

Új magyarországi ásványfajok a Duna pleisztocén kavicsösszletéből és földtani jelentőségük

Tudományos Diákköri Dolgozat

2014

Váczai Benjámin

Spránitz Tamás



Eötvös Loránd Tudományegyetem

Természettudományi Kar

Közettan-Geokémiai Tanszék

Témavezető:

Dr. Józsa Sándor

ELTE-TTK Közettan-Geokémiai Tanszék

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés, a témaválasztás oka és célja	3
2. A vizsgált minták lelőhelye, annak földrajzi elhelyezkedése, földtana és kialakulása ...	3
a) Dunavarsány földrajzi helyzete, a kavicsbánya helyszíne.....	3
b) Dunavarsány térségének földtani besorolása, rövid tudománytörténeti áttekintés.....	3
3. Vizsgálódás tárgya, menete	9
a) A dunavarsányi kavicsbánya helye, anyagának kitermelése, a kőanyag útja a minta begyűjtéséig, a vizsgált minták általános képe.....	9
b) A minták lehetséges forrásterületének a behatárolása.....	12
4. A lehetséges lelőhelyek és azok földtani felépítése.....	14
a) A dumortierites gneiszek szakirodalmi nyomozása.....	14
b) A klinohumitos márvány szakirodalmi nyomozása.....	18
5. Anyagvizsgálati módszerek.....	19
6. A minták részletes vizsgálata	21
a) A dumortierit tartalmú gneiszek részletes petrográfiai elemzése.....	21
b) A klinohumit tartalmú márvány részletes petrográfiai elemzése.....	43
7. Az eredmények értékelése, következtetések	57
a) A dumortierit tartalmú gneiszek összefoglalója.....	57
b) A klinohumit tartalmú márvány összefoglalója.....	61
c) Összegzés, konklúzió.....	63
8. Összefoglalás (Abstract).....	67
9. Köszönetnyilvánítás	69
10. Irodalomjegyzék	70
11. Függelék	74
12. Mellékletek	75

1. Bevezetés, a témaválasztás oka és célja

A Dél-Pesti-síkság kavicsösszlete a pleisztocén korban alakult ki a nagy eljegesedések (glaciálisok) és az eljegesedések közti időszakok (interglaciálisok) hatására. A kavicsanyag régóta foglalkoztatja már a kutatókat (például: BÓDI 1938, PÉCSINÉ DONÁTH 1958, KRIVÁN 1973, JASKÓ és KORDOS 1990, ZSEMLE és mtsi. 2001, BURJÁN 2002, BRADÁK 2004, MÁTÉ 2005, JÁMBOR 2010). A hordalék az uralkodó durvaszemcsés kavics mellett számos nagyobb méretű és eltérő mértékben koptatott hömpölyt és tömböt is tartalmaz. A rendkívül változatos anyagban sokféle különleges kőzet is fellelhető, amelyeknek könnyebb meghatározni a forrásterületét, mint a közönségesebb kőzeteknek. Az általunk kiválasztott hömpöly és tömb mérettartományba tartozó kőzetek olyan ásványokat tartalmaznak, amelyeket egyrészt Magyarországon még nem írtak le, másrészt igen ritkák, ezért a forrásterület lehatárolása nagyobb valószínűséggel sikerül. A kőzetek mérete és koptatottsága további információt hordoz a szállítódás módjáról. Ezen ismeretek alapján, ha tudjuk egy kőzet forrásterületét és tisztában vagyunk a méreteivel és a koptatottságával, akkor információkat kapunk a pleisztocén kori folyók, első sorban a Duna felszínalakító tevékenységéről és a folyóhálózat működéséről. Célunk tehát: új magyarországi ásványfajok, illetve az azt tartalmazó kőzetek leírása, ismertetése, pontos forrásterületeik meghatározása, ezen keresztül az egykori szállítási módjukra való következtetés. Ezek segítségével pedig a pleisztocén klimatikus viszonyairól kaphatunk információt.

