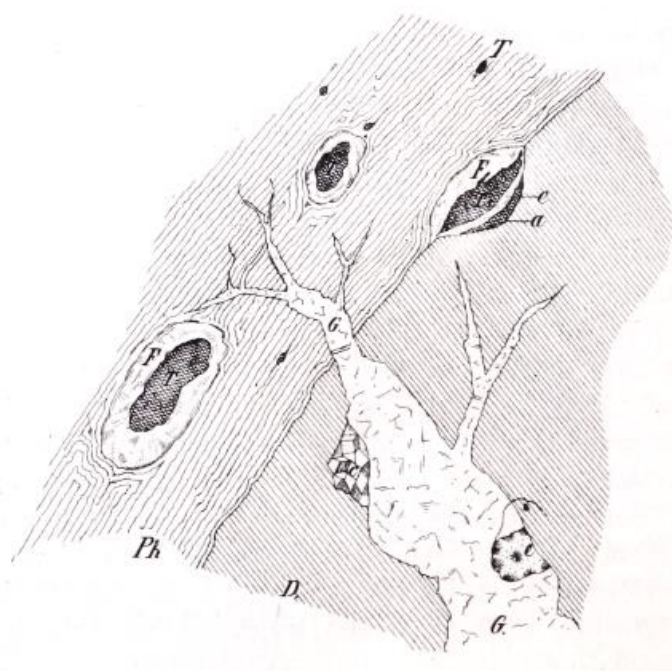
(1988) értelmezése szerint azonban bazalt szaruszirtekről van szó, és szerintük a kifejlődések alapján a Középső Magmás Komplexumba sorolandók (9. ábra). BORDEA & BORDEA (1993) szerint viszont üledékes képződményről van szó. A Hegyes-hegység területén megtalálható sötét színű kőzetek (szaruszirt), melyeket a Cladovai Formációval azonosítottak, analógiát mutatnak a Bihar-, valamint a Codru-Moma-hegységben, leírt lilás árnyalatú bioturbált („féregjáratos”) kőzetekkel (agyagkő, aleurolit, homokkő). Ezen képződményt Vermikuláris Homokkő Formációként is említik (BORDEA & BORDEA és hivatkozásaik), és mind korban, mind litológiai szempontból hasonlóak egymáshoz. Kutatásaik alapján ezen formációt idősebbnek (alsó perm) gondolják, míg a gránitos intrúziókat fiatalabbnak (felső perm), melyek hidrotermálisan kontakt metamorfizálták az üledékes összletet.

Hasonlóan az A-típusú felzikus (alkáliföldpátos gránit, hibrid granodiorit) magmás komplexumokhoz, a hegyesi első hidrotermális epizód valószínűleg röviddel a magmabenyomulást követően, a hűlés alatt következett be. A magmás test hűlése során az eredeti magmás földpátok paragenézise átalakult, másodlagos ásványként mikroklin, albit képződött, vagy a metasztatikus hatás teljes albitosodást eredményezett, és ezen hidrotermális folyamat a teljes felzikus kőzetsorozatot érintette. A mafikus kőzetváltozatokban a vízmentes magmás társulások (klinopiroxén + plagioklász + vas ásványok) hidratált ásványokká (amfibol + biotit) alakultak. A fluidumok szételegyedése késői turmalintartalmú greizenes erek kialakulását eredményezte, melyek Sn-ásványosodást is tartalmaznak. Ezen greizenes erekben a turmalin mellett kvarc, csillám, mikroklin, albit, kassziterit és topáz szintén előfordulhat. A kapcsolódó erek a masszívumban később lejátszódó nyírási epizódokat megelőzően keletkeztek (BONIN & TATU 2016).

A Hegyes-hegység fő tömegét alkotó magmás sorozat mellett jelentős területen fordulnak elő a deformációt szenvedett kőzetváltozatok, melyeket összefoglalóan fillonitoknak neveznek. A fillonitok protolitja bizonytalan, bár – legalábbis részben – magmás (pl. granitoid), illetve üledékes kőzetekből is származhatnak. A nyírási zónákhoz rézércesedés kapcsolódik, köszönhetően a fluidumoknak. Az ércesedés mellett főként epidot-albit-kvarc érkítőltő ásványokkal találkozhatunk, melyek a Pajzsi Komplexumban is megjelennek. Az elsődleges ércesedés kalkopiritet, piritet, bornitot és kobaltint tartalmaz, melyeket másodlagos eseményként Au-Pb-Bi-Te-S ásványasszociáció váltott fel. Az első, fluidumhatással is társult deformációs fázis valószínűleg már a középső perm-ben lejátszódott, amelyet későbbi alpi felülbélyegzés és elemmobilizáció követett a kréta időszakban. Összefoglalva tehát a Hegyesi Masszívumban kialakult törések és nyírási zónák kedveztek a fluidumok áramlásának és így azok teljes egészében átjárhatták a kőzeteket (CIOBANU et al. 2006; BONIN & TATU 2016 és hivatkozásaik).

3.1. Turmalinok előfordulása a Hegyes-hegység területén

A turmalinok előfordulásáról már LÓCZY (1876) beszámolt a Hegyes-hegység területéről, mint pl. Ópálos (*Păuliș*) környezetéből. Terepi megfigyelései alapján az általa fillitként (*phyllit*) azonosított kőzetben, valamint a fillit és diorit határán írt le „gömböket”, melyek magját turmalin halmaz alkotta, és amelyekben néhány kristálylapot is felismert. A fillitben található turmalinok között megfigyelt egyedi turmalin szemcséket, valamint góccokat, melyeket egy felzites burok vesz körül, ami a kontakt határon nem volt megfigyelhető (10. ábra). A fillit és diorit kontakt határán pedig ezen felzites burkot felváltotta az epidot és amfibol, mint kísérő ásvány. A területen LÓCZY (1876) által leírtakat később többen is megfigyelték szaruszirt kőzetekben, ahol a turmalint hidrotermális kontaktmetamorfózis melléktermékeként írták le (BORDEA & BORDEA 1993). A korábbi fejezetben már megemlítettem, hogy a granitoid intrúziók, valamint a befoglaló kőzetek kontakt zónájában metamorf kőzetváltozatok figyeltek meg, amelyeket a „Fekete sorozatba” (vagy Cladovai Formációba) soroltak (CIOBANU et al. 2006). A formációban leírt szaruszirtok ugyancsak előfordulnak a fillites megjelenésű palákban, melyekben poikilites turmalinokat írtak le (BONIN & TATU 2016). A Hegyes-hegység fő tömegét adó magmás masszívum területéről pedig greizenes ereket figyeltek meg, amelyek turmalint is tartalmaztak (BONIN & TATU 2016). A könnyebb eligazodás kedvéért az 1. táblázat segítségével mutatom be, hogy az egyes szerzők milyen turmalinokat, valamint kísérő ásványokat írtak le az adott területről.



Jelmagyarázat:

Ph – fillit

D – diorit

G – gránit

F – földpát (felzit, magnetit és hematit)

T – turmalin

a – amfibol

c – kalcit

e – epidot

10. ábra: LÓCZY (1876) terepbejárása során készített rajza

1. táblázat: A turmalin előfordulása a Hegyes-hegységben

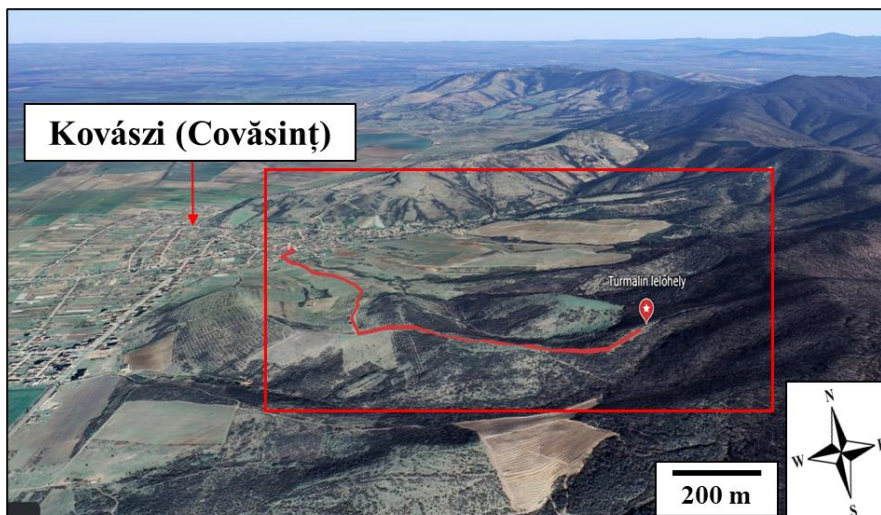
Szerzők	A turmalin szöveti megjelenése és kísérő ásványtársulásai
LÓCZY (1876)	1. Phyllit (fillit): a) egyedi gömb alakú turmalin szemcsehalmozok (0,3 mm), melyek szétszórva helyezkednek el a fillitben (a kristályalak kivehető) b) felzites burokkal rendelkező turmalin (néhol a kristálylapokat is fel lehet ismerni), érintkezési zónájában oktaéderez magnetit szemcsék (1–2,5 mm), klorit, valamint a felzites alapanyagban hematitlemezkek
	2. Phyllit (fillit) és diorit kontakt határán: felzites burokkal nem rendelkező turmalin gócok, ahol a felzites anyag helyét epidot és amfibol veszi át
BORDEA & BORDEA (1993)	1. Cladovai Formáció („Fekete sorozat”): hidrotermás kontaktmetamorf turmalin, melyet biotit, mikroklin és magnetit kísér
BONIN & TATU (2016)	1. Cladovai Formáció („Fekete sorozat”): poikilites megjelenésű turmalin, melyet magnetit (átalakult maghemit és/vagy martit) és biotit kísérnek
	2. Magmás Komplexum: A-típusú felzikus csoport (albitos gránit, riolit, gránitporfír) a) greizenes erek, melyekben a turmalin mellett kvarc, csillámok, mikroklin, albit, kassziterit és topáz fordul elő b) másodlagos ásványként szintén megjelenik a turmalin (a gránitban)

4. Mintagyűjtés, vizsgálati módszerek

4.1. Mintagyűjtés

A tudományos diákköri dolgozatomban ismertetett turmalintartalmú kőzetmintákat az Erdélyi-középhegységben található Hegyes-hegység északnyugati részén, Kovászi (*Covășinț*) településtől délkeletre, a Magurára felvezető úton (9. és 11. ábra) gyűjtöttem. A minták természetes felszíni feltárából és annak törmelékéből származtak (12. ábra). Munkám során témavezetőm, Dr.

Raucsikné Dr. Varga Andrea és a terepi program vezetője, Dr. Raucsik Béla voltak segítségemre. Tudományos diákköri dolgozatomban összesen 24 ásvány- és kőzetpéldányt vizsgáltam. A bemutatásra kerülő minták közül 16 darabot (jelölésük: HK1 2021–HK16 2021) gyűjtöttem, további 3 darabot pedig témavezetőm Dr. Raucsikné Dr. Varga Andrea (HK17 2021–HK19 2021) bocsájtott rendelkezésemre a leíráshoz és az anyagvizsgálathoz, valamint korábban (2018. október) történt előzetes terepbejárás során témavezetőm 4 darab mintát gyűjtött (KDK 3F, KDK 3T, KDK 2, KDK 2B). További 1 minta Dr. Pápay László gyűjtéséből (HK20 2021) származott.



11. ábra: A Kovásziban (*Covășinț*, Románia) gyűjtött turmalinos minták lelőhelyét szemléltető műholdfelvételek (Forrás: Google Earth) GPS: 46°11'03.4"É 21°37'32.8"K; jelmagyarázat: N = Észak



12. ábra: Aplitos eret tartalmazó kőzet a mintagyűjtés helyszínéről (Fotót készítette: Dr. Raucsikné Dr. Varga Andrea)

4.2. Vizsgálati módszerek

Tudományos diákköri munkám során először a begyűjtött minták makroszkópos leírását végeztem el, majd egyes minták esetében binokuláris mikroszkóp segítségével felvételeket készítettem a makroszkópos megfigyelések pontosítása érdekében (2. táblázat).

Az ásványos összetétel pontosítására bizonyos mintákból (pl. HK2 2021, HK17 2021, KDK 3T 2018) röntgen pordiffrakciós (XRPD) vizsgálatokat készítettünk. Az XRPD fáziselemzés Dr. Raucsik Béla irányításával történt az SZTE TTIK Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszéken. Az XRPD vizsgálat során a kiválasztott minták szeparált területeiről harapófogó és spatula segítségével törtük és pattintottuk le a vizsgálandó darabokat, ügyelve a szeparátum homogenitására. Achátmozsárban a letört darabokat a $\sim 10\text{ }\mu\text{m}$ -os szemcsenagyság elérése érdekében porítottuk, majd a makroszkóposan homogén mintákból 0,2–0,2 grammot kimértünk. A kapott porpreparátumokat csökkentett („zéró”) háttérű Si mintatartón mértük Rigaku Ultima IV készülékkel (Bragg–Brentano geometria, sugárforrás: $\text{CuK}\alpha$, csőfeszültség: 50 kV, csőáram: 40 mA, monokromátor: hajlított grafit egykristály, mérési tartomány: $3\text{--}80^\circ\ 2\theta$, adatgyűjtési gyakoriság: $0,02^\circ$, goniométer sebesség: $1^\circ/\text{perc}$). A kapott adatokat Match!3 szoftver segítségével közösen értékeltük ki, majd a meglévő nyers diffraktogramokból az azonosított reflexiók listáját felhasználva készítettem el a dokumentáló ábrákat.

A részletes petrográfiai vizsgálatra kiválasztott mintákból sztenderd vékonycsiszolatok készültek az SZTE TTIK Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszékén (készítők: Bencsik Attila és Granyák Viktor). A minták petrográfiai leírását $30\text{ }\mu\text{m}$ vastagságú polírozott vékonycsiszolatokon végeztem el, Brunel és Olympus (BX41) polarizációs mikroszkópok segítségével. A mintákról Olympus DP73 kamera és Stream Essentials szoftver használatával fotókat készítettem. Egyes kőzetminták esetében ráeső fényes (RL) és UV (ultraibolya) gerjesztéses felvételeket is készítettem. Az RL vizsgálatokra az opak ásványok megfigyelése céljából került sor, míg az UV gerjesztés a poikilites turmalinszemcsék és a kísérő ásványok esetleges UV-aktivitásának kérdésessége miatt történt. Az elkészített vékonycsiszolatok mindegyikéről külön petrográfiai leírást készítettem, ám a dolgozatban a nagyobb kőzettípusok leírását összevontan mutatom be.

A kérdéses ásványfázisokat (pl. földpát, opakásványok, turmalin) THERMO DXR Raman mikrospektroszkóppal azonosítottam. A mérések előkészítésében és a műszer használatának megismertetésében Dr. Fintor Krisztián volt a segítségemre. A mérések kivitelezése témavezetőim segítségével történt, az egyes mintákról készített felvételeket és Raman spektrumokat jómagam készítettem az SZTE TTIK Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszéken. A gerjesztő

hullámhossz 532 nm, a lézerteljesítmény 0,2–10 mW, míg a tűlyukapertúra átmérője 25 μm volt. A Raman spektrumokat a RRUFF adatbázis (<http://rruff.info>) alapján értékeltem ki.

A továbbiakban két minta került kiválasztásra, amelyek közül a KDK 3T 2018 mintát előzetes ásványkémiai elemzésre, míg a HK17 2021 mintát előzetes elem térképezésre és kormeghatározásra különítettük el.

A KDK 3T 2018 minta esetén a lokális kémia összetétel meghatározása elektronsugaras mikroanalízissel („mikroszonda”) történt, hullámhossz diszperzív (WDX) röntgenspektrométer alkalmazásával a Miskolci Egyetem Ásvány- és Kőzettani Intézeti Tanszékén Dr. Zajzon Norbert és munkatársai által. Összesen 17 db mérés történt 20 kV gyorsítófeszültség és 20 nA mintaáram mellett. A mérés kiértékeléséhez a SELWAY & XIONG (2007) által kidolgozott számolótáblát használták. Az elemeket oxidos összetétel szerint adták meg, melyek közül a Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Mn és Fe részarányát számolták ki a mintákban (ZAJZON szóbeli közlés, 2022).

A HK17 2021 minta esetén mikroszkopikus röntgenfluoreszcencia-térképezés történt Horiba Jobin Yvonne XGT-5000 röntgenfluoreszcencia spektrométer segítségével (elemző: Dr. Schubert Félix), 30 kV gyorsítófeszültség és 0,5 mA áramerősség mellett. Ezt követően Hitachi S-4700 típusú pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) és Bruker (Röntec) QX2 típusú energiadiszperzív röntgenspektrométerrel (EDS) történtek vizsgálatok, 15–20 kV és 10 μA mérési paraméterek mellett Dr. Schubert Félix és Dr. Raucsikné Dr. Varga Andrea segítségével az SZTE TTIK Fizikai, Kémiai és Anyagtudományi Tanszéken. A kiválasztott vékonycsiszolatot a vizsgálat előtt arany bevonattal láttuk el, majd a mintabehelyezést követően a vizsgálatra kiválasztott területen – felügyelet mellett – jómagam irányítottam a készüléket. A mintából szeparált, makroszkóposan homogén turmalinból K/Ar korhatározás történt a debreceni Izotóp Klimatológiai és Környezetkutató Központban (IKER). A méréseket MAP-215 típusú nemesgáz tömegspektrométerrel Dr. Benkó Zsolt végezte.

Tudományos diákköri dolgozatomban a WHITNEY & EVANS (2010) alapján készített ásványnév rövidítéseket alkalmaztam (3. táblázat).

2. táblázat: A részletesen vizsgált minták jegyzéke az elvégzett anyagvizsgálati módszerek feltüntetésével

Minta jellege	Mintaszám	Binokuláris mikroszkóp	XRPD	Vékonycsiszolat (db); Polarizációs mikroszkópi vizsgálat	RL	UV	RAMAN	SEM	EMPA	μXRF	K/Ar
Turmalinos granitoid	HK2 2021	X	X	2							
Turmalinos aplit	HK6 2021	X		3							
Turmalinos szaruszirt	HK8 2021	X	X	2	X						
Turmalinos kvarc–földpát érkitöltés	HK9 2021	X		1							
Turmalinos szaruszirt	HK11 2021	X	X	1	X		X				
Turmalinos aplit	HK12 2021			1		X					
Breccsa	HK16 2021			1							
Turmalin ásványtöredék	HK17 2021	X	X	1	X	X	X	X		X	X
Turmalintartalmú aplit ér szaruszirtben	HK18 2021	X	X								
Turmalinos szaruszirt	HK19 2021	X	X								
Kvarc–földpát érkitöltés	KDK 3F 2018		X	1	X		X				
Turmalinos kvarc–földpát érkitöltés	KDK 3T 2018		X	2		X			X		
Csillámos szaruszirt	KDK 2			1	X						
Szaruszirt	KDK 2B		X	1	X						

3. táblázat: Tudományos diákköri dolgozatomban használt ásványnév rövidítések

Afs: alkáliföldpát (csoport)	Amp: amfibol (csoport)	Bt: biotit
Cal: kalcit	Chm: chamozit	Ep: epidot
Fsp: földpát (csoport)	Gth: goethit	Hem: hematit (vascsillám)
Kfs: káliföldpát	Ms: muszkovit	Opq: opak ásvány
Ph: fengit	Phl: flogopit	Pl: plagioklász (csoport)
Qz: kvarc	Ttn: titanit	Tur: turmalin

5. Makroszkópos és binokuláris mikroszkópi megfigyelések

A makroszkópos leírás során megfigyeltem a turmalingazdag minták mellékközeiteinek a megjelenését és dokumentáltam a jellemző paramétereiket (13–15. ábra). A leírásban külön kitérek a kőzetpéldányokban megfigyelhető turmalinok fizikai megjelenésére (szín, habitus, méret), illetve az egyéb kísérő ásványok fizikai tulajdonságaira, mely adatokat a mellékletben szereplő *M1. táblázat* foglalja össze. A kovászi turmalingazdag minták befogadó kőzettípusaik szerint négy altípusba sorolhatóak.