2. A vizsgált minták lelőhelye, annak földrajzi elhelyezkedése, földtana és kialakulása

a) Dunavarsány földrajzi helyzete, a kavicsbánya helyszíne

Dunavarsány, valamint a Délegyháza, Kiskunlacháza, Bugyi települések környékén található kavicsbányák anyaga képezi vizsgálataink tárgyát. A terület a Duna-Tisza közén helyezkedik el, a Csepeli-síkság része, melyet É-ÉK-ről a Pesti-síkság, K-ről a Kiskunság, D-ről a Solti-síkság, míg Ny-ről maga a Duna folyómedre szegélyez.

Délegyháza térségében a komolyabb, ipari mértékű kavicsbányászat az 1920-as években vette kezdetét, az ezt megelőző évszázadokban a lakosság csak kézi erővel termelte a

felszín közelében lévő kavicsot. 2004-es adatok alapján (VÍGH 2010) összesen 92 működő és 27 felhagyott bányában 167 kisebb-nagyobb különálló tó található.

b) Dunavarsány térségének földtani besorolása, rövid tudománytörténeti áttekintés

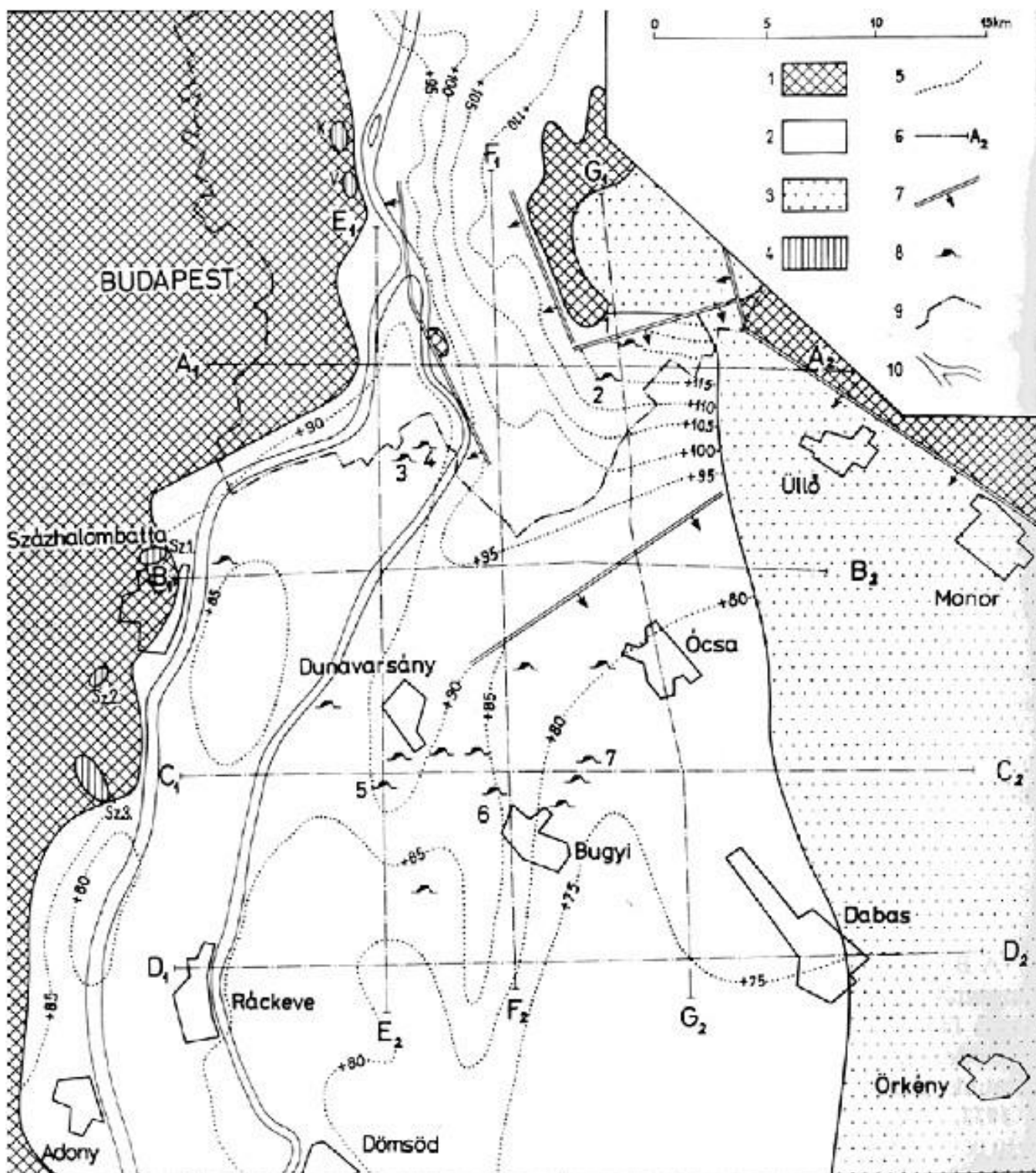
Jelen munkának nem közvetlen célja a Budapesti környéki kavicsösszletek korára, települési helyzetére, összetételére vonatkozó tengernyi, évszázados szakirodalom teljes körű feldolgozása, ezért dolgozatunkban csak a legfontosabb, közvetlenül a vizsgált képződményekhez kapcsolódó munkákat említjük. Részletesebb kutatástörténeti összefoglaló olvasható például BRADÁK (2004), MÁTÉ (2005) és JÁMBOR (2010) tanulmányaiban.

Munkánk során nagy fontosságot kap a kavicsok, hömpölyök és tömbök méretére, kerekítettségére vonatkozó adat.

A dunavarsányi kavicsbányákban feltárt kőzetanyag a JASKÓ & KORDOS (1990) által leírt, jól lehatárolható Pestvidéki Kavics Formáció részét képezi, bár ez az egység a Magyar Rétegtani Bizottság által elfogadott litosztratigráfiai táblázatban (CSÁSZÁR 1997, GYALOG-BUDAI 2004) nem szerepel. A formáció jó kijelölhetősége abban rejlik, hogy fedőjét egységesen jól osztályozott eolikus képződmények (futóhomok, lösz és löszös homok) képezik, fekvését pedig olyan mocsári és tavi környezetben képződött kőzetek alkotják, melyekből a durvaszemcsés hordalék hiányzik. A formáción belül három tagozat különböztethető meg, melyek a leginkább tanulmányozott felszíni előfordulásuk alapján Csepeli, Pestlőrinci és Gödöllői Tagozatnak nevezhetők el. A három tagozatot eróziós diszkordanciák választják el egymástól, valamint mindegyik aránylag osztályozatlan, törmelékes folyóhordalék lerakódásokból áll.

A Csepeli Tagozat É-D irányban húzódó, de szélességében eltérő sávja déli irányban növekszik. Ennek kiterjedése Budapesten 8-10 km, Százhalombatta és Ócsa között 25 km, míg Adony – Ráckeve - Dabas vonalában több mint 35 km. Elterjedésének Ny-i határa a Duna jelenlegi medrénél, vagy attól kissé nyugatabbra húzódik, míg K-i pereme nehezen jelölhető ki pontosan, mivel felszíni megjelenését a rátelepülő eolikus képződmények nem teszik lehetővé, így a határvonalat ott kell meghúzni, ahol a fúrások rétegsoraiból a kavics és a kavicsos homokréteg egységesen eltűnik. A vertikális kiterjedése átlagosan 10-15 méter. 5 méternél kisebb, vagy 20 méternél nagyobb vastagság csak igen kevés helyen

található. A Csepeli Tagozat kavicsrétegének biosztratigráfiai alapon meghatározott kora a Bugyi községnél feltárt kavicsbányából előkerült gerincesek (*Mammuthus primigenius* (Blumenbach), *Coelodonta antiquitatis* (Blumenbach), *Bison priscus* (Bojanus), *Megaloceras giganteus* (Blumenbach), *Rangifer tarandus* (Linnaeus), *Alces* sp., *Bos primigenius* (Bojanus)) alapján a felső-pleisztocén korai hűvös-hideg szakaszára tehető. Megállapítható, hogy Budapeستől délre, ahol a Duna elhagyja a hegység szélét, ott nem épült szabályos legyezőformájú delta vagy törmelékkúp. Az üledékek olyan aszimmetrikus formában halmozódnak fel, amelyek Ny-i szárnya kivékonyodik a Dunántúl felé, K-i szárnya pedig az Alföld irányába megvastagszik (JASKÓ-KORDOS, 1990).