Az első csoportba a granitoid jellegű kőzetek tartoznak (későbbiekben Gr). Hússzínűek, világosabbak, mint az aplitos minták. Szövetük holokristályos, többségében 1–5 mm

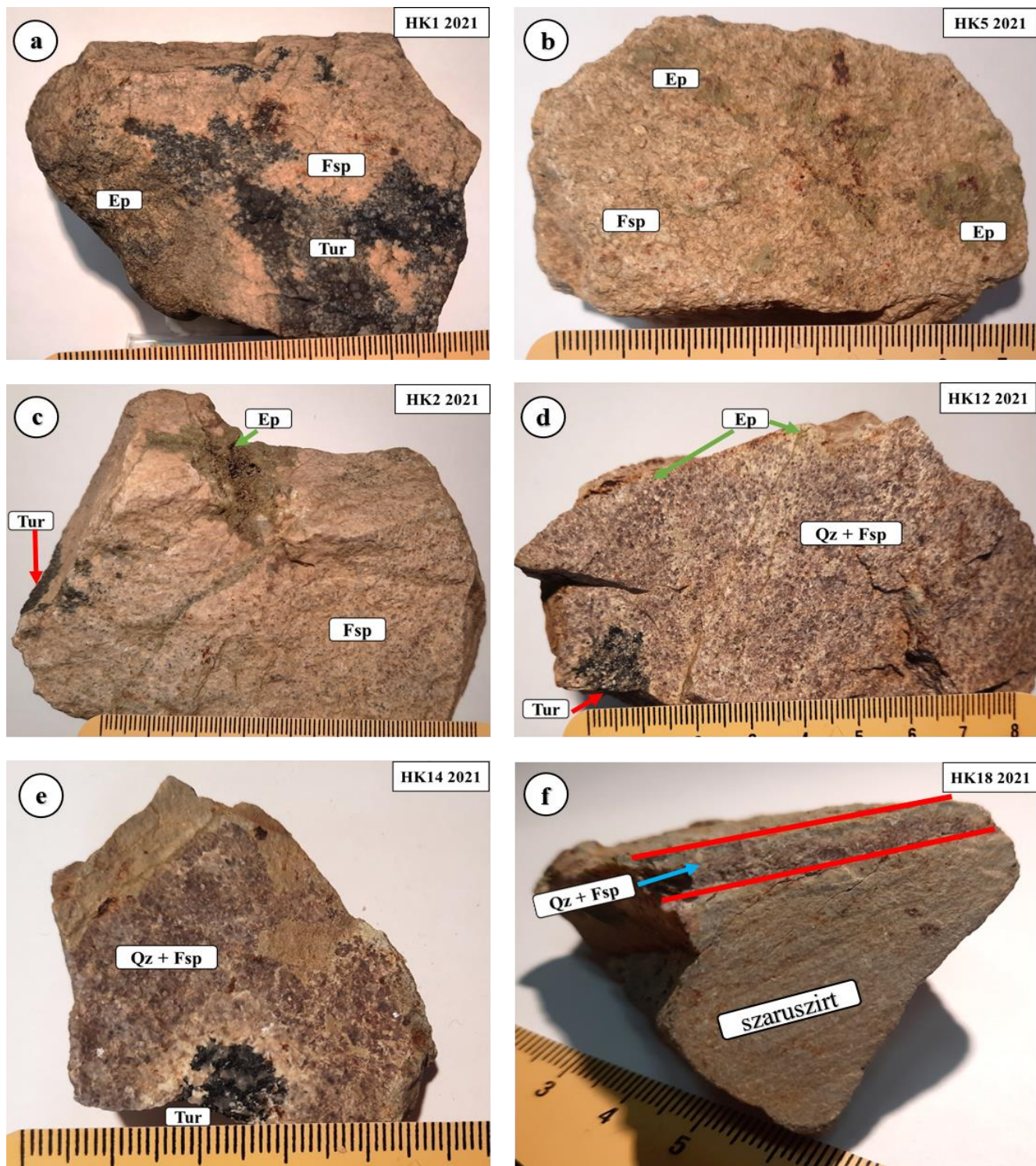
mérettartományba eső szemcsékkel, azaz durva-, középszemcsés kőzetekről van szó. A kristályok relatív mérete alapján a kőzetek ekvigranulárisak, az elegyrészek döntő többsége xenomorf (pl. szürke kvarcok), de akadnak hipidiomorf szemcsék is (pl. táblás hússzínű földpát; 13. ábra). A fekete színű turmalinok sugaras fészkekben jelennek meg, nem figyelhetőek meg jól fejlett lapok, töredezettség vagy rostozottság, valamint méretük viszonylag széles tartományban változik (0,5–7 cm). A legtöbb mintán megfigyelhetőek 1–2 mm-es átmérőjű, homogén, pisztáciazöld színű epidotos erek, melyek a kőzetpéldányok egészét átfutják (13. ábra–HK1 2021, HK2 2021, HK5 2021). A HK2 2021 mintán látható egy 3 cm átmérőjű epidotos fészkek (üregkitöltő), amelyben több mm-es nagyságú, jól fejlett epidot kristályok is megfigyelhetőek (15. ábra). A kőzetmintákon szintén láthatóak barnás, narancssárgás vas-oxidos felületi elszíneződések, valamint elszórtan láthatunk opak ásványokat.

A második csoportot az aplitos jellegű példányok alkotják (későbbiekben Ap). Sötétebb árnyalatúak (málnavörös), mint a Gr-csoportba tartozók. A kőzetek szövetüket tekintve holokristályosak, az elegyrészek itt is elkülöníthetők szabad szemmel egymástól. Szemcséik többnyire 1–3 mm mérettartományba esnek, azaz közép–finomszemcsések. A kristályok relatív mérete alapján a minták ekvigranulárisak, az elegyrészek döntő többsége xenomorf szürke kvarc és málnavörös földpát. Gyakran szabdalják őket néhány mm-es (1–2 mm) epidotos erek (13. ábra–HK12 2021), valamint az epidotkristályok a kőzetek felszínén is megjelennek (15. ábra–HK18 2021). Egyes példányok esetében a táblás, lemezes megjelenésű, szürke, fémes fényű vascsillám habitusú hematit is felbukkan (15. ábra–HK18 2021), illetve vörösesbarna vas-oxidos (hidroxidos) felületekkel is találkozhatunk. Az itt talált turmalinok hasonlóak a granitoid jellegűekhez, azaz fekete színűek, valamint sugaras fészkekben, tömeges halmazokként jelennek meg, és nem figyelhetőek meg jól fejlett lapok vagy rostozottság.

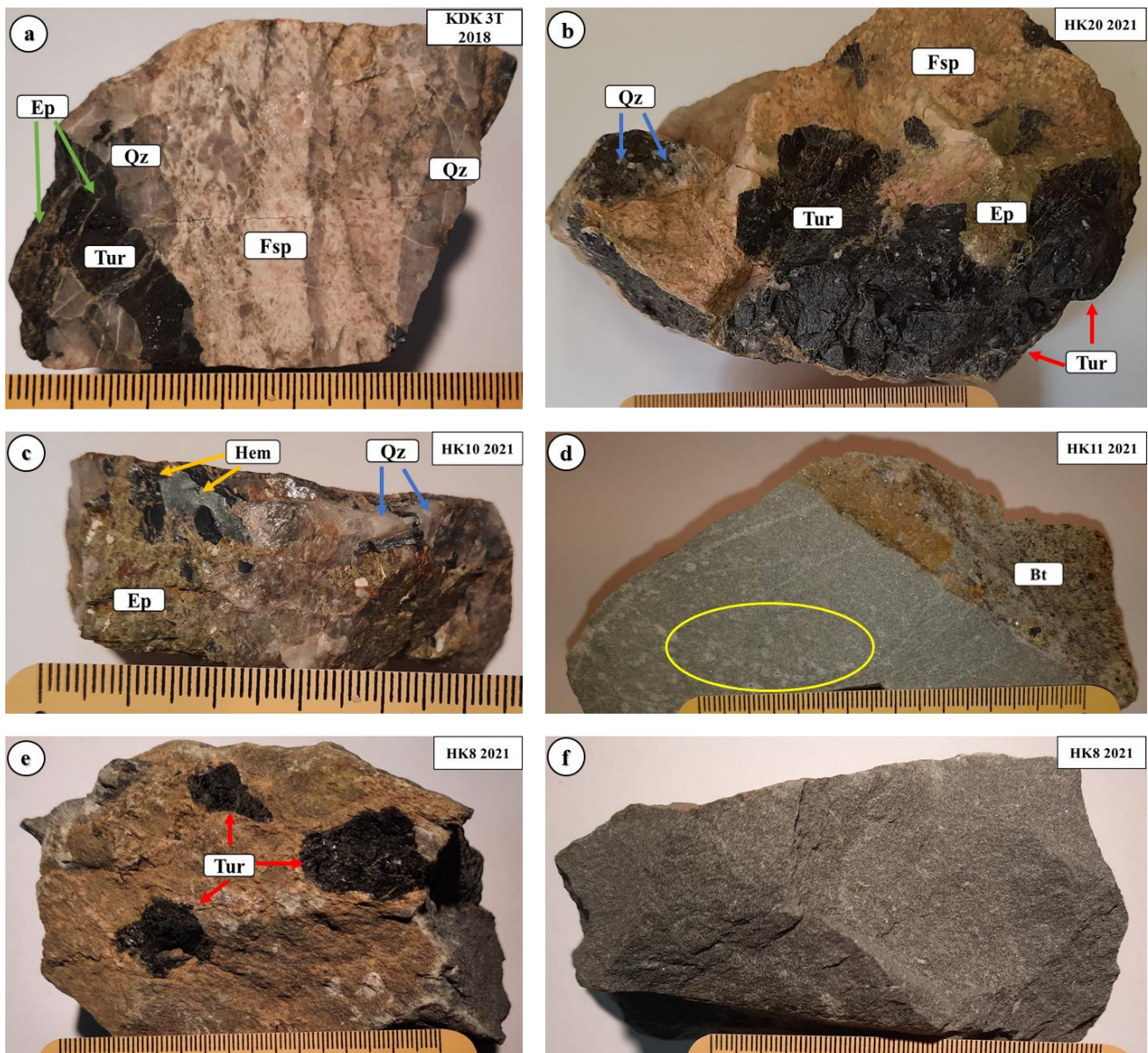
A harmadik csoportot a kvarc-földpát érkítőltésből származó példányok alkotják (későbbiekben Kfé), melyek döntő többsége hasonlóan a Gr jellegű mintákhoz, világosabbak, mint az Ap példányok, köszönhetően a xenomorf szürke kvarcoknak és hússzínű földpátoknak. A turmalinok itt érkítőltőként jelennek meg (14. ábra–HK10 2021, HK20 2021, KDK 3T 2018), színük minden esetben fekete. Méretük a mintákban eléggé változó, többségében 3–4 mm-es nagyságban fordulnak elő, de láthatunk több cm-es (2–3 cm) turmalin fészkeket is. A HK17 2021 minta esetében egy turmalin ásványtöredékről van szó, de a HK16 2021 és KDK 3F példányok esetében nem volt megfigyelhető turmalin makroszkóposan. A kőzetminták jelentős részénél láthatóak 1–2 mm-es homogén pisztáciazöld epidotos erek, melyek átjárják a kőzeteket. Ezen erek közül több átvágja a fekete turmalinos érkítőltéseket (14. ábra–KDK 3T). Több példányon is megfigyelhetőek

vörösbarna vas-oxidos felületi elszíneződések, valamint apró (néhány mm-es) opak ásványok. Az ebbe a csoportba tartozó kőzetmintákon látható még fémes fényű, szürke, vascsillám megjelenésű hematit.

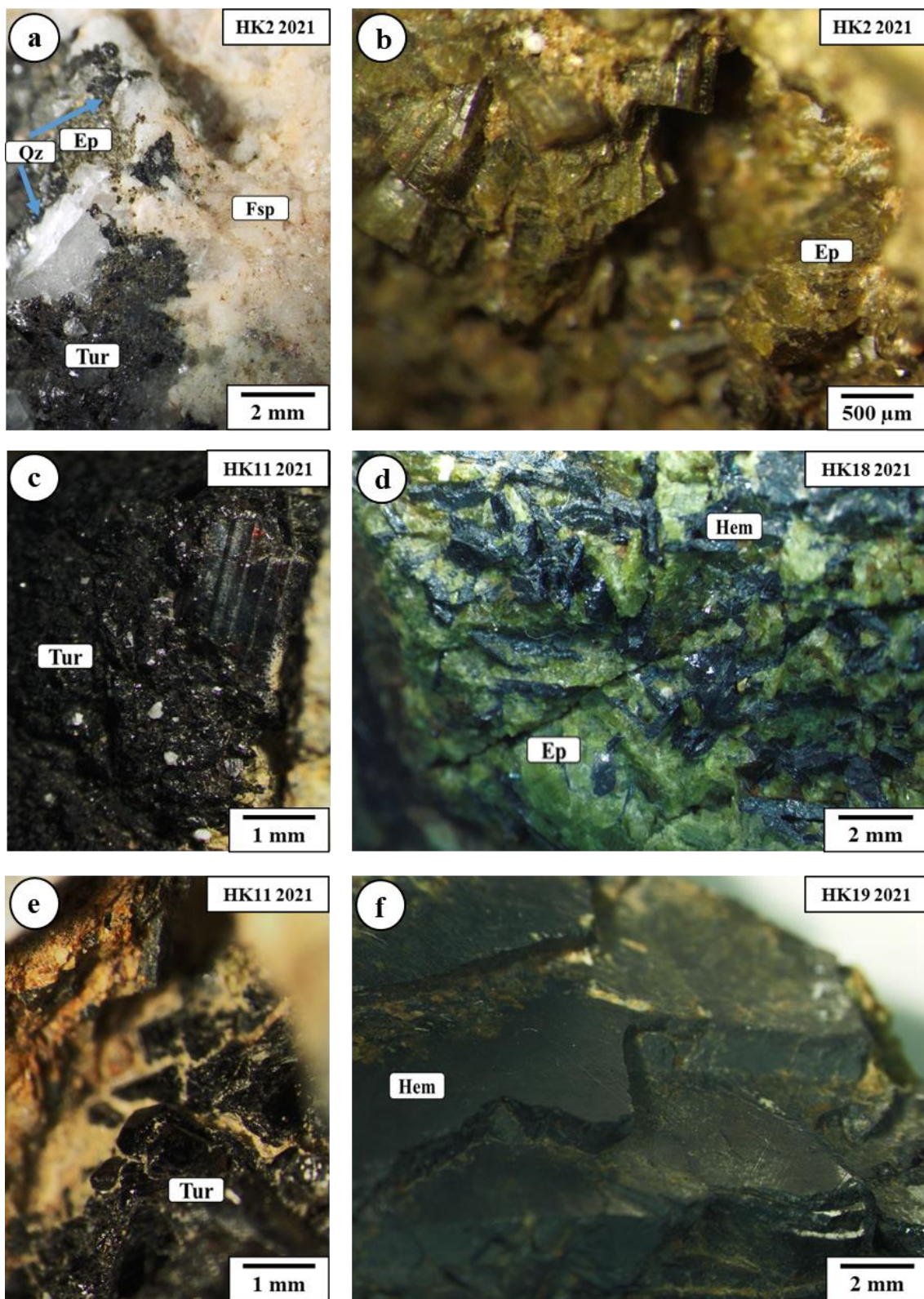
A negyedik csoportot a szaruszirtes turmalinos minták képezik (későbbiekben Sz), melyek döntő többsége szürke színű, sötétebb árnyalatú, mint a magmás eredetű mintáké. A szemcsék mérete alapján finomszemcsés szaruszirt lehet a befogadóközet. A kőzetben becsillanó szemcséket is láthatunk, ezek nagy valószínűséggel csillámok (14. *ábra*–HK8 2021, HK11 2021). Kiemelendő a HK11 2021 kőzetmintán megfigyelhető világosabb árnyalatú, kis méretű (néhány mm átmérőjű), enyhe irányítottágú foltok megjelenése (14. *ábra d*), melyek közepén fekete színű opak ásványok láthatóak. Ásványos összetétel szempontjából sokkal homogénebbek, mint a már korábban ismertetett magmás minták. Az itt található szürke kvarcok xenomorfok, méretük 1–2 mm között változik. Az ebben a csoportban megjelenő fekete turmalinok jelentős része hipidiomorf (oszlopos, táblás) megjelenésű (15. *ábra*), néhol üregkitöltő, de többségük itt is sugaras aggregátumként helyezkedik el. Szintén láthatóak vörösbarna, sárgásbarna vas-oxidos elszíneződések a kőzetek felületén. Megjelenik a homogén, pisztáciazöld epidot is erek formájában, melyek metsződési viszonyok alapján későbbiek lehetnek, mint a turmalin és maga a mellékkőzet. Egyes mintákon megjelenik a hematit (vascsillám), mely egyes példányok esetében táblás formában van jelen (HK19 2021; 15. *ábra*). Méretük változó, azonban a HK19 2021 minta esetében az egyedi táblák nagysága eléri a 1–1,5 cm-es hosszt, de többségük 1 cm alatti mérettartományba esik.



13. ábra: A Gr-csoportba (a–c), valamint az Ap-csoportba (d–f) tartozó kőzetminták tipikus megjelenése. Jellemzők a fekete fészkekben megjelenő turmalinok és a pisztáciazöld epidottal kitöltött fészkek és erek, valamint megfigyelhető a finomabb szemcsés aplitos szövet a kőzetpéldányokon



14. ábra: A Kfő-csoportba (a–c), valamint a Sz-csoportba (d–f) tartozó kőzetminták tipikus megjelenése. Egyes példányokon megfigyelhetők hematit és opak ásványok is, valamint a jellegzetes fekete turmalin fészkek. Világosabb árnyalatú, kis méretű (néhány mm átmérőjű), enyhe irányítottágú foltok megjelenése, melyek közepén fekete színű opak ásványok láthatóak (sárga ellipszis)

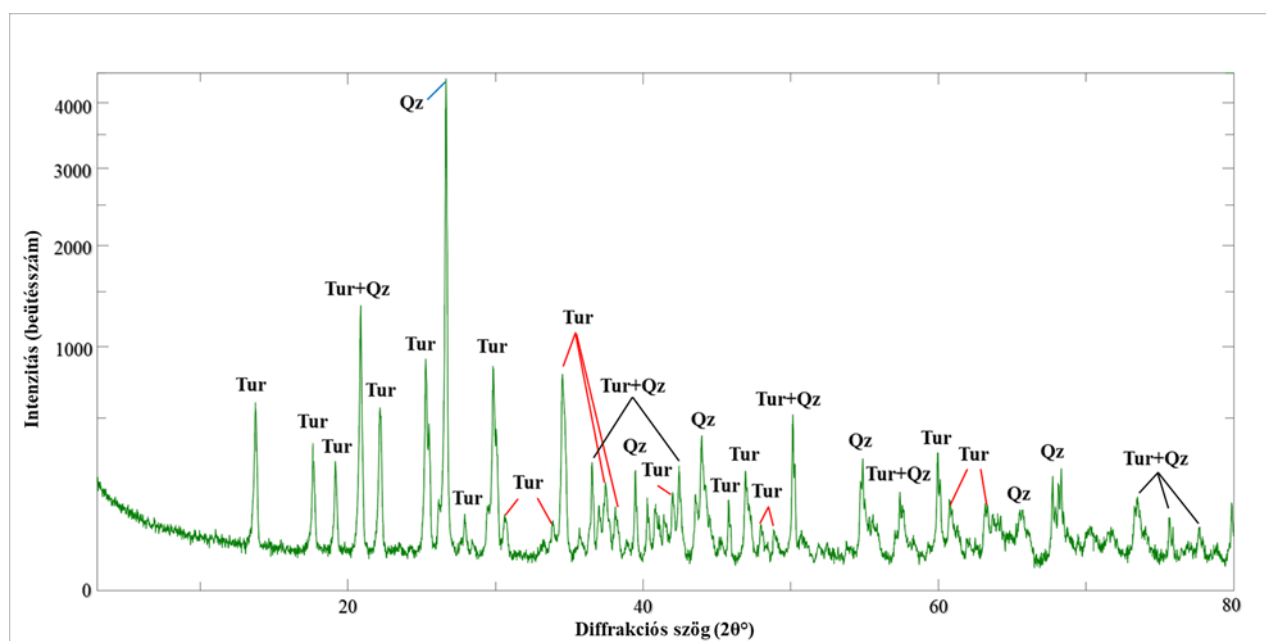


15. ábra: Binokuláris mikroszkóppal készített felvételek: a) fészkekben megjelenő turmalin, több mm-es nagyságú kvarc és földpát szemcsék mellett; b) oszlopos habitusú, pisztáciazöld epidot, mely üregkitöltőként jelentkezik a mintában; c) hipidiomorf oszlopos, sávozott turmalin kristály turmalinos fészkekben; d) fémes fényű vascsillám (hematit), mely pisztáciazöld epidot társaságában jelenik meg a minta felszínén (érkitöltés); e) hipidiomorf nyúlt, oszlopos turmalin kristályok, xenomorf turmalin kristályok környezetében üregkitöltőként; f) fémes fényű idiomorf (táblás), több cm-es hematit lemezek (vascsillám habitus)

6. A röntgen pordiffrakciós elemzés eredménye

Az XRPD vizsgálat segítségével több ásványfázist is sikerült beazonosítani, ami pontosította a makroszkópos leírást. Összesen 14 db diffraktogramot vettünk fel és értelmeztünk. Egyes minták (HK2 2021, HK11 2021, HK18 2021, KDK 3T 2018) esetében – a makroszkópos petrográfiai heterogenitás miatt – több szöveti elemből is történt szeparálás (4. táblázat).

A Gr-csoportba tartozó HK2 2021 kőzetmintából az alapanyagból (HK2 2021 al), valamint magából a turmalinos fészekből (HK2 2021 tur) történt szeparálás. A vizsgálat igazolta a turmalin jelenlétét, amihez kvarc társul. Ezen turmalinos fészekből szeparált teljes minta röntgen diffraktogramja a 16. ábrán látható. Az alábbi ásványfázisok meghatározása történt közelítő, félmennyiségi analízissel: kvarc (~51%) és turmalin (~49%). Az alapanyagból (HK2 2021 al) az alábbi ásványfázisokat lehetett meghatározni: plagioklász földpát (nagy valószínűséggel albit) (~40%), káliföldpát (~38%), kvarc (~20%), valamint kalcit (~2%).

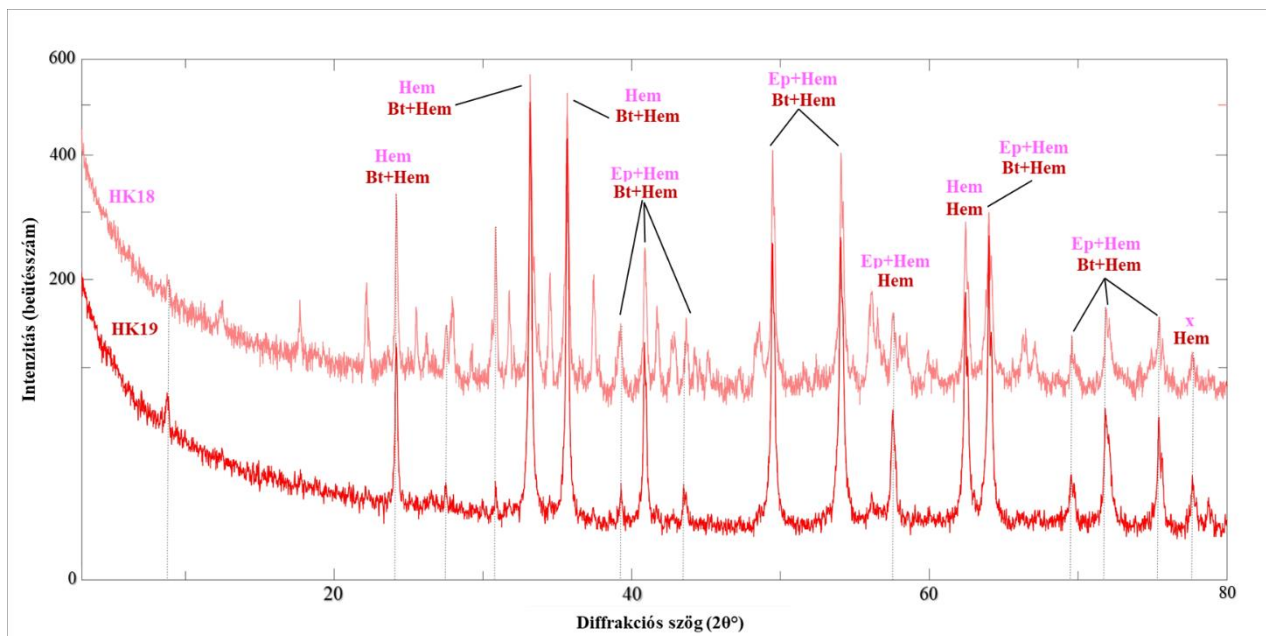


16. ábra: HK2 2021 kőzetminta turmalin fészekéből szeparált al minta röntgen pordiffraktogramja

A Kf-csoportból a KDK 3F 2018 és KDK 3T 2018 kőzetmintákból történt mintavételezés. Utóbbi mintánál az alapanyagból (KDK 3T 2018 al), valamint a turmalintartalmú érből (KDK 3T 2018 té) történt a vizsgálat. Az alapanyagból plagioklász földpát (nagy valószínűséggel albit) (~68%) és kvarc (~32%) mutatható ki. A turmalintartalmú érben található ásványfázisok a következők: kvarc (~44%), turmalin (~37%), illetve epidot (~19%). A KDK 3F 2018 minta

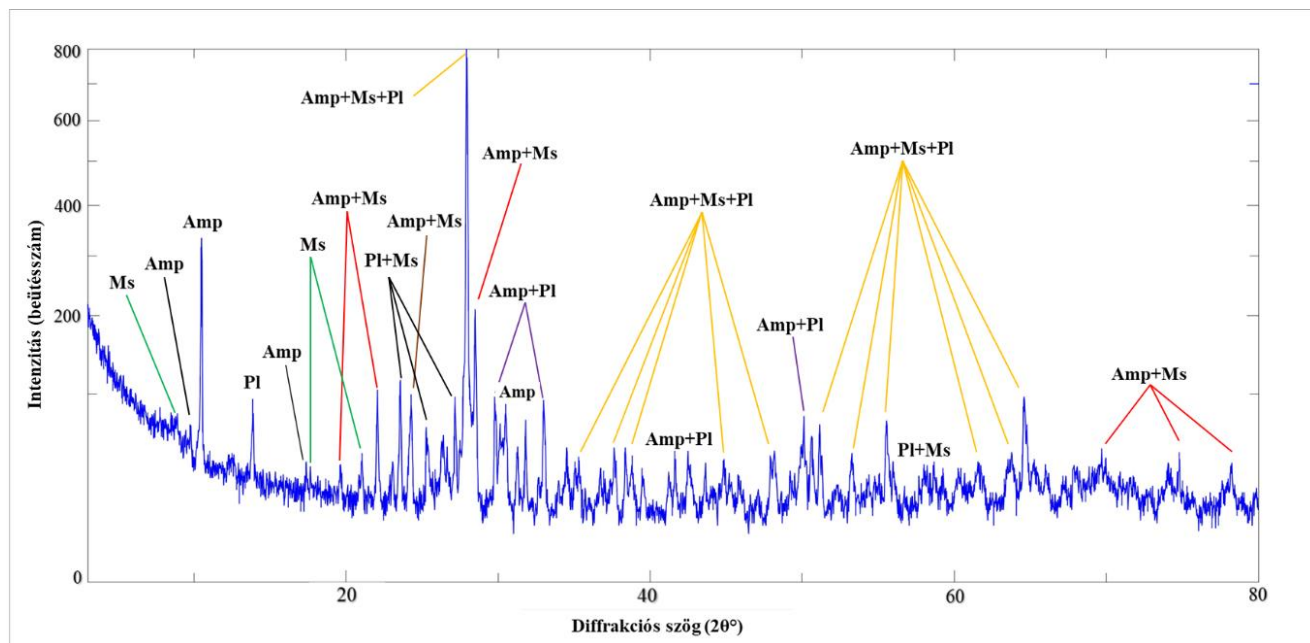
vizsgálata alapján az ásványfázisok az alábbiak: kvarc (~63%), káliföldpát (nagy valószínűséggel mikroklin) (~21%) és plagioklász földpát (nagy valószínűséggel albit) (~16%).

A Sz-csoportból a HK8 2021 minta ásványtani összetétele a következő: plagioklász földpát (nagy valószínűséggel albit) (~76%), flogopit (~22%) és hematit (~2%). A HK11 2021 minta esetében három területről történt mintavételezés. Az egyik a kőzet törési és vágási felületén megfigyelhető világosabb folt (HK11 2021 fo), mely a következő fázisokat tartalmazza: plagioklász földpát (nagy valószínűséggel albit) (~51%), flogopit (~46%), valamint hematit (~4%). Történt vizsgálat a minta homogén megjelenésű mátrixából (HK11 2021 mx), amelyet plagioklász földpát (nagy valószínűséggel albit) (~65%), biotit (~21%) és fengit (~14%) alkot. A makroszkóposan csillámgazdag megjelenésű rész (HK11 2021 csm;) összetétele plagioklász földpát (nagy valószínűséggel albit) (~47%), hematit (~19%), kvarc (~19%) és biotit (~15%). A HK18 2021 minta esetében két területről történt vizsgálat. Az első egy barnás színű felületi bevonatból történt (HK18 2021 fb; 17. ábra), ennek összetétele: hematit (~57%) és epidot (~43%). A másik szeparátum a minta vascsillám-gazdag részéből történt (HK18 2021 vcs), mely epidotból (~53%) és hematitból (~47%) áll. A HK19 2021 minta (18. ábra) összetétele a következő: hematit (~91%) és biotit (~9%). A KDK 2B mintában pedig fengit (~47%), kvarc (~30%), chamosit (~17%), valamint hematit (~6%) jelenlétét igazolta a vizsgálat.



17. ábra: A HK18 2021 és HK19 2021 kőzetminták röntgen pordiffraktogramjai

A makroszkóposan közel homogén turmalin ásványtöredéken (HK17 2021 minta) megfigyelhető kis mellékkőzet maradvány (HK17 2021 ml) ásványos összetétele a következő: plagioklász földpát (~82%), amfibol (~12%) és muszkovit (~6%), melynek röntgen pordiffraktogramja a 18. ábrán látható.



18. ábra: HK17 2021 minta röntgen pordiffraktogramja

4. táblázat: A röntgen-pordiffrakciós (XRPD) ásványtani analízis eredménye

Mintaszám	Lényeges elegyrészek	Járulékos elegyrészek
HK2 2021 tur	Qz (~51%); Tur (~49%)	
HK2 2021 al	Pl (~40%); Kfs (~38%); Qz (~20%)	Cal (~2%)
HK8 2021	Pl (~76%); Phl (~22%)	Hem (~2%)
HK11 2021 fo	Pl (~51%); Phl (~46%)	Hem (~4%)
HK11 2021 mx	Pl (~65%); Bt (~21%); Ph (~14%)	
HK11 2021 csm	Pl (~47%); Hem (~19%); Qz (~19%); Bt (~15%)	
HK17 2021 ml	Pl (~82%); Amp (~12%)	Ms (~6%)
HK18 2021 fb	Hem (~57%); Ep (~43%)	
HK18 2021 vcs	Ep (~53%); Hem (~47%)	
HK19 2021	Hem (~91%)	Bt (~9%)
KDK 3F 2018	Qz (~63%); Kfs (~21%); Pl (~16%)	
KDK 3T 2018 al	Pl (~68%); Qz (~32%)	
KDK 3T 2018 té	Qz (~44%); Tur (~37%); Ep (~19%)	
KDK 2B	Ph (~47%); Qz (~30%); Chm (~17%)	Hem (~6%)

7. A mikropetrográfiai eredmények bemutatása

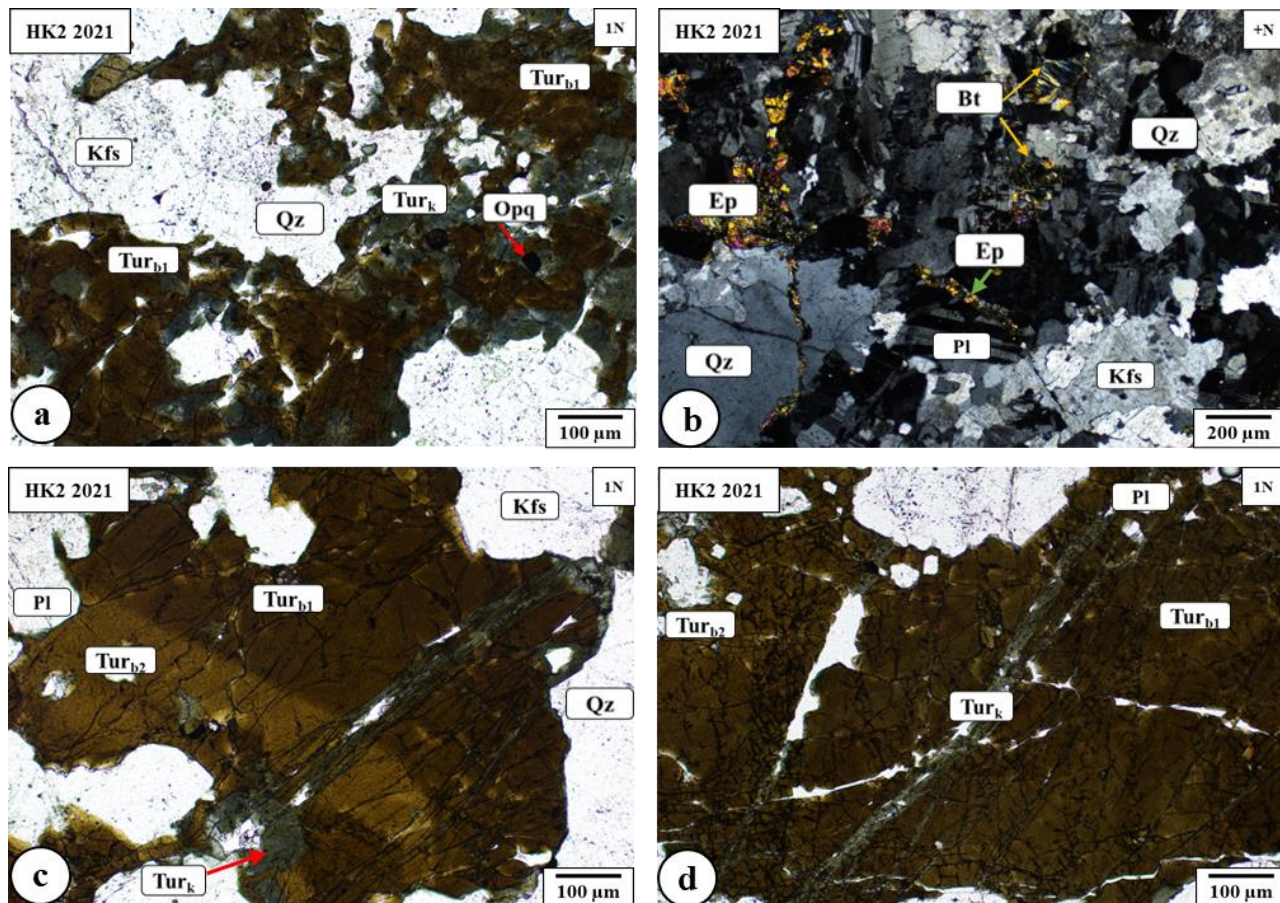
A mikropetrográfiai vizsgálat eredményeit a makroszkópos csoportoknak megfelelően mutatom be. A Gr-csoportot a HK2 2021 reprezentatív minta képviseli. A kőzetalkotó, lényeges elegyrészek a kvarc, a földpátok, valamint a biotit, melyek a kőzet ~70%-át teszik ki. Akcesszórius elegyrészként turmalin, epidot (erekben lényeges elegyrészként jelentkezik) és opak ásványok jelennek meg, melyek a minta ~30%-át adják.

A kvarc minden esetben színtelen, mérete a mintában 50–250 μm . A szemcsék kioltása hullámos, viszont a kisebb szemcsék esetén ez kevésbé jellemző. Alakjuk minden esetben xenomorf. Az enyhén barnás árnyalatú földpátok mérete 100–500 μm között változik. Alakjuk többnyire xenomorf, azonban egyes szemcsék esetén látható hipidiomorf (táblás, többé-kevésbé nyúlt) megjelenés. Ikresedés szempontjából a káliföldpát esetén megfigyelhető keresztrácsozott ún. tartan ikresedés (mikroklin), illetve a plagioklászoknál a poliszintetikus ikresedés (19. ábra). Átalakulás szintén megfigyelhető szericitesedés formájában, mely inkább a plagioklász szemcséket érinti. Kiemelendő azonban, hogy a különböző epidotos erek környezetében üde plagioklász földpátok jelennek meg (M1. ábra). A biotit mérete általában 50–250 μm . Erős világossárga–sötétbarna pleokroizmus jellemzi. A kristályok alakja pikkelyes, nyúlt, gyakran jelennek meg érkitöltő elegyrészként (M1. ábra). A biotitszemcsék környezetében gyakran megfigyelhetőek sárgásbarna elszíneződésű vas-oxidos területek.

A turmalin mérete általában 100–1000 μm között változik. Többségében xenomorf megjelenésű, de akadnak hipidiomorfok is. Szín alapján két fajtát különítettem el. Az egyik a nagyobb méretű (250–1000 μm), repedezett, zárványokat is tartalmazó világossárga–sötétbarna pleokroizmusú, poikilites megjelenésű turmalin (Tur_b). Egyes szemcsék esetében színzónák figyelhetők meg (19. ábra). A barna turmalin repedéseit főként kvarc, plagioklász földpát, valamint egy másik típusú turmalin tölti ki. Ezen másik csoportba tartozik a kisebb méretű (100–200 μm) világos kékeszöld–szürkés-kék pleokroizmusú, többnyire hipidiomorf turmalin (Tur_k), mely gyakran jelenik meg a barna turmalin repedéseiben érkitöltőként, valamint a nagyobb szemcsék szegélyein továbbnövekedésként (19. ábra). Ez utóbbi főleg epidot, plagioklász földpát és opak ásványok kíséretében jelenik meg (M1. ábra).

Az epidot alakja az esetek többségében szabálytalan (főként a kisebb méretű szemcsék esetén). Színtelen–sötét zöldessárga gyenge pleokroizmus jellemzi. A vizsgált mintában a mérete 50–550 μm között változik. Főleg erekben jelenik meg, melyek átmérője több mm és a minta teljes egészét

átjárják. Ezen erek környezetében rendre megfigyelhetők üde kvarc-, illetve plagioklász földpátszemcsék. Erekhez, repedésekhez kapcsolódva, gyakran a kékeszöld turmalin mellett, kisebb számban 50–200 µm-es, hipidiomorf opak ásványok jelentkeznek.



19. ábra: A Gr-csoportot képviselő minta ásványos összetétele és mikroszövege. a) A mintában szín alapján két egymástól elkülönülő turmalin (Tur_b , Tur_k) látható. A Tur_b jellemzően poikilites, viszonylag nagy turmalin, míg a Tur_k mérete kisebb, a Tur_b szegélyein, illetve repedéseiben fordul elő. Ez utóbbi turmalin főként opak ásványok társaságában látható. b) A fő kőzetalkotók közül a káliföldpáton és a plagioklász földpáton figyelhető meg másodlagos átalakulásként szericitedés, illetve utóbbi poliszintetikus ikresedése. Másodlagos ásványként érkítőként epidot és biotit jelenik meg. c–d) A Tur_b esetén megfigyelhető a színzónásság (Tur_{b1} , Tur_{b2}), valamint repedéseiben és szegélyein továbbnövekedésként Tur_k jelentkezik

Az Ap-csoportot a HK6 2021, HK12 2021 reprezentatív minták képviselik. A kőzetalkotó, lényeges elegyrészek a kvarc és a földpátok, melyek a minták ~80%-át alkotják. Akcesszórius elegyrészként turmalin, biotit, epidot (főként érkítőként) és opak ásványok jelennek meg, melyek ~20%-ot tesznek ki.