1. ábra: A Csepeli Tagozat elterjedése (JASKÓ & KORDOS 1990).

1-pannóniai-prepannóniai kőzetek a felszínen, 2-Csepeli Tagozat elterjedése, 3-Pestvidéki Kavics Formáció a Csepeli Tagozat nélkül, 4-kis kiterjedésű teraszmaradványok a Duna jobb partján, 5-Csepeli Tagozat talpizohipszái, 6-földtani szelvények nyomvonalai, 7-vető, 8-működő és felhagyott kavicsbányák, 9-Budapest közigazgatási határa, 10-Duna jelenlegi medre, K=Kiscell, V=budai Várhegy, Sz=Százhalombatta

A Budapest környéki kavics előfordulások és azok kialakulása, összetétele már a XIX. század végén felkeltette a magyar geológusok figyelmét. Elsőként Szabó József adott részletes jellemzést (SZABÓ, 1879) a fiatal kavicsanyagról, valamint elkülönített egy idősebb képződményt „felső pliocén kavics” néven, melyben kiemelt jelentőséget kapott a „hipersztén andezit”. A szerző e kevésbé görgetett és kerekített anyagot írja le a legfiatalabbnak.

Ezért is emeljük ki id. LÓCZY L. (1881) leírását, mely a budafoki (promontori) Duna medréből kiálló „2-3 köblábnyi” alig koptatott „kőtuskókra” vonatkozik. A szerző szerint a Budai-hegység idősebb képződményeiből, valamint a Visegrádi-hegységből származó vulkáni kőzetek „a fenékjébe fagyva szállítódtak jelenlegi helyükre, ahol a jég elolvadása után visszamaradtak”.

HALAVÁTS (1895) a jelentős mennyiségű kvarckavics mellett gránitot, gneiszt, amfibolpalát, bazaltot és „trachytot” írt le „Budapest-vidéki” feltárásokból. Itt a kavicsok mérete nem haladja meg az „ökölnagyságot”. A kavics felhalmozódását a Visegrádi-hegységből kilépő, az azt áttörő Duna hordalékkúpjának tartja. A szerző két különböző korú, eltérő ősmaradvány tartalommal rendelkező kavics képződményt jelöl meg: a *Mastodon arvernensis* („mastodon-kavics”) maradványokat tartalmazó kavics levantei (felső pliocén), míg az *Elephas meridionalis* csontvázrészeket tartalmazó pedig az alsó diluviális (alsó pleisztocén) korban képződött.

LŐRENTHEY (1906) a Budapest környéki kavicsfeltárások vizsgálatakor a levantei kavicsok között „fej nagyságú” tömböket említ. A kavicstakaró kialakulására vonatkozó korábbi elképzelést, mely szerint a Duna a Visegrádi-hegység áttörése után terítette szét hordalékát nem tartja helytállónak. Ezt a kavicsanyag gömbölyöttségével- másodlagos áthalmazottságával magyarázza, valamint azzal, hogy a Visegrádi-szorostól ÉNy-ra nem található olyan miocén vagy pliocén kavics előfordulás, „melyből e kavicsokat a Duna hozhatta volna”. Elképzelése és paleobotanikai megfigyelései alapján a kavicsok forrásrégiója a Nógrád környéki miocén rétegek, míg a szállítódás a Galga völgyén keresztül történt.

SCHAFARZIK F. és ID. LÓCZY L. (1914) az Ács, Bábolna és Cinkota környéki kavicsok vizsgálatakor kiemelték két közettípust (sillimanitos csillámpala és kianitos granulit),

amelyek származási helyéül a Bécs feletti Waldviertelt jelölték meg. A „fej nagyságú, óriási”, 10 kg-os „tuskók” elképzelésük szerint fenékjégben szállítódtak, vagy a Duna nagy áradási „segítették” őket jelenlegi helyükre.