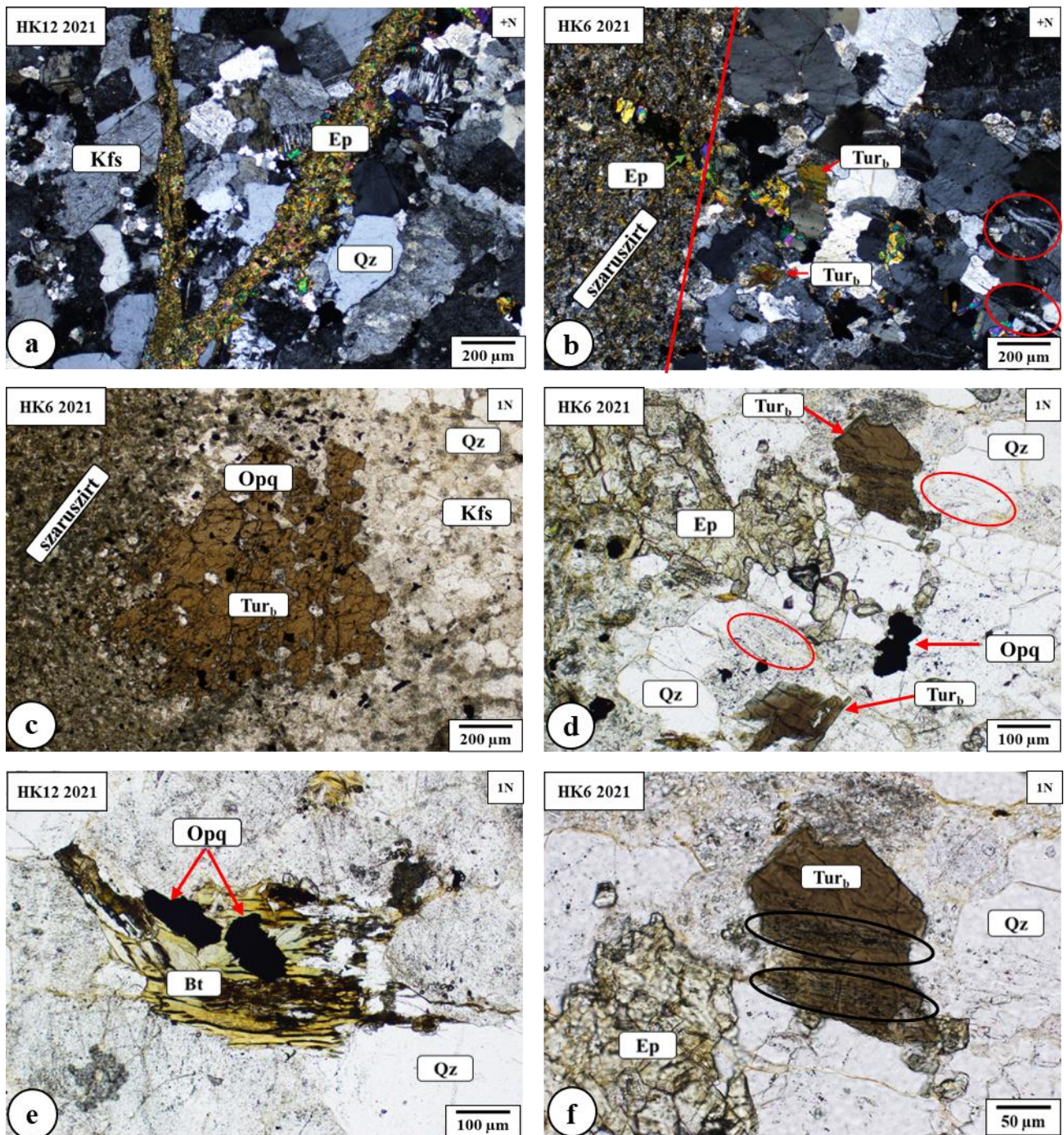
A kvarc minden esetben szintelen, mérete a mintákban 100–300 µm közötti. A szemcsék kioltása hullámos, megjelenésük xenomorf. A HK6 2021 minta esetén megfigyelhetőek 5–10 µm átmérőjű

kvarc tartalmú erek, melyek a minta egészét átjárják (*M2. ábra*). Az enyhén barnás árnyalatú földpátok mérete 100–600 μm . Alakjuk főként xenomorf, de akadnak félig sajátalakú táblás, nyúlt oszlopos szemcsék is. Ikresedés alapján a káliföldpátoknál megfigyelhető kettős iker (ortoklász), valamint keresztrácsozott ún. tartan ikresedés (mikroclin) is. A plagioklász földpátok esetében egyes szemcséken megfigyelhető a poliszintetikus ikresedés. Átalakulás szempontjából a plagioklász szemcséket jobban érinti a szericitesedés, de egyes káliföldpátokon is megfigyelhető, azonban a kvarc-, illetve epidotos erek mentén üde plagioklász földpátok láthatóak.

A HK6 2021 kőzetminta esetében figyeltem meg 150–1000 μm -es átmérőjű hipidiomorf és xenomorf turmalin szemcséket, főleg az aplit és a szaruszirt kontakt határán, valamint kvarc, földpát, opak ásványok és epidotos erek közelében (*20. ábra*). Erős világossárga–sötétbarna pleokroizmus jellemzi a szemcséket. Megjegyzendő, hogy ezen barna színű turmalinokat nem metszik a kvarctartalmú erek, de nyomvonaluk fluidumzárványsor formájában követhető a szemcséken belül.

Az epidot mérete 50–300 μm , világos zöldessárga színű, gyenge pleokroizmus jellemzi. Alakja szabálytalan, illetve főként érkítőlként jelenik meg. Ezen erek közvetlen környezetében turmalin, plagioklász földpát és opak ásványok figyelhetőek meg. A HK12 2021 mintában 10–100 μm átmérőjű epidotos erek láthatóak, melyek élesen elkülönülnek a környezetükben található földpát szemcséktől (*M2. ábra*). A biotit mérete általában 50–300 μm . Erős világossárga–sötétbarna pleokroizmus jellemzi. Ezen biotit szemcsék szétszórva helyezkednek el a mintákban, azonban többségében az aplit és szaruszirt kontakt határán figyelhetőek meg. Gyakran jelennek meg epidot és opak ásványok környezetében. Az opak ásványok mérete 10–100 μm között változik. Ezen ásványok az erekben (pl. epidot és biotit mellett), valamint zárványok formájában láthatóak a mintákban (pl. a barna turmalinon belül; *20. ábra*). A minta szövetét tekintve hipidiomorf szemcsés.

A HK12 2021 minta esetén UV gerjesztéses felvételeket készítettem az egyik kvarc–földpát gazdag területről, de UV-aktivitás nem mutatható ki (*M3. ábra*). A mintát behálózó epidotos erek egy részletéről szintén készítettem UV gerjesztéses felvételeket (*M3. ábra*), mely szintén nem mutatott UV-aktivitást.



20. ábra: A Ap-csoportot képviselő minták ásványos összetétele és mikroszövege. a) Az epidot főként érkítőként jelenik meg, akár 50 µm átmérővel. b) Egy éles kontakt határ jelenik meg az aplit és a szaruszirt között (piros vonal). Több helyen láthatóak kvarc-tartalmú mikroerek (piros ellipszisek). Az epidottal kitöltött ér folytatódik a szaruszirtben is. c) Kevésbé éles kontakt határon egy xenomorf barna turmalin. d) A $Turb$ szemcsék főként epidot, kvarc és opak ásványok környezetében figyelhetők meg. Szintén több kvarc-tartalmú mikroér látható a képen (piros ellipszisek). Ezen mikroerek a kontakt határon lévő $Turb$ -t is átjárják, fluidumzárványok formájában. e) A biotit szintén érkítőként jelenik meg, gyakran opak ásványok kíséretében. f) Fluidumzárványok által kijelölt mikroerek a kontakt határon lévő $Turb$ kristályokban

A Kfé-csoportot a KDK 3F 2018 és KDK 3T 2018 reprezentatív minták képviselik. Az uralkodó, lényeges elegyrészek a kvarc és a földpátok, melyek a minták ~75%-át adják. Akcesszórius elegyrészként turmalin, biotit, epidot (főként érkítőlként) és opak ásványok jelennek meg, melyek a minta ~25%-át teszik ki.

A kvarc minden esetben színtelen, viszont egyes szemcsék belsejében fekete opak zárványok láthatóak (pl. KDK 3F 2018; 21. ábra). Mérete a mintákban 100–250 μm közötti. A szemcsék kioltása hullámos, megjelenésük xenomorf. Az enyhén barnás árnyalatú földpátok mérete 100–500 μm . Alakjuk többségében xenomorf, de hipidiomorf (félig sajátalakú táblás, nyúlt oszlopos) szemcsék is megfigyelhetők. Ikresedés alapján a káliföldpátoknál figyelhető meg keresztrácsozott ún. tartan ikresedés (mikroclin), míg a plagioklász földpátok esetében egyes szemcséken látható a poliszintetikus ikresedés és zónásság. Átalakulás szempontjából a plagioklász szemcséket jobban érinti a szericitesedés, de ez a másodlagos átalakulás egyes káliföldpátokon is megfigyelhető.

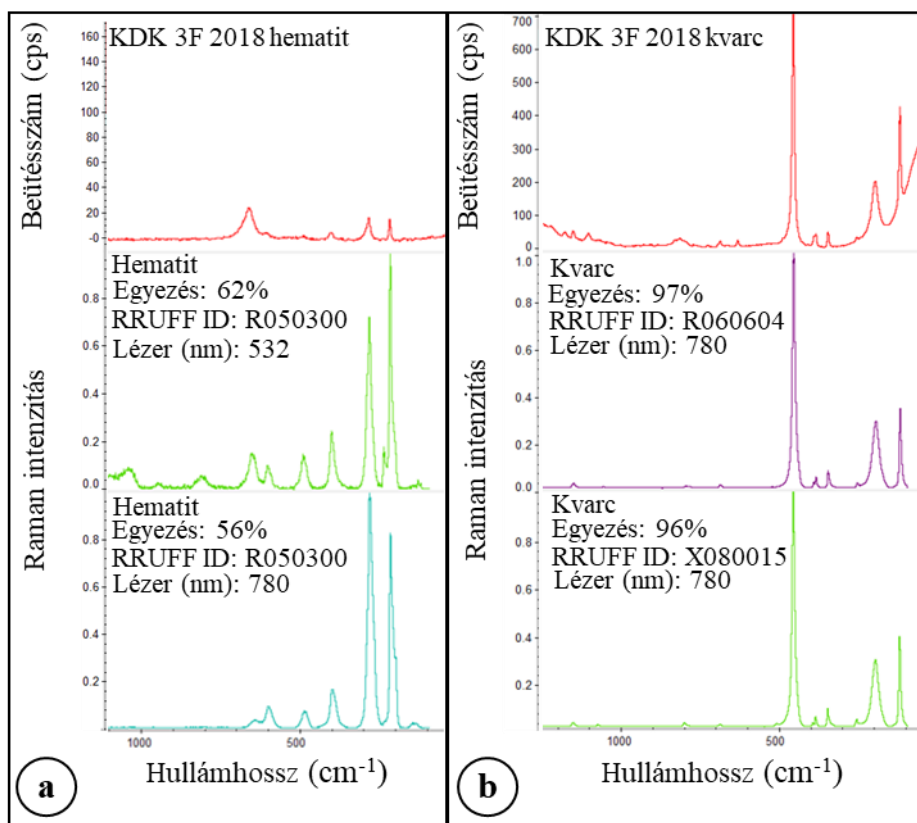
A turmalin mérete 100–1000 μm között változik a KDK 3T 2018 mintában. Többnyire xenomorf, de láthatók hipidiomorf és idiomorf megjelenésű turmalinszemcsék is. Szín alapján két fajtát különítettem el egymástól. Az egyik a nagyobb méretű (200–1000 μm), repedezett, zárványokat is tartalmazó sárgásbarna–sötétbarna pleokroizmusú, poikilites megjelenésű, xenomorf turmalin (21. ábra). A másik csoportba tartoznak a kisebb méretű (50–200 μm) világos kékeszöld–szürkés-kék pleokroizmusú turmalinszemcsék, melyek gyakran jelennek meg a barna turmalin repedéseiben érkítőlként, nagyobb szemcsék szegélyein továbbnövekedésként, valamint az érkítőlkő kvarcban egyedi idiomorf szemcsék formájában. Ezen kékeszöld turmalinok általánosak epidot és opak ásványok környezetében.

Az epidot szemcsék mérete 50–250 μm , gyenge színtelen–zöldessárga pleokroizmus jellemzi őket. Alakjuk szabálytalan, illetve főként érkítőlként jelennek meg a KDK 3T 2018 minta esetében, ahol főként turmalin, plagioklász és opak szemcsék társaságában láthatóak. A biotit szemcsék mérete általában 50–300 μm . Erős világossárga–sötétbarna pleokroizmus jellemzi. Alakjuk nyúlt, hasadásuk kitűnő, kioltásuk egyenes. Ezen biotit szemcsék szétszórva helyezkednek el, azonban csak a KDK 3F 2018 mintában figyeltem meg őket. Az opak ásványok mérete 10–100 μm között változik. Ezen ásványok az erekben, valamint zárványok formájában láthatóak a mintákban.

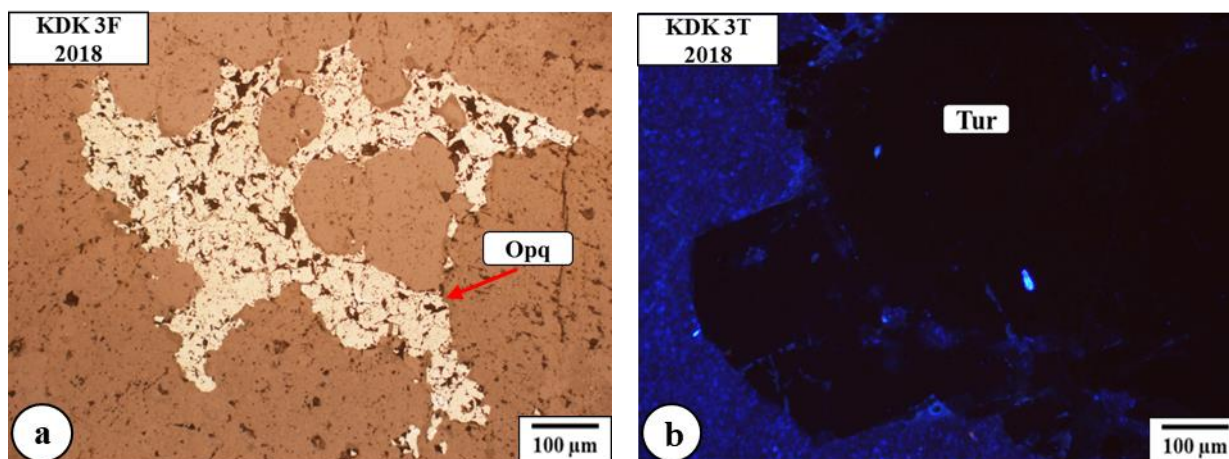
Egyes ásványfázisok pontosabb azonosítás érdekében Raman spektroszkópiai vizsgálatokat végeztem, mely alapján hematit és kvarc ásványfázist mutattam ki (22. ábra). Az opak szemcsék

Figure 10 consists of six photomicrographs (a-f) showing mineral textures in KDK 3T and KDK 3F samples. The images are arranged in a 3x2 grid. Each image includes a label for the sample (KDK 3T 2018 or KDK 3F 2018) in the top left corner, a scale bar (100 μm) in the bottom right corner, and a label for the mineral phase (Turb, Ep, Turk, Qz, Pl, 1N, +N) in the top right corner. (a) KDK 3T 2018: Turb, Ep, Turk, Qz, 1N, 100 μm. (b) KDK 3T 2018: Turb, Turk, Ep, 1N, 100 μm. (c) KDK 3T 2018: Turk, Ep, Turb, Qz, 1N, 100 μm. (d) KDK 3T 2018: Pl, Ep, +N, 100 μm. (e) KDK 3T 2018: Ep, Turk, Qz, Turb, 1N, 100 μm. (f) KDK 3F 2018: Qz, +N, 100 μm.

36



22. ábra: Raman spektroszkópiával beazonosított hematit (a) és kvarc (b) ásványfázisok spektrumai. Az általam mért spektrum felül piros színnel látható, míg a két alsó az adatbázisban található referencia spektrum



23. ábra: A KDK 3F 2018 és KDK 3T 2018 minták megfigyeléseit pontosító felvételek: a) RL felvétel az egyik Opq szemcse halmazról, mely szerkezetét tekintve homogén, zónásság nem figyelhető meg. b) UV gerjesztéses felvétel az egyik turmalin szemcséről, mely nem mutat aktivitást

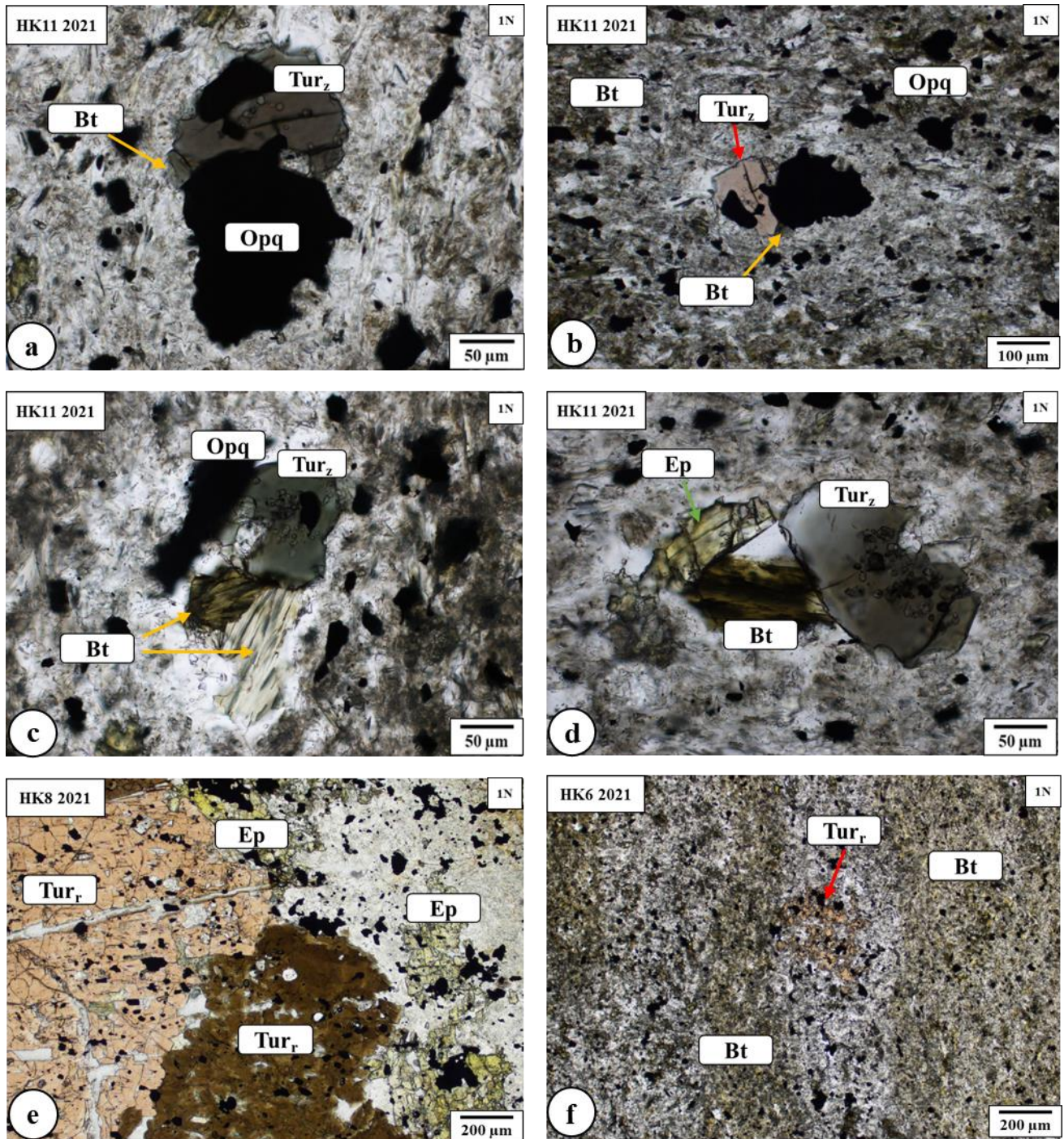
Az Sz-csoportot a következő reprezentatív minták képviselik (HK6 2021, HK8 2021, KDK 2, KDK 2B). Egyes minták, mint pl. a HK6 2021 csak részben tagjai a csoportnak, köszönhetően az aplit és szaruszirt kontakt határnak. Szintén ebbe a csoportba soroltam a HK11 2021 mintát, amely azonban nem mondható homogénnek sem makroszkóposan, sem mikroszkópi léptékben. A mintában világosabb árnyalatú foltok jelennek meg, melyek közepén opak ásványok láthatóak. A kőzetalkotó, uralkodó elegyrészek a kvarc, földpátok, biotit és muszkovit melyek a kőzet ~80%-át teszik ki. Akcesszórius elegyrészként turmalin, epidot, klorit és opak ásványok jelennek meg, melyek a minta ~20%-át adják.

A kvarc minden esetben szintelen, mérete a mintákban 50–250 μm közötti. A szemcsék kioltása hullámos, megjelenésük xenomorf. A szintelen földpátok mérete 100–500 μm között változik, alakjuk többségében szintén xenomorf. Átalakulás szempontjából megfigyelhető rajtuk szericitesedés. Egyes helyeken halmazokban jelennek meg (HK11 2021), főként zárványgazdag turmalin, biotit és opak ásványok kíséretében (24. *ábra*). A biotit mérete általában 50–200 μm . Erős világossárga–sötétzöld pleokroizmus jellemzi, alakjuk nyúlt. Ezen biotit szemcsék iránytalanul helyezkednek el a mintában.