HORUSITZKY H. (1917) a győri ágyúgyárhoz kiépített „ipar- és hajózó csatorna” szelvényében „métermázsás kőtuskókat” fedezett fel, melyek a csatorna fenekén a „pannoniai-pontusi agyagba- iszapba vannak beágyazva, mintha kinőnének belőle”. A kőzetek vizsgálata alapján a „tuskók” származási helyéül a Kis-Kárpátok Vág-völgyét jelöli meg, mely eredményt a szerző állítása szerint ifj. dr. Lóczy Lajos és dr. Toborffy Géza is megerősítettek. A kövek eredete a szerző szerint kétségtelenül „fluvio-glaciális”. A „kőtuskók” a hegyek tövében belefagytak a jégbe és azzal együtt, úszó jégtáblákban szállítódtak, majd Győr környékén olvadtak ki és estek a folyó fenekére.

BÓDI B. (1938) részletes petrográfiai és statisztikai vizsgálatok alá vetette a Budapest-környéki levantei korú kavicsüledékeket. A kavicslerakódás vizsgálatai szerint deltaképződmény. Az elemzett kőzetek között voltak különböző „fehér színű és színes kvarcváltozatok”, valamint szerepelt gránit, szienit, aplit, gneisz, granulit, csillámpala, epidot-pala, diorit, pegmatit, andezit, homokkő és mészkő. Míg egyes metamorf kőzetek forrásterületéül az Alpok központi (kristályos) vonulatát jelölte meg (Zillertal, Hohe és Niedern Tauern), a vizsgált amfibolszienit lelőhelyéül a Melk-től 2 km-re lévő Winden falu környékét jelölte meg. Ez a hely nagyon közel esik (néhány km-re) az általunk vizsgált (terepi és szakirodalmi) wachau-i lelőhelyekhez.

A 20. század második felétől egyre nagyobb szerepet kapott a Duna folyóteraszainak vizsgálata, a kavicsrétegek különböző teraszszintekbe való sorolása, a kialakulás-történet kutatása, a pleisztocén kor hatásának nyomai a Kárpát-medencében (BULLA (1941), SÜMEGHY (1953), PÉCSI (1950), (1955), (1959), PÉCSINÉ (1958), MOLNÁR (1977), BURJÁN (2002), GÁBRIS (2006)).

PÉCSINÉ DONÁTH É. (1958) Duna menti terasz kavicsokra vonatkozó *cpv*-vizsgálata során a délegyházi kavicsbányákból „méteres átmérőjű” andezit, biotit-gránit, „görgetetlen szarmata mészkő”, triász dolomit és mészkő anyagú „tömböket” írt le.

KRIVÁN P. (1973) hasonló következtetésekre jutott a közettömbök szállítódásával kapcsolatban, mint HORUSITZKY (1917). Aktuálgeológiai megfigyelései a kanadai Szent

Lőrinc-folyónál azt bizonyítják, hogy a „fluvio-glaciális” szállításmód létező folyamat. 1-1,5 m átmérőjű kőzetblokkokat figyelt meg, melyek folyóvízi jégben úsztak (potamopagetolitok). Ez a mechanizmus modelként szolgálhat a Magyarországi Duna szakasz mentén megfigyelt és vizsgált pleisztocén hömpölyök ideszállítódására. Ebben az időszakban (pleisztocén) hazánk területén nem volt belföldi jégtakaró, hanem periglaciális helyzetben volt. Ekkor a Duna eróziós tevékenysége a hegységperemeken is erősen éreztette hatását, míg a lejtőkről és völgytalpakból származó geliszoliflukciós üledéket részben vagy teljes egészében átvette és továbbszállította.