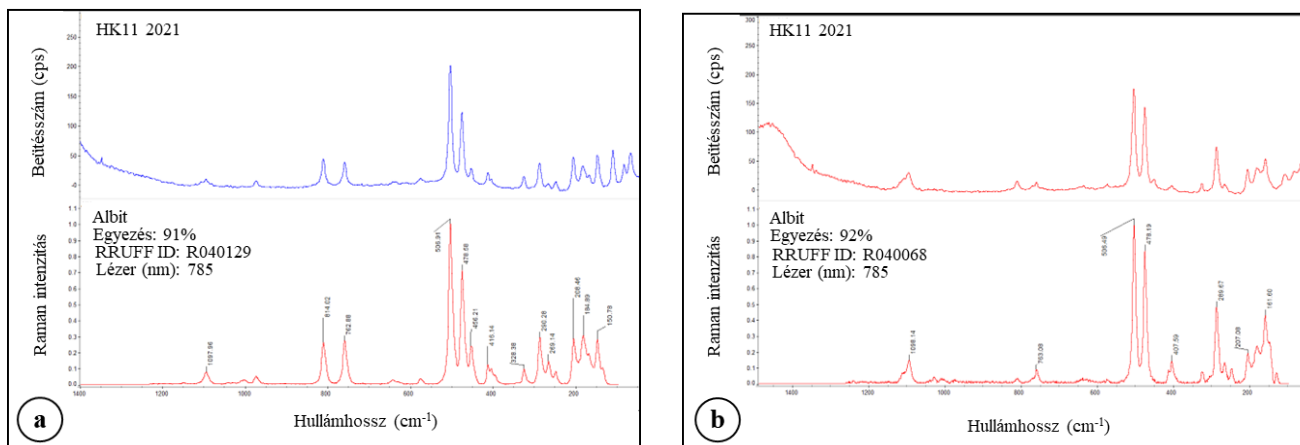
A turmalin mérete 30–150 μm között változik. Megjelenése alapján az esetek többségében xenomorf, de akadnak kis számban hipidiomorf szemcsék is. Két eltérő megjelenésű és színű turmalin figyelhető meg ebben a csoportban. Az egyik világosbarna–sötétzöld pleokroizmusú, kisebb méretű, zárványgazdag turmalin (Tur_z), míg a másik egy világosrózsaszín–sötétbarna pleokroizmusú, nagyobb méretű poikilites turmalin (Tur_r ; 24. *ábra*). Az előbbi turmalin biotit, epidot, és opak ásványok társaságában jelenik meg, míg az utóbbi nagy számú opak zárványt tartalmaz, epidot és opak ásványok kíséretében látható. Egyes mintákban azonban a rózsaszínes turmalin xenomorf formában is megjelenik, főként a kvarc–földpát ereken.

Az epidot mérete 50–150 μm , szintelen–világos zöldessárga pleokroizmusú, mely gyengén jelentkezik. Alakja szabálytalan, illetve főként érkítőlként jelenik meg, földpátok környezetében, de véletlenszerű elrendeződésben is látható a mintákban. Az opak ásványok mérete 10–100 μm között változik. Ezen ásványok az ereken, valamint zárványok formájában láthatóak, főként a turmalin szemcséken belül.

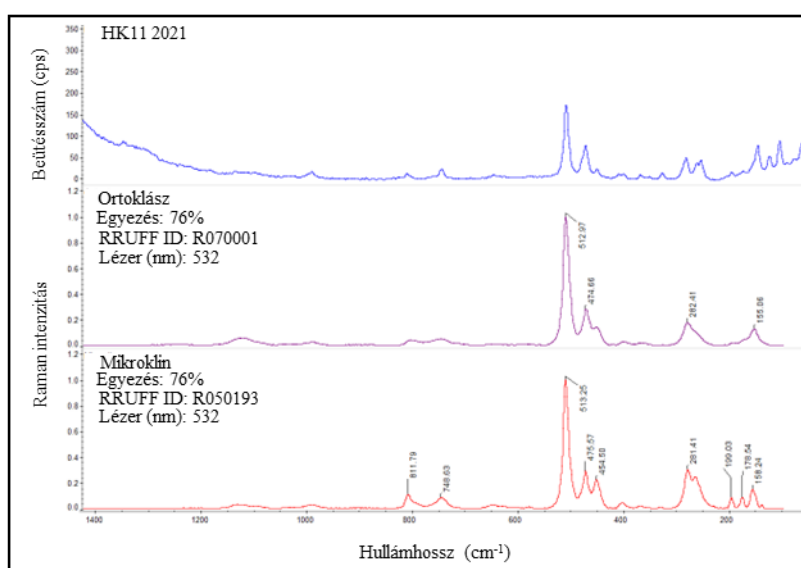
Egyes ásványfázisok azonosításának megerősítése érdekében Raman spektroszkópiai vizsgálatokat végeztem, mely alapján plagioklász földpátot és káliföldpátot mutattam ki a HK11 2021 mintára jellemző világos, enyhén nyúlt foltoszerű kőzetrészekből (25–26. *ábra*).



24. ábra: A Sz-csoportot képviselő minták ásványos összetétele és mikroszövege. a–c) Zárványgazdag turmalin (Tur_z), biotit, plagioklász földpát és opak ásványok kíséretében. d) Tur_z biotit, epidot és plagioklász földpátok környezetében. e) Poikilites szövetű rózsaszín–sötétbarna pleokroizmusú (Tur_r), epidot, opak ásványok és plagioklász földpát szemcsék mellett. f) Xenomorf Tur_r földpátos érben



25. ábra: A HK11 2021 kőzetminta egyik világos, enyhén nyúlt foltszerű közetrészeről készített Raman spektrumok (a–b). Mindkettő spektrum a plagioklász földpát (albit) jelenlétét igazolta a folton belül



26. ábra: A HK11 2021 kőzetminta egyik világos, enyhén nyúlt foltszerű közetrészeről készített Raman spektrum. Megállapítható, hogy káliföldpátot (ortoklász és/vagy mikroklin) tartalmaz a terület

A HK17 2021 minta nem sorolható be semelyik korábban leírt csoportba sem, mivel a vékonycsiszolat egy makroszkóposan homogénnek gondolt turmalin ásványtöredékből származik. Ennek megfelelően ezt a mintát az alábbiakban külön jellemzem. A minta a következő ásványokat tartalmazza: kvarc, plagioklász földpát, káliföldpát, amfibol, biotit, muszkovit, turmalin, epidot, titanit és opak ásványok.

Többségében nagyméretű (300–1200 μm) poikilites megjelenésű, világosbarna–sötétbarna pleokroizmusú, színzónás, xenomorf turmalinok alkotják a mintát. A barna turmalinok esetén színzónás területek láthatóak (Tur_{b1}–sötétebb árnyalatú barna, Tur_{b2}–világosabb árnyalatú barna; 27. ábra). Ezen barna turmalinok repedéseiben, valamint továbbnövekedésként megjelennek kisebb

méretű (100–300 μm), világos kékeszöld–sötétkék pleokroizmusú, xenomorf turmalinok is (28. *ábra*), melyek együtt a vékonycsiszolat ~75%-át adják. Ezen poikilites barna turmalinok repedéseiben, valamint közvetlen környezetükben kvarc és földpát (főként plagioklász földpát) figyelhető meg.

A szintelen kvarc szemcsék xenomorfok, méretük 50–200 μm között változik. Az enyhén barnás árnyalatú földpátok főként hipidiomorfok (félig nyúlt, oszlopos), de akadnak xenomorfok is, méretük 50–400 μm közötti. A plagioklász földpátok esetén látható poliszintetikus ikresedés. Másodlagos átalakulásként enyhe szericitesedés figyelhető meg.

Az amfibolszemcsék mérete 50–250 μm között változik. Irányítatlanul helyezkednek el a mintában, főként a turmalinszemcsék, illetve opak ásványok környezetében. Az amfibolt az összes vizsgált vékonycsiszolat közül csak ebben a mintában figyeltem meg. A poikilites megjelenésű Turb-ben zárványként, illetve a mellékközetben egyedi szemcsék formájában jelenik meg. Jelenlétét a mintában az XRPD mérés is megerősítette.

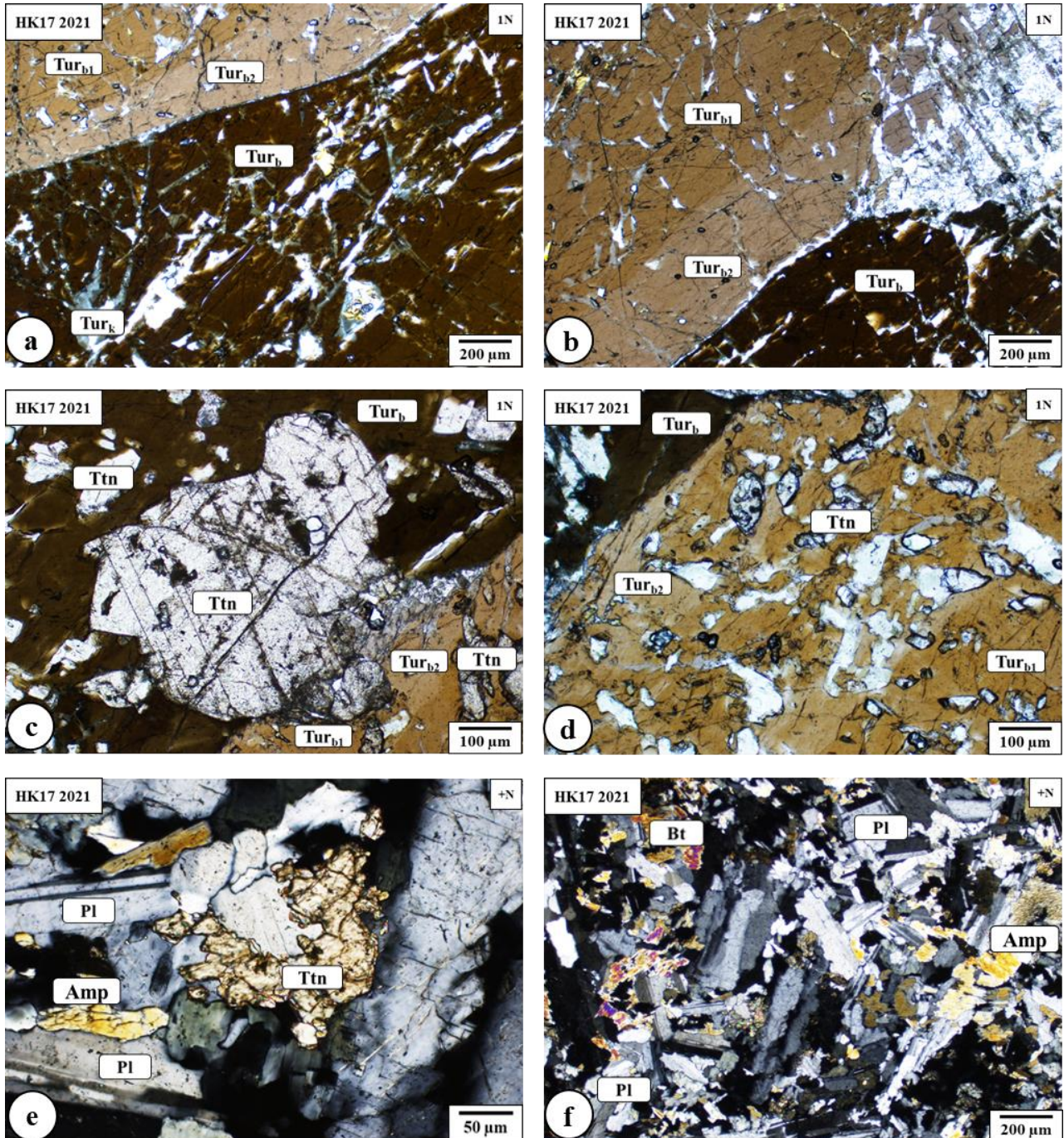
A titanit mérete a mintában 100–500 μm között változik. Sárgásbarna színű, de saját színe elfedi az interferenciaszínét, ezért +N-nál bronzsárga. A nagyobb méretű titanit szemcsék esetén megfigyelhető világossárga–bronzsárga színű enyhe pleokroizmus. Alakjuk főként idiomorf (rombusz, „levélboríték”), de láthatóak hipidiomorf és xenomorf szemcsék is (27. *ábra*). Hasadásuk jó, a hasadás nyomvonalai nem párhuzamosak a kristály éleivel. A titanit főként a barna poikilites turmalinban fordul elő zárványként, azaz vagy korábbi vagy egyidős lehet a barna turmalinnal.

A biotit szemcsék mérete általában 50–250 μm . Erős világossárga–sötétbarna pleokroizmus jellemzi, alakjuk nyúlt. A muszkovit mérete 50–100 μm között változik, alakjuk nyúlt, hasadásuk kitűnő. A biotit mellett fordul elő irányítatlanul a mintában. Az epidot mérete 50–100 μm , szintelen–zöldessárga színűek, gyenge pleokroizmus jellemzi őket. Alakjuk szabálytalan, illetve főként érkítőlként jelennek meg, ahol elsősorban turmalin, plagioklász és opak szemcsék társaságában láthatóak. A Raman-mikrospekroszkópiás vizsgálat megerősítette a jelenlétét a mintában.

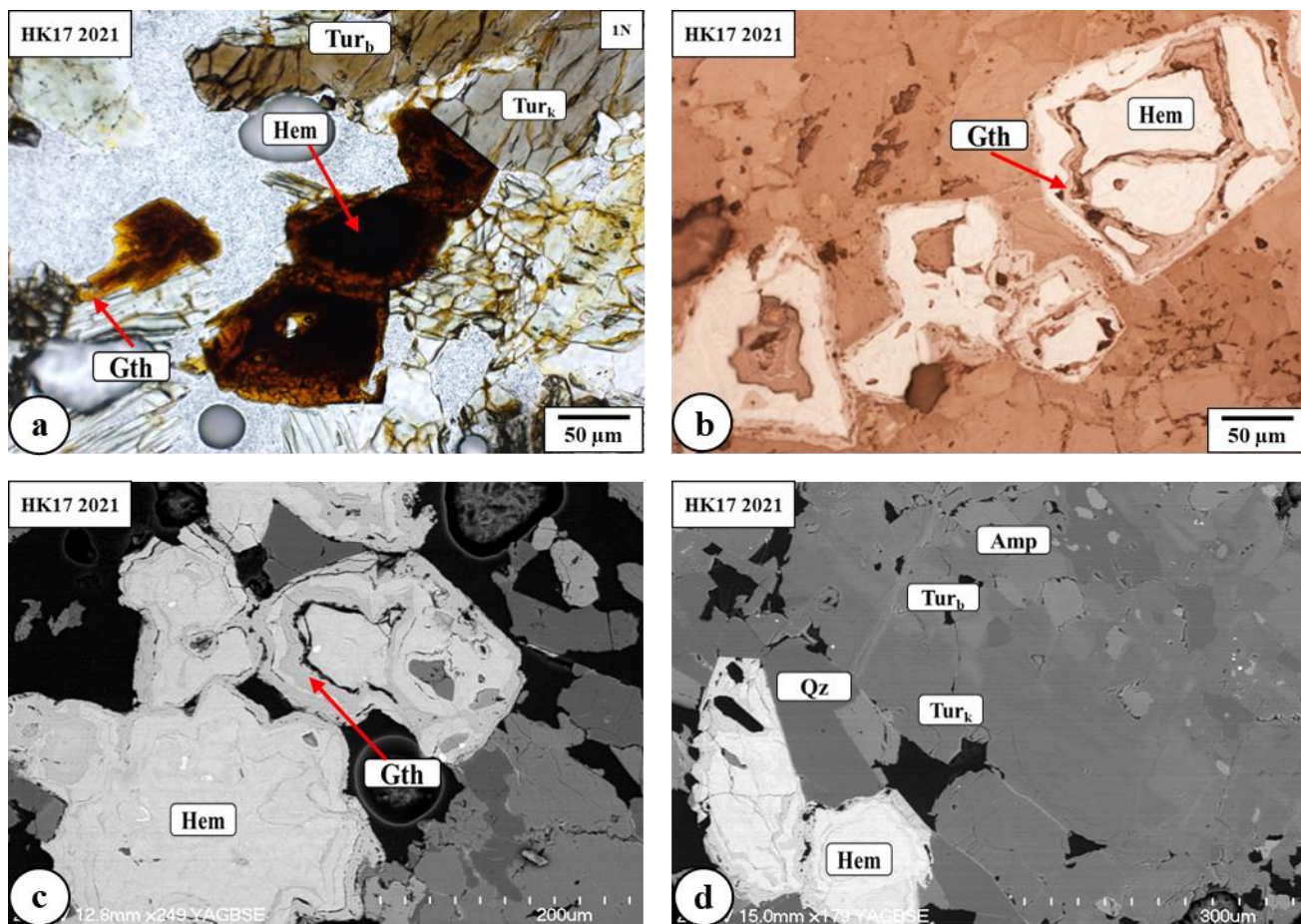
Az opak ásványok mérete 100–400 μm között változik. Ezen ásványok az erekben, valamint zárványok formájában láthatóak, főként a poikilites barna turmalinszemcséken belül. A nagyobb méretű szemcsék a kékeszöld turmalin környezetében a barna turmalin szegélyein figyelhetőek meg.

Több RL felvételt készítettem a mintában előforduló opak ásványokról. A legtöbb opak szemcse belseje inhomogén, zónás megjelenésű (kokárda jelleg), mely színárnyalat eltérés formájában

jelenik meg (28. ábra). UV gerjesztéses felvétel is készült az egyik turmalinos területről, de UV-aktivitást nem mutatott. Egyes ásványfázisok azonosításának megerősítése érdekében Raman spektroszkópiai vizsgálatokat végeztem, mely alapján drávit (*M4. ábra*), míg a zónás opak ásványok esetén hematit és goethit fázisok lettek megerősítve (*M5. ábra*).



27. ábra: A HK17 2021 minta ásványos összetétele és mikroszövete. a–b) A barna turmalin (Tur_b) esetén megfigyelhetők színzónás részek (Tur_{b1} – Tur_{b2}), valamint a barna turmalin repedéseiben kékeszöld turmalin (Tur_k) látható. c–d) A barna turmalinban zárványként hipidiomorf–idiomorf titanit (Ttn) jelenik meg. e) Plagioklász földpát (Pl) és amfibol (Amp) környezetében xenomorf titanit (Ttn). f) A Tur mellett az alpanyagot Pl , Amp , valamint Bt alkotja

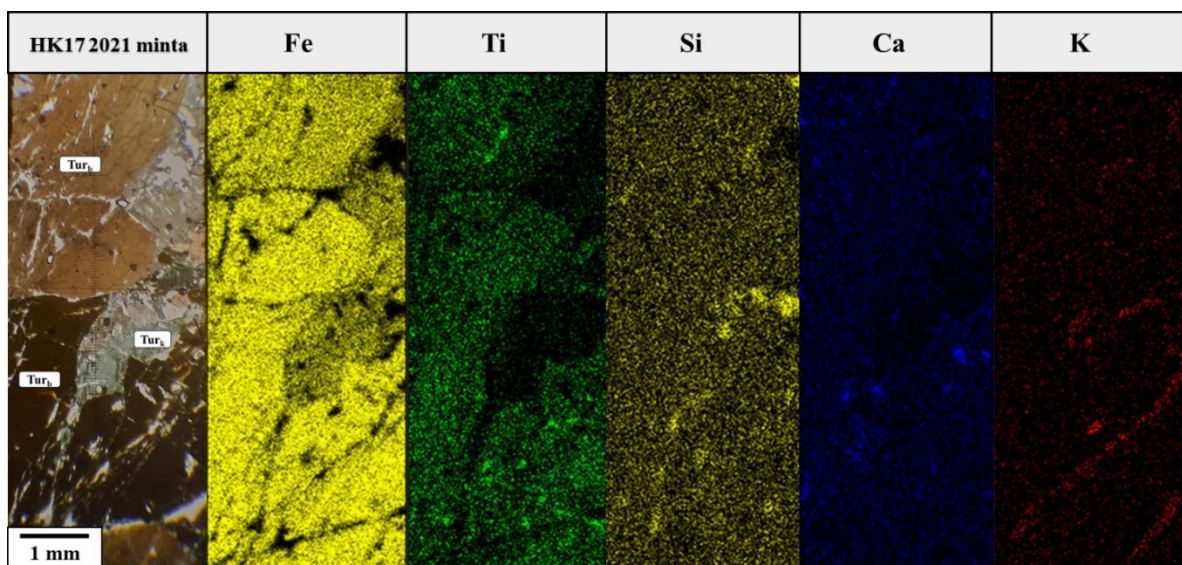


28. ábra: A HK17 2021 minta ásványos összetétele és mikroszövete. a) A gyengén áttetsző opak ásvány esetén megfigyelhetők vörösesbarna (goethit) és fekete (hematit) területek. Ezen fázisok főként a barna turmalin (Tur_b) határán láthatóak a kékeszöld turmalin (Tur_k) környezetében. b) Az RL felvételen az opak szemcséknél zónás területek (kokárda jelleg) figyelhetők meg, ahol világosabb rész hematitnak, a sötétebb goethitnek felelhet meg. c–d) Visszaszórt elektronkép (SEM/BSE) a mintában megfigyelhető egyes ásványfázisokról

8. Az előzetes ásványkémiai eredmények bemutatása

A HK17 2021 minta esetén mikroszkopikus röntgenfluoreszcencia-térképezés történt (29. ábra). A kiválasztott mintaterületen két, eltérő színű turmalin, a mikropetrográfiai leírásnál említett barna (Tur_b) és kékes árnyalatú (Tur_k) látható. A Tur_b repedéseiben érkítőként jelenik meg a Tur_k , amely így egy fiatalabb turmalin generációt képvisel. A vas (Fe) eloszlása szempontjából látható, hogy mindkét turmalin tartalmaz vasat, de a Tur_b vasban gazdagabb. A titán (Ti) esetében hasonló eredményt láthatunk: a Tur_b titánban gazdagabb, míg a Tur_k titánban szegényebb (vagy megközelítőleg Ti-mentes) turmalin. A szilícium (Si) alapján nem látható lényeges különbség, viszont a Tur_k szegélyein, valamint ereiben dúsul a szilícium. Nagy valószínűséggel a Tur_k

szemcsék környezetében található kvarc, illetve plagioklász földpátok miatt jelentkeznek ezek a Si gazdag területek. A kalcium (Ca) – hasonlóan a szilíciumhoz – szintén nem köthető a turmalinokhoz, hanem a Tur_b zárványaiban előforduló ásványfázisokhoz kapcsolódik. Kiemelendő, hogy a Tur_k területén nem láthatóak ilyen kalciumhoz köthető ásványfázisok. Az elemeloszlási térképek alapján megállapítható, hogy az alkalmazott módszer felbontóképessége és kimutatási határa mellett mindkét turmalin típus kálium (K) mentesnek tűnik. Az elem dúsulása különböző erekhez kapcsolódik.



29. ábra: Mikroszkopikus röntgenfluoreszcencia-térképezés eredményei különböző elemekre vetítve

A HK17 mintának egy másik területéről készült pásztázó elektronmikroszkóppal visszaszórt elektronkép (30. ábra d) és röntgenspektrométeres (EDS) elemtérképezés. (A kiválasztott terület normál polarizációs mikroszkópi képét mutatja a 30. ábra a) panelje). Az EDS elemtérképeken látható, hogy nem homogén területről van szó, mivel mindkét turmalin típus (Tur_b, Tur_k) megfigyelhető. Nagy különbség azonban, hogy itt a két turmalin típus nem különül el éles határral egymástól. Foltos átmenet figyelhető meg (Tur_b reliktumok) és a szegélyeken már átalakulási termékként a Tur_k változat látható. A területen látható egy nagyobb repedés, mely a kvarcban zárványsor formájában folytatódik (piros ellipszis–30. ábra a).

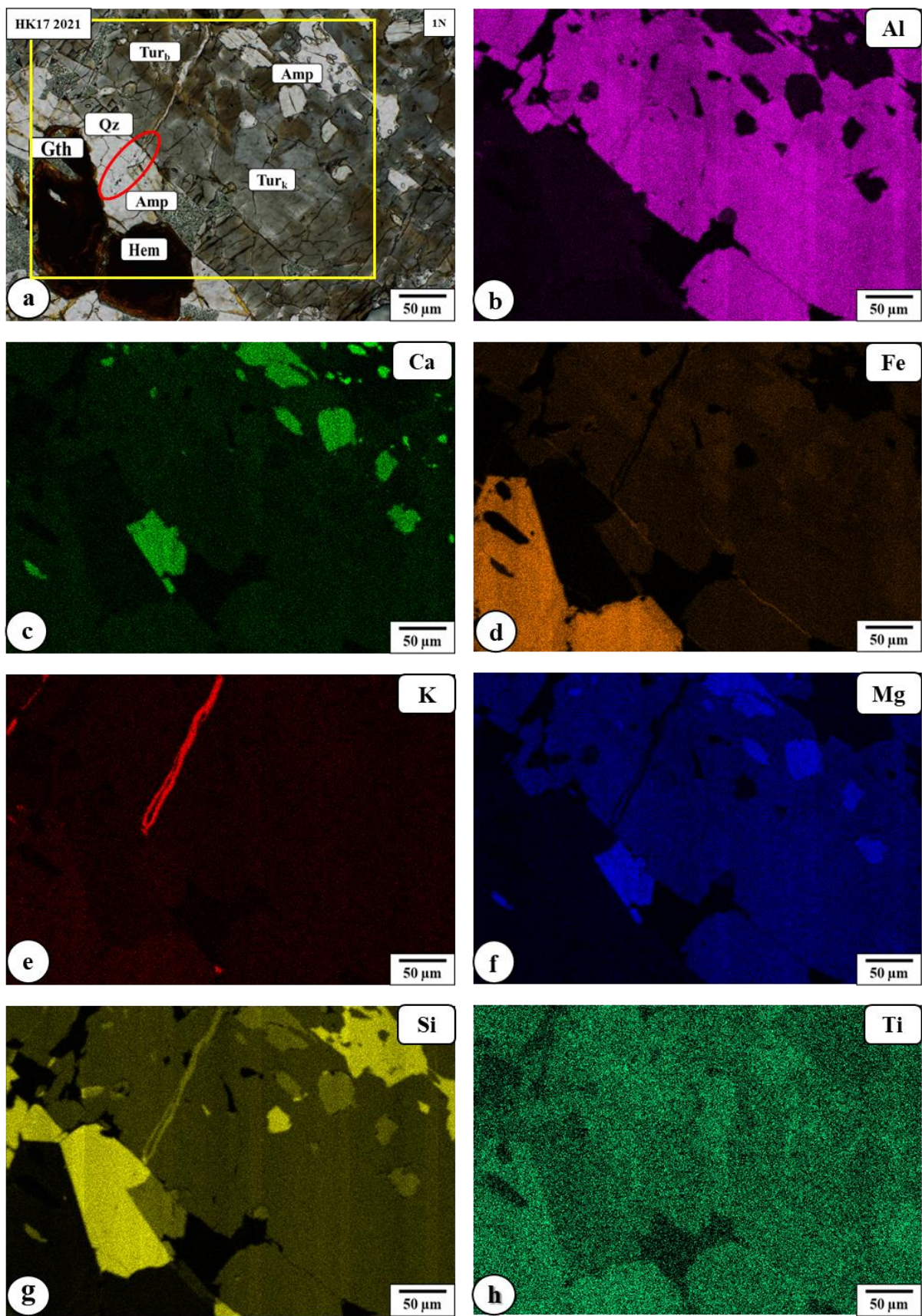
Az alábbi elemekből készültek eloszlástérképek: Al, Ca, Fe, K, Mg, Si és Ti. Megállapítható, hogy a Tur_b és a Tur_k változat is tartalmaz alumíniumot, de ez utóbbi egy alumíniumban gazdagabb generáció. Mindkét turmalin típus tartalmaz kevés kalciumot, de a Tur_b az intenzitás alapján kalcium gazdagabb. A 30. ábrán jól kivehető, hogy a Ca-ban gazdag területek az amfibol

szemcséhez köthetőek (30. ábra c). A vas mindkettő turmalin típusban megfigyelhető, azonban a Tur_b vasban gazdagabb változatnak bizonyul. Kiemelendő, hogy a legnagyobb intenzitású területek a vas szempontjából a hematit és goethit fázisokhoz köthetőek. Az amfibol szintén tartalmaz kis mennyiségű vasat. A vizsgálat alapján (hasonlóan a mikroszkopikus röntgenfluoreszcencia méréshez) megállapítható, hogy mindkét turmalin generáció gyakorlatilag kálium mentes. Az elem dúsulása a vizsgált területen elsősorban különböző erekhez, törésekhez kapcsolódik (30. ábra e). Magnéziumot mindkét turmalin generáció tartalmaz, de a Tur_k magnéziumban gazdagabb, továbbá megállapítható, hogy főként az amfibol szemcsékhez kötődik intenzívebb Mg előfordulás. A szilícium eloszlásban nem látható lényeges különbség, viszont az erekben, valamint bizonyos ásványfázisokban (pl. kvarc, földpát) koncentrálódik. Tehát a szilícium relatív dúsulása nem a turmalin szemcsékhez kötődő térbeli mintázatot mutatja, hanem a kvarcban és földpátban gazdag erek és egyedi szemcsék elrendeződését. A titán esetében hasonló eredményeket láthatunk, a Tur_b egy titán gazdagabb, míg a Tur_k titánban szegényebb (vagy Ti-mentes) turmalin típus.

Összességében megállapítható, hogy a két különböző módszerhez köthető elem térképezés hasonló eredményeket hozott. A két turmalin generáció közül a Tur_b vasban és titánban gazdagabb, míg a Tur_k alumíniumban és magnéziumban gazdagabb turmalin.

A HK17 2021 minta K/Ar kormeghatározása geológiai értelemben nem vezetett eredményre (BENKÓ, szóbeli közlés, 2022), ami a mikroszöveti és elemeloszlás megfigyelések alapján azzal magyarázható, hogy egyik turmalin generáció sem tartalmazott érdemi mennyiségű káliumot.

A KDK 3T 2018 minta előzetes ásványkémiai elemzésének eredményei alapján a Tur_k drávit, a Tur_b sörl turmalin ásványfajhoz kapcsolható. A dolgozatomban ismertetett előzetes, tájékoztató elemösszetételi eredmények jó egyezésben vannak a mikroszondás mérések eredményeivel.



30. ábra: Energiadisziperzív röntgenspektrométerrel (EDS) készített felvételek a HK17 2021 mintáról. a) Normál mikroszkópi felvétel a vizsgált elem térképezési terület kiemelésével (sárga téglalap)

9. Diszkusszió

A hegyes-hegységi turmalinok megismerését célzó tudományos diákköri munkám alapjául szolgáló terepi mintagyűjtés során granitoid- és aplitos-jellegű, uralkodóan kvarc-földpát érkitöltésből származó (pegmatitos jellegű), valamint kontakt metamorfózist szenvedett, szaruszirt típusú turmalintartalmú kőzeteket különböztettem meg makroszkóposan.

A tanulmányozott szakirodalom alapján a területtel foglalkozó szerzők a turmalintartalmú kőzetek kapcsán főként makroszkópos leírást végeztek, szövegileg csak a turmalinok poikilites jellege van helyenként megemlítve (BONIN & TATU 2016), de semmilyen egyéb petrográfiai jellemzőre nem tértek ki. LÓCZY (1876) a Hegyes-hegység területén fillitben, valamint a fillit és diorit kontakt határán írt le turmalinokat (*10. ábra*), de ő a gránithoz nem kapcsolta jelenlétüket. BORDEA & BORDEA (1993) a Cladovai Formációban („Fekete sorozat”) említenek kontakt hidrotermás turmalint, míg BONIN & TATU (2016) ez előbbi formációban poikilites turmalint írtak le, valamint a gránithoz kapcsolódóan greizenes és másodlagos turmalinokat említenek (*1. táblázat*). A korábbi leírások szerinti előfordulások közül dioritos kontakthoz kapcsolódó mintát jómagam nem vizsgáltam (nem fordult elő a mintagyűjtés helyén), azonban aplitos érben előforduló turmalint korábban (az általam tanulmányozott szakirodalom alapján) senki sem írt le a térségből.

A turmalinokat befogadó mellékkőzet-csoportok közül a szaruszirtben két eltérő megjelenésű turmalint írtam le (ld. *5. táblázat*). Az egyik a világosbarna–sötétzöld pleokroizmusú, zárványgazdag turmalin (Tur_z), míg a másik a világosrózsaszín–sötétbarna pleokroizmusú, poikilites megjelenésű típus (Tur_r). A gránithoz kapcsolódóan, valamint pegmatitos kvarc–földpát érben is kétfajta turmalint tudtam megkülönböztetni. Az egyik a világossárga–sötétbarna pleokroizmusú, poikilites megjelenésű típus (Tur_b), illetve egy világos kékeszöld–szürkés-kék árnyalatú turmalin, amely az előző változat repedéseiben és szegélyein jelenik meg (Tur_k). Az aplitos érben kizárólag a Tur_b változat előfordulását figyeltem meg. A makroszkóposan bizonytalan kőzettani besorolású HK17 2021 mintában a Tur_b titanittal és amfibollal fordul elő. Mivel a Tur_b egyértelműen a gránithoz kötődő kőzetváltozatokban figyelhető meg, így nagy valószínűséggel a hozzá kapcsolódó kísérő ásványok (amfibol, titanit) is ehhez köthetőek. LÓCZY (1876) leírása alapján a dioritban a turmalin amfibollal és epidottal jelenik meg. Figyelembe véve az általam vizsgált mintákat, csak a HK17 2021 esetében figyeltem meg az amfibolt, azonban LÓCZY (1876) csak a diorit és szaruszirt kontakt határán jegyezte fel a turmalin ilyen jellegű megjelenését.

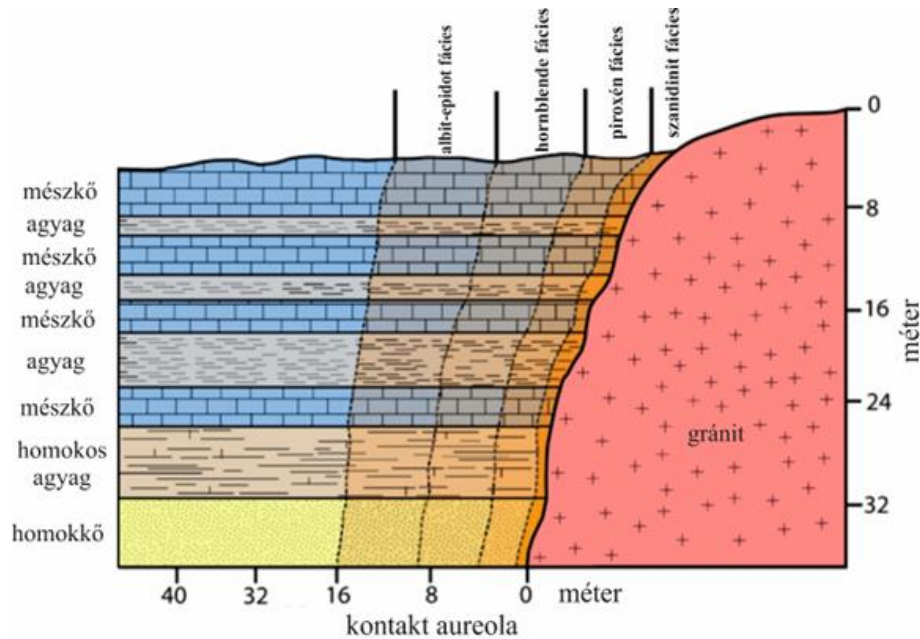
5. táblázat: A vizsgált mintákban előforduló turmalin típusok jellemzői

Turmalin fajtája	Méret	Megjelenése	Pleokroizmus	Egyéb jellemzők	Kísérő ásványok	A mellékkőzet típusa
Tur ₂	50–200 µm	xenomorf, hipidiomorf	világosbarna–sötétzöld	zárványgazdag	biotit, epidot, hematit, plagioklász földpát	szaruszirt
Tur _r	300–1200 µm	poikilites, xenomorf	világosrózsaszín–sötétbarna	repedezett, zárványgazdag	epidot, hematit, plagioklász földpát	szaruszirt
Tur _b Fe-Ti gazdag (sörl)	150–1000 µm	poikilites, xenomorf	világossárga–sötétbarna	repedezett, színzónás (Tur _{b1} , Tur _{b2}) zárványgazdag	kvarc, plagioklász földpát, amfibol, titanit, kékeszöld turmalin	granitoid-, aplit jellegű, kvarc–földpát érkítöltés
Tur _k Mg-Al gazdag (drávit)	50–200 µm	xenomorf, hipidiomorf, idiomorf	világos kékeszöld–szürkés-kék	érkítő, továbbnövekedés	kvarc, epidot, hematit	granitoid jellegű és kvarc–földpát érkítöltés

Az egyes befogadó kőzettípusok és a kapcsolódó turmalinok mikropetrográfiai jellemzői (pl. méreteloszlás, pleokroizmus, szöveti jelleg) alapján négy eltérő turmalint tudtam megkülönböztetni (5. táblázat). A poikilites turmalinszemcsék és kísérőásványaik esetleges UV-aktivitásának kimutatása érdekében UV-gerjesztéses mikropetrográfiai megfigyeléseket végeztem. Megállapítottam azonban, hogy a vizsgált mintákban egyik turmalin és egyéb ásvány sem mutat UV-aktivitást. A szakirodalom alapján a fluoreszcencia ritka a turmalinok között. Mindössze 2 olyan fajta létezik, amely hosszuhullámú UV-fényben fluoreszkál és egy, amely rövidhullámú UV-fényben aktív (2. [https](#)). A legfontosabb aktivátorok a Cr³⁺, a V²⁺, a Fe³⁺ és a Mn²⁺. Néhány drávit fajta (pl. króm-drávit) a krómkomponens miatt gyenge vagy mérsékelt vörös színben fluoreszkálhat UV gerjesztés hatására. Alkalmanként az elbait fajba tartozó világoskék és világoszöld, réz-tartalmú (ún. „paraiba”) turmalinok hosszuhullámú UV-fényben kékesfehéren fluoreszkálhatnak. Rövidhullámú UV-fényben néhány barna drávit, zöld vanádium-drávit és zöld vanádium-uvit turmalinról ismert, hogy gyenge sárga színben fluoreszkál (1–2. [https](#)). A ritkaföldfém-tartalom szintén eredményezhet UV-aktivitást (VERESHCHAGIN et al. 2021). A vizsgált hegyes-hegységi turmalinok az UV-aktivitás hiánya miatt a fluoreszcencia alapján további alcsoportokra nem bonthatók.

Rátérve a genetikai kapcsolatok feltárására, kiemelendő CIOBANU et al. (2006) tanulmánya, akik szerint a vizsgált területen a granitoid intrúziók és a befoglaló kőzetek érintkezési zónájában metamorf kőzetváltozatok figyelhetők meg. Figyelembe véve a kontakt zóna általános felépítését, az itt kialakult kőzeteket összefoglalóan szaruszirtnek nevezik, amely döntően sávós vagy palás megjelenésű. Ezen tulajdonság elsősorban az eredeti kőzet tulajdonságaiból adódhat, másrészt pedig a behatoló magma hatására alakulhat ki. A sávosság-paláság erőssége a magmás testtől távolodva

nagyrészt csökken (3. [https](#)). A zónát, ahol a kontakt metamorfózis jelenségei észlelhetők (31. *ábra*), kontakt aureolának nevezzük. Az aureola vastagsága a millimétertől a kilométeres skáláig terjedhet. A kontakt metamorfózis intenzitása az aureola legbelső részétől a legkülső felé csökken (4. [https](#)). Ami a vizsgált terület földtani viszonyait illeti, az amfibol (aktinolit) csak kisebb intrúziók kontakt zónájában jelenik meg a magmás mag (masszívum) északi részén (CIOBANU et al. 2006). Mivel a mintagyűjtés helyszíne is a magmás mag északi részére tehető (9. *ábra*), így ez magyarázatot adhat a HK17 2021 mintában található amfibol megjelenésére.



31. ábra: A kontakt aureola szaruszirt fáciesei (4. [https](#))

A szaruszirt protolitját a szakirodalom döntő többsége (BORDEA & BORDEA 1993; CIOBANU et al. 2006; BONIN & TATU 2016) pélites eredetűnek gondolja. PANĂ & RICMAN (1988) szerint azonban bazalt szaruszirtről van szó. Ez utóbbi gondolatot a saját megfigyeléseim cáfolják, mert a szaruszirtet főleg rétegszilikátok (főként biotit), kvarc és plagioklász földpátok alkotják. Magát a protolitot BORDEA & BORDEA (1993) alsó perm korúnak tekintik. Ezen pélites protolitot érte egy kontakt metamorf esemény BORDEA & BORDEA (1993) szerint a középső perm-ben, mely kort a terület felzikus kőzeteiből szeparált cirkonkristályok U/Pb korhatározása szintén megerősítettek (267 millió év; PANĂ 2002; SZEMERÉDI et al. 2021).

A szaruszirt fekete színét BONIN & TATU (2016) szerint a martit (magnetit átalakult formája) jelenléte okozhatja. LÓCZY (1876) szintén említi a magnetitet szaruszirtekben, de az általam használt fázisanalitikai technikák (XRPD, Raman-spektroszkópia) nem tudták kimutatni, csak a

hematit és goethit jelenlétét a helyenként enyhén áttetsző opak ásványok vizsgálata során. A hematit vascsillám formájú megjelenése makroszkópos léptékben viszont mindenféleképpen egy hidrotermás folyamatra utal a térségben. A hidrotermás hőmérsékleten keletkezett (kb. 200–100 °C) hematit kristályok a bázislap szerint táblásak, ezüstösen fémes fényűek, valamint pikkelyeket alkotnak. Ez a megjelenés adja a vascsillám habitust a hematitnak (KOCH & SZTRÓKAY 1967). A hematitosodás idejének pontosításához további vizsgálatok szükségesek.

A szaruszirtekből általam leírt két turmalin típus közül a Tur_z kora bizonytalan, de lehetséges, hogy keletkezése a gránithoz kapcsolódó kontakt metamorfózishoz (CIOBANU et al. 2006), metasomatikus hatáshoz (greizenesedéshez) köthető. A Tur_z -ben megfigyelhető zárványok eredetét és összetételét még nem vizsgáltam, viszont főként biotit, epidot, hematit és plagioklász földpát környezetében fordul elő ez a turmalin típus. Ez utóbbi kísérő ásványok hidrotermás eredetet jelezhetnek (pl. BORDEA & BORDEA 1993), de ez további vizsgálatokat igényel.

A greizennel kapcsolatos ércesedések paragenetikai szekvenciái gyakran mutatnak néhány általános jellemzőt. Az ércásványok kristályosodása általában a legmagasabb hőmérsékleten egy oxidfázissal (kassziterit, wolframit) kezdődik, amelyet szulfidok (pirit, kalkopirit, pirrhotin, arzenopirit, molibdenit és bizmutin) követnek. A folyamatot egy késői, alacsonyabb hőmérsékletű karbonátos–oxidos szakasz zárja, amelyet kalcit, sziderit és vas-oxid megjelenése jellemez (PIRAJNO 2013). Ez utóbbi folyamathoz kapcsolódhat a vascsillám habitusú hematit megjelenése a mintákban.

A másik, szaruszirthoz kapcsolódó változat a Tur_r , amely lehetséges, hogy a diorit vagy a gránit kontakt metamorfózisához kapcsolható (LÓCZY 1876; BONIN & TATU 2016), de kora és összetétele még bizonytalan. Kísérő ásványai közé tartozik az epidot, hematit és a plagioklász földpát, hasonlóan a Tur_z típusúhoz.

A legerterjedtebb turmalin a mintákban a Tur_b , mely mind a granitoid, aplit jellegű, mind pegmatitos kvarc–földpát érkitöltésekben előfordul. A granitoid jellegű minták esetén színzónás (Tur_{b1} , Tur_{b2}) változatok láthatóak, de összetételbeli különbség meghatározásához további vizsgálatok szükségesek. Továbbá a granitoid mintákban a Tur_b egy zárványgazdag, repedezett turmalin. Zárványait főként kvarc, földpát, hematit, titanit és amfibol szemcsék adják, míg repedéseit kvarc, plagioklász földpát és – a később tárgyalandó – kékeszöld turmalin (Tur_k) tölti ki. Az aplit jellegű kőzetmintákban a Tur_b főként a szaruszirt kontakt határán jelenik meg, azonban a Tur_k nem jelentkezik kísérőásványként. A mintákban megfigyelhetőek kvarctartalmú mikroerek, melyek követhetők a Tur_b fázisban fluidumzárványok formájában. Az ilyen típusú ereket főként epidot, hematit és földpát környezetében figyeltem meg, melyek mentén szintén láthatóak üde

plagioklász földpátok, azaz utólagos albitosodás történhetett. Szöveti helyzetük alapján megállapítható, hogy ezen erek később jöttek létre, mint a Tur_b fázis kristályosodása. A pegmatitos kvarc–földpát érkitöltésekben – hasonlóan a granitoid jellegű mintákhoz – szintén poikilites megjelenésű, repedezett, zárványgazdag Tur_b -t figyeltem meg, amelynek zárványait főként kvarc, földpát és hematit szemcsék adják, míg repedéseit kvarc, plagioklász földpát és kékeszöld turmalin (Tur_k) tölti ki. A tudományos diákköri munkámmal párhuzamosan készült elektronsugaras mikroanalízis („mikroszonda”) mérések alapján a Tur_b típus esetén egy vasban és titánban gazdagabb sörtről van szó, melyet a μ XRF és az EDS mérések is megerősítettek. BONIN & TATU (2016) megállapítását, hogy a gránithoz kapcsolódóan leírtak greizenes turmalinokat, saját megfigyeléseim alapján meg tudom erősíteni. A greizenesedés kora azonban jelen ismereteink alapján bizonytalan (valószínűleg szintén középső perm).

Az utolsóként említendő turmalin típus a Tur_k , melyet a granitoid és pegmatitos kvarc–földpát érkitöltésekben írtam le. Általában a Tur_b repedéseiben, illetve szegélyein továbbnövekedésként jelentkezik, valamint látható idiomorf formában, sőt önállóan kvarcérben is megjelenik. Szöveti helyzete alapján a legfiatalabb turmalin változat lehet. Kísérő ásványai között a kvarc, epidot és hematit a jellemző. Az egyéb ásványfázis vizsgálatok (XRPD, Raman-spektrometria) megerősítették a hematit jelenlétét a mintákban. A hematit itt is vascsillám megjelenésű, amely hidrotermás eredetre utal (pl. LÓCZY 1876; KOCH & SZTRÓKAY 1967). Ez utóbbi eredetet erősíti a kísérő ásványok megjelenése, mint pl. az epidot, kvarc és plagioklász földpát (CIOBANU et al. 2006; BONIN & TATU 2016 és hivatkozásaik). A tudományos diákköri munkámmal párhuzamosan készült elektronsugaras mikroanalízis („mikroszonda”) mérések alapján a Tur_k típus esetén egy magnéziumban és alumíniumban gazdagabb drávit, melyet a μ XRF és az EDS mérések is megerősítettek.

A granitoid jellegű minták esetén az epidotos erek környezetében üde plagioklászok és káliföldpátok figyelhetőek meg, melyek egy későbbi albitosodás és mikroklinesedés lehetőségét vetik fel. A Hegyesi Masszívumban kialakult törések és nyírási zónák kedveztek a fluidumok áramlásának és így azok teljes egészében átjárhatták a kőzeteket. Ezekhez az epizódokhoz a térségben epidot, albit és kvarc kapcsolódik, melyek a Pajzsi Komplexumban is megtalálhatóak (CIOBANU et al. 2006; BONIN & TATU 2016 és hivatkozásaik). Az első fluidumhatással társult deformációs fázis valószínűleg már a középső permben lezajszódott, amelyet egy későbbi alpi felülbélyegzés követett a krétában (BONIN & TATU 2016). Az, hogy a Tur_k melyik epizódhoz kapcsolható még bizonytalan, további vizsgálatok szükségesek.

10. Összefoglaló, következtetések

Tudományos diákköri dolgozatom célja a Hegyes-hegység geológiájának minél pontosabb rekonstruálása az általam gyűjtött turmalinos kőzetminták segítségével, valamint a területen leírt turmalin előfordulások pontosítása, részletezése. Összesen 24 ásvány- és kőzetpéldányt vizsgáltam meg. Kőzettanilag granitoid és aplitos jellegűeket, uralkodóan kvarc-földpát érkítőltésből származó (pegmatitos jellegű) példányokat, valamint kontakt metamorfózist szenvedett szaruszirt kőzeteket különböztettem meg, és a hozzájuk kapcsolódó turmalin szemcséket vizsgáltam. LÓCZY (1876) két eltérő jellegű turmalint írt le a területről (egyedi turmalinszemcsék; kontakt turmalin), valamint BONIN & TATU (2016) a gránit greizenesedéshez kapcsolódó turmalint írtak le. Ezen megállapításokat a saját megfigyeléseim alapján meg tudom erősíteni. A területről elsőként dokumentáltam turmalint aplit kőzettípusból. A szaruszirt kőzetekben mikropetrográfiai szempontból két eltérő színű és megjelenésű turmalint írtam le. (1) Világosbarna–sötétzöld pleokroizmusú zárványgazdag turmalin (Tur_z), mely egyedi szemcsék formájában fordul elő a szaruszirt mintákban. (2) Világosrózsaszín–sötétbarna pleokroizmusú, poikilites megjelenésű turmalin (Tur_r). A többi mellékkőzet-csoportban főként a világossárga–sötétbarna pleokroizmusú poikilites turmalin (3) jelenik meg (Tur_b), mely valószínűleg a gránit greizenesedéshez köthető. A kvarc-földpát érkítőltésekben és a granitoid jellegű mintákban az előző változatban (Tur_b) repedéskitöltőként, átalakulási szegélyként idiomorf megjelenésű világos kékeszöld–szürkés-kék árnyalatú típus (4) látható (Tur_k), mely a Tur_b képződését követő hidrotermás eseményhez kapcsolható.

A felmerült kérdések tisztázása érdekében a jövőben újabb mintagyűjtést szeretnék megvalósítani és további anyagvizsgálati módszereket alkalmazni az eddigi eredmények ellenőrzése érdekében. A már meglévő ásványkémiai elemzési adatokat szeretném a későbbiekben összehasonlítani a SELWAY & XIONG (2007) és a MORGAN (2016) számolótábla alkalmazásával. Az eddig ismeretlen kémiai összetételű turmalinok (Tur_r , Tur_z) előzetes ásványkémiai vizsgálatát (μ XRF, EDS) szeretném elvégezni, valamint a már meglévő Tur_b és Tur_k típusokat szeretném több mintában is megvizsgálni az eddigi eredmények pontosítása céljából. Az egyes turmalin típusok genetikájának pontosítása érdekében, a hozzájuk kapcsolódó ásványokat is szeretném részletesebben megvizsgálni.

11. Irodalomjegyzék

- BORDEA, S. & BORDEA, J. (1993): Presence of the "Vermiculate Sandstone Formation" (Permian) in the central zone of the Highiş mountains. – *Romanian Journal of Stratigraphy* **75**, 17–19.
- BONIN, B. & TATU, M. (2016): Cl-rich hydrous mafic mineral assemblages in the Highiş massif, Apuseni Mountains, Romania. – *Mineralogy and Petrology* **110**, 447–469.
- BRAGG, W. L. (1937): Atomic structure of minerals. Cornell University Press, Ithaca, New York, 292 pp.
- CIOBANU, C. L., COOK, N. J., DAMIAN, F. & DAMIAN, G. (2006): Gold scavenged by bismuth melts: An example from Alpine shear-remobilizates in the Highiş Massif, Romania. – *Mineralogy and Petrology* **87**, 351–384.
- DUTROW, B. L. & HENRY, D. J. (2011): Tourmaline: A geologic DVD. – *Elements* **7**, 301–306.
- FEHÉR B. (2020): A 2020. év ásványa, a turmalin. – *Herman Ottó Múzeum, Ásványtár* **15**.
- FEHÉR B. & ZAJZON N. (2021): Tourmalines of the Velence Granite Formation and the surrounding contact slate, Velence Mountains, Hungary. – *Central European Geology* **64/1**, 38–58.
- FEHÉR B. (2022): Magyarországi magmás és metamorf turmalinok kristálykémiája és az eredmények földtani alkalmazása. – Doktori (PhD) értekezés.
- HAWTHORNE, F. C. & DIRLAM, D. M. (1999): Classification of the minerals of the tourmaline group. – *European Journal of Mineralogy* **11/2**, 201–215.
- HAWTHORNE, F. C. & DIRLAM, D. M. (2011): Tourmaline the indicator mineral: From atomic arrangement to Viking navigation. – *Elements* **7**, 307–312.
- HENRY, D. J. & 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. & DUTROW, B. L. (1996) Metamorphic tourmaline and its petrologic applications. In: GREW E. S., & ANOVITZ L. M. (Eds): Boron: Mineralogy, Petrology and Geochemistry. – *Reviews in Mineralogy* **33**, 503–557.
- HENRY, D. J., NOVÁK, M., HAWTHORNE, F. C., ERTL, A., DUTROW, B. L., UHER, P. & PEZZOTTA, F. (2011): Nomenclature of the tourmaline-supergroup minerals. – *American Mineralogist* **96**, 895–913.
- IANOVICI, V., BORCOS, M., BLEAHU, M., PATRULIUS, D., LUPU, M., DIMITRESCU, R. & SAVU, H. (1976): Geologia Muntilor Apuseni. Ed. Academiei, Bucuresti, 631 pp.
- KOCH S. & SZTRÓKAY K. I. (1967): Ásványtan II. 2. kiadás, Tankönyvkiadó, Budapest, 419 pp.
- LONDON, D., MORGAN, G. B., & WOLF, M. B. (1996): Boron in granitic rocks and their contact aureoles. – *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* **33/1**, 299–330.
- LÓCZY L. (1876): A Hegyes-Drocsa hegység ásvány-lelhelyei. – *Földtani Közlöny* **6/11–12**, 275–286.
- 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.
- PANĂ, D. & RICHMAN, C. (1988) The lower complex of the Paiuşeni Series – a blastomylonitic shear belt. – *Revue roumaine de géologie, géophysique et géographie. Série de Géologie* **32**, 21–35.
- PANĂ, D.I., HEAMAN, L.M., CREASER, R.A. & ERDMER P. (2002) Pre-Alpine crust in the Apuseni Mountains, Romania; insights from Sm–Nd and U–Pb data. – *Journal of Geology* **110**, 341–354.
- PANDEY, S. C. & SCHREUER, J. (2012): Elastic and piezoelectric constants of tourmaline single crystals at non-ambient temperatures determined by resonant ultrasound spectroscopy. – *Journal of Applied Physics* **111**.

- PIRAJNO, F. (2013): Effects of Metasomatism on Mineral Systems and Their Host Rocks: Alkali Metasomatism, Skarns, Greisens, Tourmalinites, Rodingites, Black-Wall Alteration and Listvenites. In: HARLOV, D. E. & AUSTRHEIM, H. (Eds): Metasomatism and the Chemical Transformation of Rock – The Role of Fluids in Terrestrial and Extraterrestrial Processes – Lecture Notes in Earth System Sciences, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 203–251.
- RAUCSIK, B. & VARGA, A. (2015): Meddig ér a takarónk? – Terepbejárás a Maros völgyében. 6. Közzetani és Geokémiai Vándorgyűlés, Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Közzetani Tanszék, Szeged, 128–147.
- SPRÁNITZ, T., JÓZSA, S., KOVÁCS, Z., VÁCZI, B. & 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.
- SZAKÁLL S. (2005): Ásványrendszertan, Miskolci Egyetem Kiadó, 365 pp.
- SZÁLI R. (2021): A Pajzsi Komplexum (Erdélyi-középhegység, Tisia-megaterrénum) kőzeteinek teljes kőzet geokémiai vizsgálati eredményei, TDK dolgozat, 50 pp.
- SZEMERÉDI M., VARGA A., DUNKL I., LUKÁCS R., SEGHEDI, I., KOVÁCS Z., RAUCSIK B. & PÁL-MOLNÁR E. (2021): Petrology and zircon U–Pb dating of granitoid rocks in the Highiş massif (SW Apuseni Mts., Romania): Insights into Permian plutonic–volcanic connections. – *Geologica Carpathica* **72/6**, 482–504.
- 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.
- VARGA A., MIKES T. & RAUCSIK B. (2009): A mecseki toarci feketepala Réka-völgyi szelvényének előzetes petrográfiai és nehézasvány-vizsgálati eredményei. – *Földtani Közlöny* **139/1**, 33–54.
- VAN HINSBERG et al. (2011): Tourmaline: An ideal indicator of its host environment. – *The Canadian Mineralogist* **49**, 1–16.
- VAN HINSBERG, V. J., HENRY, D. J. & DUTROW, B. L. (2011): Tourmaline as a petrologic forensic mineral: A unique recorder of its geologic past. – *Elements* **7**, 327–332.
- VERESHCHAGIN, O. S., BÍRTIN, S. N., WUNDER, B., FRANK-KAMENETSKAYA, O. V., WILKE, F. D. H., VLASENKO, N. S., SHILOVSKIKH, V. V., BOCHAROV, V. N. & DANILOV V. D. (2021): Ln³⁺ (Ln³⁺ = La, Nd, Eu, Yb) incorporation in synthetic tourmaline analogues: Towards tourmaline REE pattern explanation. – *Chemical Geology* **584**, 1–8.
- WHITNEY, D. L. & EVANS, B. W. (2010): Abbreviations for names of rock-forming minerals. – *American Mineralogist* **95**, 185–187.

Internetes hivatkozások

1. <http://www.fluomin.org/uk/fiche.php?id=891&name=tourmaline> (2022.11.05)
2. https://www.gemstonemagnetism.com/how_to_page_7 (2022.11.05.)
3. <https://docplayer.hu/23768125-Segedanyag-bsc-szakosok-geologus-szakirany-metamorf-kozettan-gyakorlat-anyagahoz-szakmany-gyorgy-metamorf-folyamatok.html> (2022.11.11.)
4. <https://www.alexstrekeisen.it/english/meta/hornfels.php> (2022.11.11)

12. Köszönetnyilvánítás

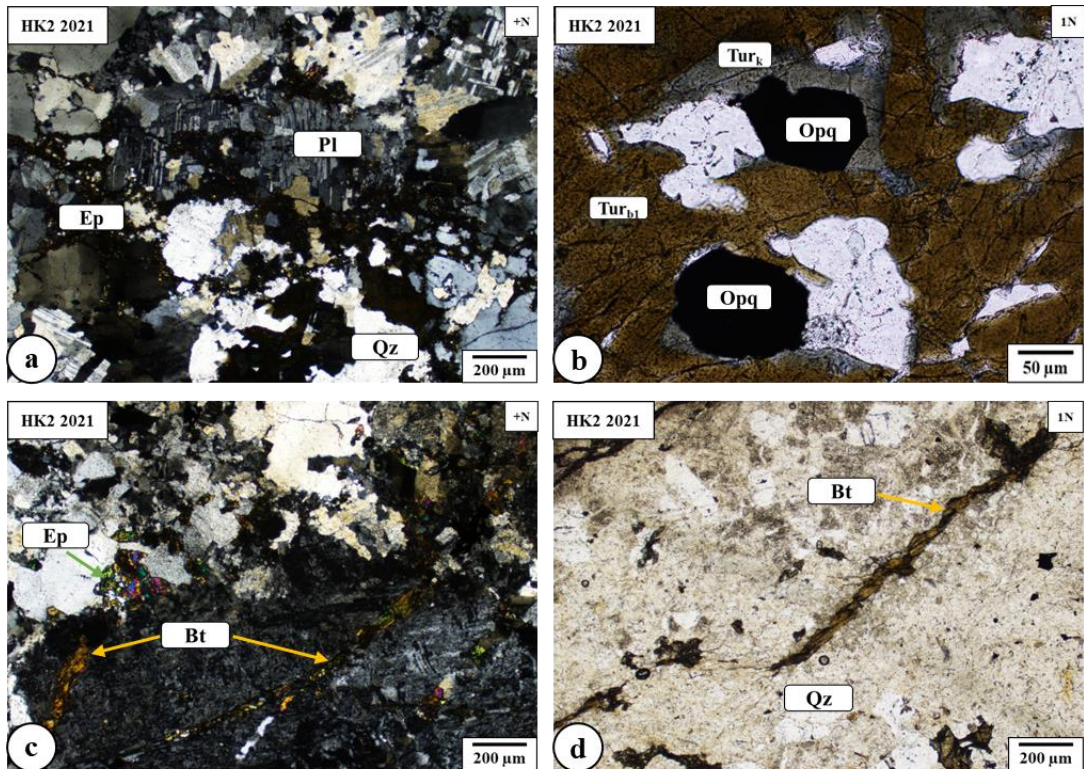
Köszönettel tartozom témavezetőimnek, Dr. Raucsikné Dr. Varga Andreának és Dr. Raucsik Bélának a dolgozatom elkészülése során nyújtott rendkívül hasznos, több órás konzultációkért, melyek segítségével rengeteget tanulhattam, és amelyek hozzájárultak munkám színvonalához. Köszönöm témavezetőmnek, Dr. Raucsikné Dr. Varga Andreának a mintagyűjtés során a sok segítséget, illetve a felajánlott korábban gyűjtött turmalinos mintákat. Köszönöm témavezetőmnek, Dr. Raucsik Bélának a makroszkópos megfigyeléseket pontosítását, valamint a hasznos információkat az XRPD mérésekkel kapcsolatban. Köszönettel tartozom az SZTE Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék valamennyi dolgozójának, köztük Bencsik Attilának és Grányák Viktornak a vékonycsiszolatok elkészítéséért. Köszönöm Dr. Fintor Krisztiánnak a Raman-spektroszkópia során nyújtott segítséget és a hasznos tanácsokat. Köszönettel tartozom Dr. Schubert Félixnek a μ XRF mérésért, valamint a SEM-EDS mérés megvalósításáért. Köszönöm Dr. Pápay Lászlónak a felajánlott turmalinos mintát. Köszönettel tartozom a Miskolci Egyetem dolgozóinak, köztük Topa Boglárka Annának és Dr. Zajzon Norbertnek a „mikroszondás” ásványkémiai mérések elvégzése miatt. Köszönöm Dr. Fehér Bélának a hasznos szakirodalmakat, mely munkám színvonalát nagyban segítette. Köszönöm a Debreceni Egyetem dolgozójának, Dr. Benkó Zsoltnak a K/Ar kormeghatározási vizsgálatot. Köszönet illeti még az ELTE munkatársát, Spránitz Tamást a fontos tanácsokért és irodalmakért. Köszönöm a családomnak a sok támogatást és bizalmat, amit eddigi tanulmányaim során és a tudományos diákköri dolgozatom megírása alatt kaptam.

13. Melléklet

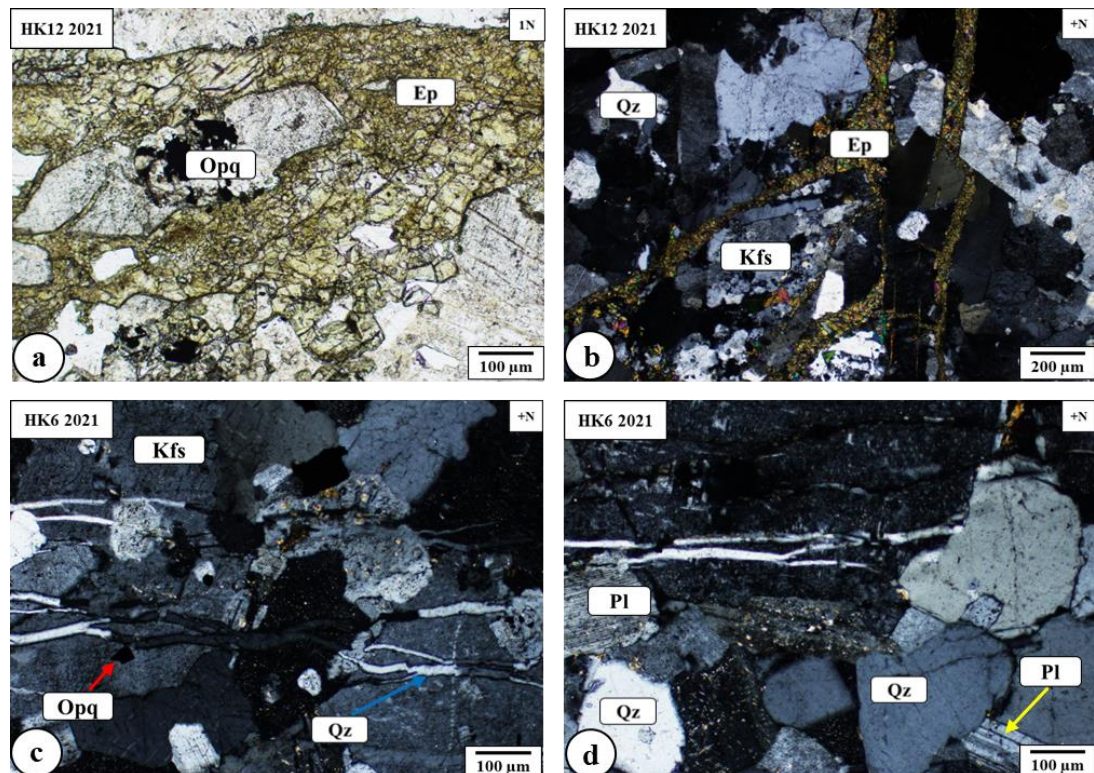
M1. táblázat: A gyűjtött kőzetminták általános ismertetése (az első oszlop színkódolva a befogadó kőzet megjelenése alapján; rövidítés: h–hosszúság; sz–szélesség)

Mintakód (h; sz cm-ben)	A minta jellege	Turmalin(ok) jellemzése (h; sz cm-ben)	Kísérő ásványok	Egyéb jellemzők
HK1 2021 (10; 7)	Granitoid jellegű, hússzínű, durva-, középszemcsés	Két jelentősebb sugaras fekete turmalin fészek (3,5; 1 és 7; 3), illetve sok kisebb (0,5 cm-es) amely élesen elkülönül a befogadó kőzettől	Kvarc; földpát; epidot; limonit	Többségében 1–2 mm széles epidotos erek futnak párhuzamosan a minta egy jelentős részén, valamint 0,5–1,5 cm széles erek is előfordulnak; a földpát (albit?) hipidiomorf; a kvarc xenomorf; hintetten narancssárgás elszíneződés (vas-oxid)
HK2 2021 (12; 9)	Granitoid jellegű, világos hússzínű és durva-, középszemcsés	Két jelentősebb sugaras fekete turmalin fészek (5; 3 és 4; 3) amelyek élesen elkülönülnek a befogadó kőzettől	Kvarc; földpát; epidot; limonit; csillámok	3–5 mm széles kvarc szemcsék (xenomorf); 3 cm-es epidot fészek (üregkitöltő), néhol 1–2 mm-es epidot kristályok; több 3 mm-es epidotos ér
HK3 2021 (6; 4,5)	Kvarc–földpát érkitöltés, durva-, középszemcsés	Sugaras fekete turmalin fészek (5; 3), néhol táblások a kristályok	Kvarc; földpát; epidot; limonit	1–2 mm-es xenomorf kvarc szemcsék; 1 mm-es epidotos erek; sárgásbarna elszíneződés (vas-oxid)
HK4 2021 (7,5; 5)	Kvarc–földpát érkitöltés, sötétebb sárgásbarna árnyalattal, durva-, középszemcsés	Sugaras fekete turmalin fészek (5; 4), néhol oszlopos megjelenéssel	Kvarc; földpát; epidot; limonit	0,5 cm-es xenomorf kvarc szemcsék; 1–2 mm-es epidotos erek; sárgásbarna elszíneződés (vas-oxid)
HK5 2021 (10; 6)	Granitoid jellegű, világos hússzínű és durva-, középszemcsés	Nem figyelhető meg makroszkóposan a mintában	Kvarc; földpát; epidot; limonit; opak ásványok	1–2 cm-es epidotos fészkek; cm-es xenomorf kvarc szemcsék; 0,5 cm-es vas-oxidos felületek
HK6 2021 (14; 5)	Aplitos, málnavörös színű, közép-, finomszemcsés	Fekete turmalin halmazok (0,5–1,5 cm-es)	Kvarc; földpát; epidot; limonit	0,5–1 cm-es epidotos erek; 1–2 mm-es xenomorf kvarc szemcsék
HK7 2021 (5; 3,5)	Kvarc–földpát érkitöltés, világos hússzínű, közép-, finomszemcsés	Két jelentősebb sugaras fekete turmalin fészek (3; 1,5 és 2; 1), néhol táblás megjelenéssel	Kvarc; földpát; limonit; opak ásványok; csillámok	0,5 cm-es xenomorf kvarc szemcsék; több becsillanó apró szemcse
HK8 2021 (15; 8)	Szaruszirt, szürke színű és közép-, finomszemcsés	Három jelentős sugaras fekete turmalin fészek (2,5; 1,5 és 2; 1 és 2,3; 1,6)	Kvarc; limonit; csillámok	Homogénebb befogadó kőzet, mely becsillanó csillámokat tartalmaz
HK9 2021 (5,5; 4,5)	Kvarc–földpát érkitöltés, hússzínű, durva-, középszemcsés	Sugaras fekete turmalin gócok (0,2–0,5 cm-es átmérővel)	Kvarc; földpát; limonit; epidot	Néhol 0,3–0,5 cm-es xenomorf kvarc szemcsék; 1–2 mm-es epidotos erek
HK10 2021 (6,5; 3)	Kvarc–földpát érkitöltés, hússzínű, durva-, középszemcsés	Vékony 1–2 mm hosszú fekete turmalin kristály	Kvarc; földpát; epidot; hematit	1,5 cm-es xenomorf kvarc- és hematit szemcsék; 1–2 mm-es epidotos erek
HK11 2021 (12; 6,5)	Szaruszirt, szürke színű és közép-, finomszemcsés	Üregkitöltő fekete turmalin halmaz (2; 1,5), néhol oszlopos megjelenéssel	Kvarc; limonit; csillámok	Néhány mm átmérőjű enyhe irányítottágú foltok jelennek meg; egyes foltok közepén opak szemcsék; csillámgazdag rész

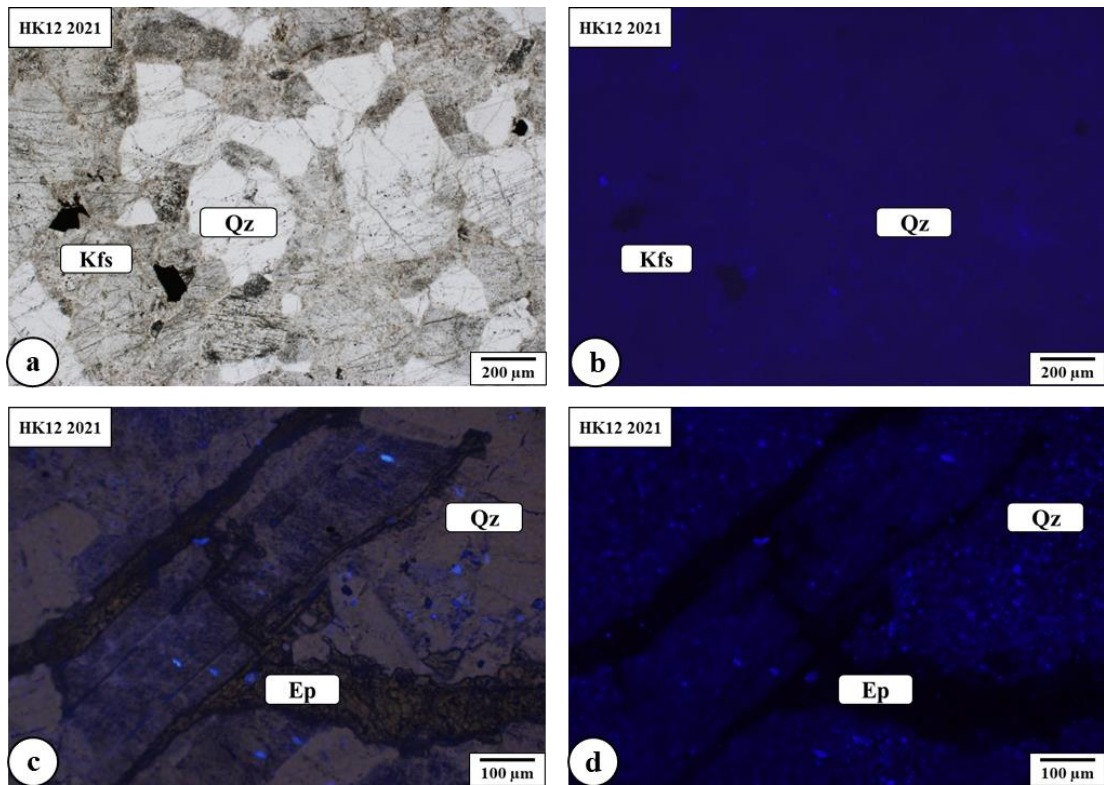
HK12 2021 (10; 6)	Aplitos, málnavörös színű, közép-, finomszemcsés	Két sugaras fekete turmalin fészkek (1,5; 1 és 2,5; 1,5) melyek élesen elkülönülnek a befogadó közettől	Kvarc; földpát; epidot; opak ásványok; limonit	1–2 mm-es epidotos erek; néhol 0,5–1 cm-es xenomorf kvarc szemcsék
HK13 2021 (5,5; 2)	Kvarc–földpát érkitöltés, világos hússzínű, közép-, finomszemcsés	3–5 mm-es xenomorf fekete turmalin szemcsék (10 db)	Kvarc; földpát; opak ásványok; limonit	1–2 mm-es xenomorf kvarc szemcsék; elszórtan elhelyezkedő 0,5 cm-es vas-oxidos felületi bevonat
HK14 2021 (4,5; 3,5)	Aplitos, málnavörös színű, közepszemcsés	1 cm átmérőjű sugaras megjelenésű fekete turmalin	Kvarc; földpát; limonit; opak ásványok	Néhol 1–2 mm-es xenomorf kvarc szemcse; 2–3 mm-es földpát koszorú (sárgásbarna) a turmalin körül; kontakt határ
HK15 2021 (7; 4,5)	Szaruszirt, szürke színű és közép-, finomszemcsés	Xenomorf fekete turmalin halmaz (1,5; 0,5)	Kvarc; limonit; csillámok	Homogénebb befogadó kőzet; néhol 1–2 mm-es xenomorf kvarc szemcsék
HK16 2021 (6; 5)	Breccsa	Nem figyelhető meg makroszkóposan a mintában	Kvarc; földpát; limonit; opak ásványok	0,5–1 cm-es breccsás klasztok, melyeket egy finomabb szemcseméretű és eltérő narancssárga színű anyag vesz körül
HK17 2021 (4; 3)	Turmalin ásványtöredék	A minta majdnem teljes egészét (3–4 cm) alkotó fekete turmalin	-	A minta jelentős részét a fekete turmalin adja
HK18 2021 (5,5; 3)	Szaruszirt, szürke színű és közép-, finomszemcsés	2–3 mm-es turmalin szemcse megfigyelhető az aplitos érben	Kvarc; földpát; epidot; hematit; limonit	A mintában jelentős számú vascsillám és epidot figyelhető meg; 4–5 mm-es sávban aplitos ér is megfigyelhető
HK19 2021 (5,5; 4,5)	Szaruszirt, szürke színű, közép-, finomszemcsés	3–4 mm átmérőjű sugaras fekete turmalin szemcsék (5 db)	Kvarc; földpát; epidot; hematit; limonit	A mintában több (2–3 db) táblás vascsillám figyelhető meg
HK20 2021 (13,5; 9,5)	Kvarc–földpát érkitöltés, világos hússzínű, durva-közepszemcsés	2,5 cm keresztmetszetű fekete turmalin fészkek (5–6 db), valamint 2–5 mm átmérőjű turmalin kristályok	Kvarc; földpát; epidot; limonit	A mintában 5 db 1–2 mm átmérőjű xenomorf kvarc zárvány figyelhető meg; epidotos hajszálerek (0,5–2 mm), valamint szürkés zöld színű kontakt határral rendelkezik (szaruszirt)
KDK 3F 2018 (9; 4,5)	Kvarc–földpát sávos érkitöltés	Nem figyelhető meg makroszkóposan a mintában	Kvarc; földpát; opak ásványok; limonit	1–2 cm-es egymástól elkülönülő sávok alkotják; sok opak szemcse figyelhető meg
KDK 3T 2018 (7,5; 5)	Kvarc–földpát érkitöltés	Több mint 0,5 cm széles és 3–4 cm hosszú fekete turmalin, melyet epidotos erek szabdalnak fel	Kvarc; földpát; epidot; hematit; limonit	A kőzetminta nagyrészt 0,5 cm átmérőjű xenomorf, üvegfényű szürke szemcsékből áll; 1–2 mm-es epidotos ér futja át a példányt



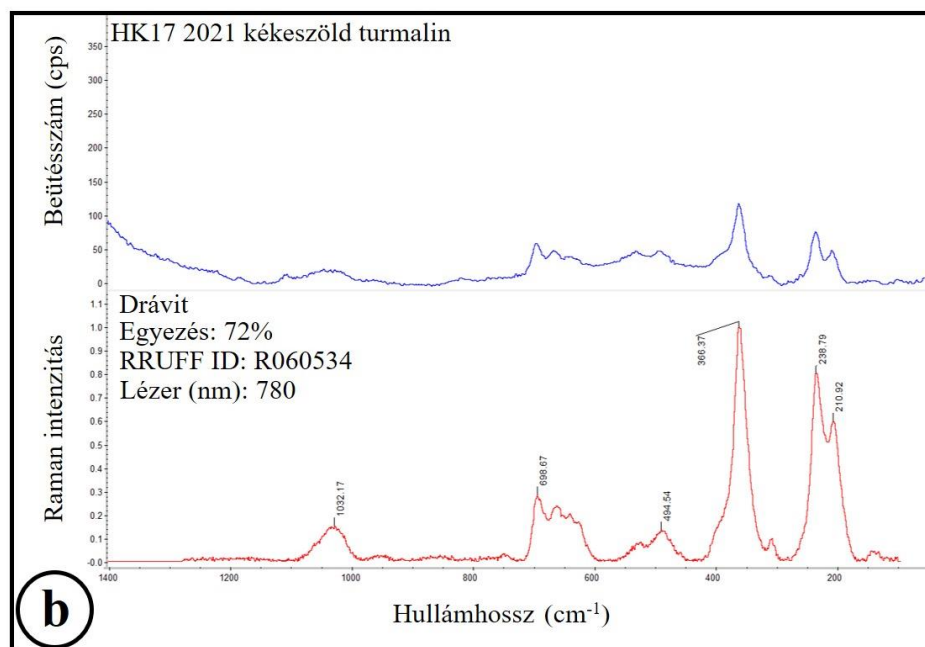
M1. ábra: A Gr-csoportot képviselő minta ásványos összetétele és mikroszövege. a) A fő kőzetalkotó ásványok közül a Pl esetén megfigyelhetők üde szemcsék az epidotos erek mentén. b) A Tur_k főként Pl, Ep és Opq ásványok társaságában látható. c–d) Érkitöltő ásványként Ep és Bt jelenik meg



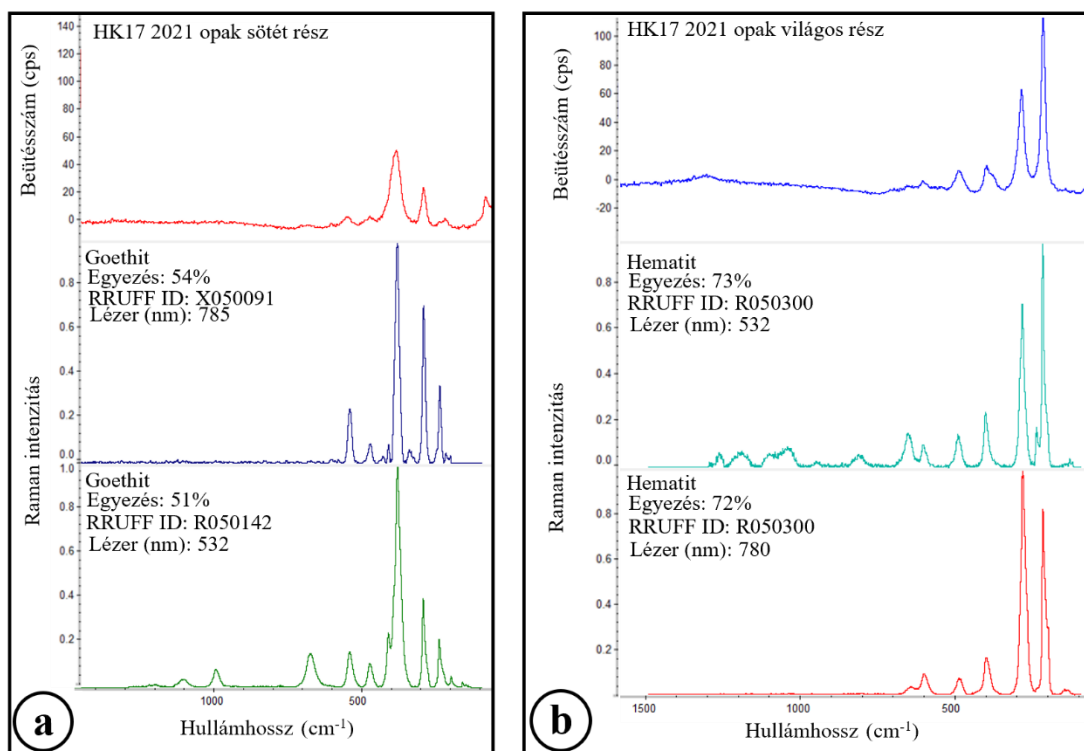
M2. ábra: Az Ap-csoportot képviselő minta ásványos összetétele és mikroszövege. a–b) Az Ep gyakran jelenik meg érkitöltőként, gyakran üde földpát szemcsék társaságában. Egyes helyeken (a) gyakran jelenik meg Opq ásványok kíséretében. c–d) Qz-tartalmú mikroerek szintén megfigyelhetők, melyek környezetében szintén felfedezhetünk üde Pl szemcséket



M3. ábra: Az Ap-csoportot képviselő minta ásványos összetétele és mikroszövete. a–b) Normál mikroszkópi és UV gerjesztésű felvétel a Qz és Fsp ásványok környezetéről. c–d) UV-blue és UV gerjesztésű felvétel a minta egészét behálózó Ep ér egyik részletéről. Az Ep ér nem tartalmaz olyan alkotókat, mely UV-aktivitást mutatnának



M4. ábra: A HK17 2021 kőzetminta egyik Turk szemcséjéről készített Raman spektrum. Megállapítható, hogy a turmalin (drávit) ásványfázis kimutatható



M5. ábra: Raman spektroszkópiával beazonosított goethit (a) és hematit (b) spektrumai. Az általam mért spektrum felül piros színnel (a), valamint kék színnel (b) látható, míg a két alsó az adatbázisban található referencia spektrum