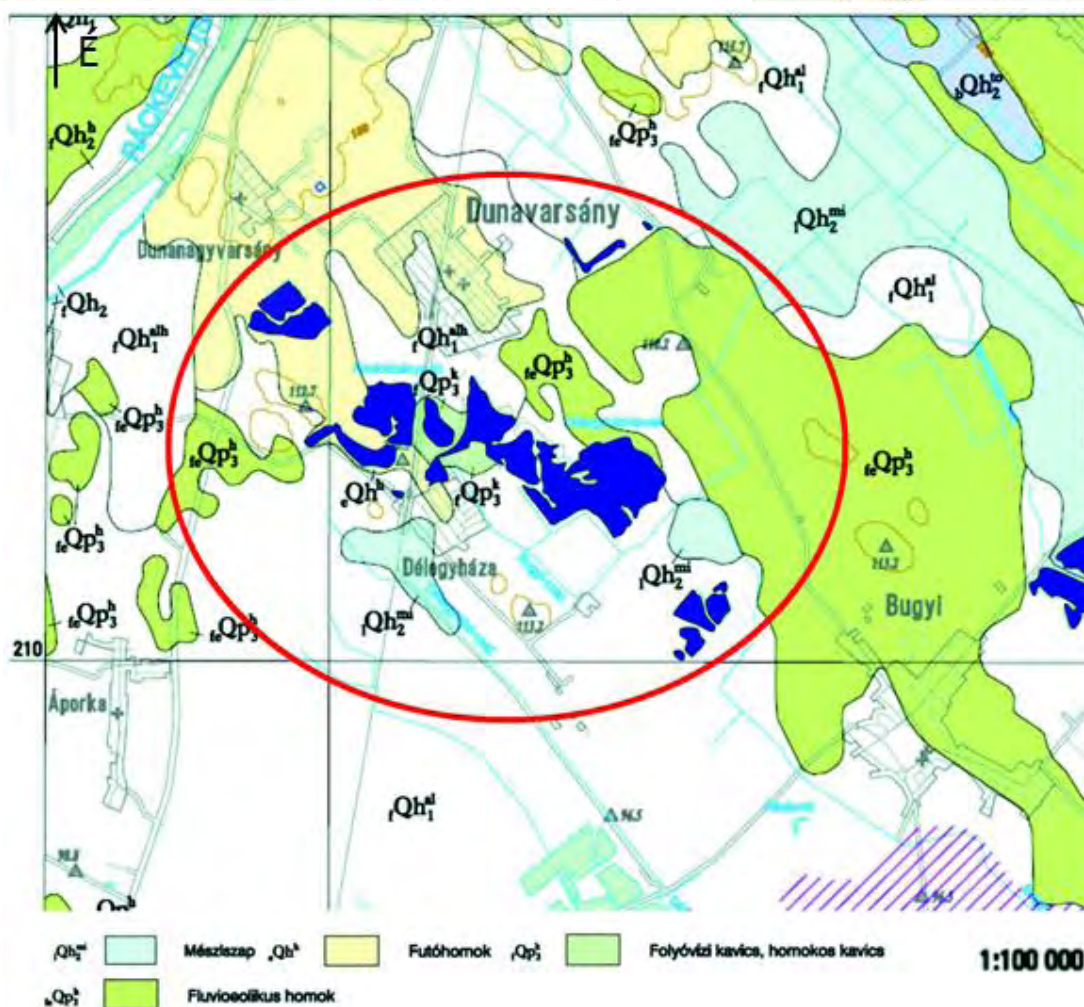
A pleisztocén kori jégtáblákban való szállítódást valószínűsíti leginkább NAGY B. (2002) is. A Nyékládháza környéki kavicsbányákban megfigyelt 60-80 cm átmérőjű kristályosmészkő-„tömbök” a vizsgálatai alapján a Szendrői-hegységből származnak.

Az elmúlt évtizedekben az ELTE Közettan-Geokémiai Tanszékének munkatársai jóvoltából Dr. Józsa Sándor irányítása és támogatása alatt számos tanulmány született és készül a Dunavarsány- Délegyháza környéki kavicsbányák anyagának vizsgálatáról. ZSEMLE és mtsi. (2001) és VÍGH (2010) foglalkozott a pleisztocén kavicsanyagból származó granulitok petrográfiai- termobarometriai vizsgálatával. MÁTÉ (2005) végezte el a dunavarsányi andezitek vizsgálatát, melyeknek egy része a legnagyobb valószínűséggel a Börzsönyből, vagy a Visegrádi-hegységből származik. LEMBERKOVICS (1998) Tudományos Diákköri Dolgozatában a dunavarsányi turmalingránitok, míg VARGA (2010) szakdolgozatában az andaluzitos gránitok vizsgálatával foglalkozott. A dunavarsányi kavicsanyag általános közettani és statisztikai jellemzéséről számol be MICSINAI-MOLNÁR (2010), míg a közettömbök előzetes közettani vizsgálatával BORS és VÖRÖS (2008) foglalkozott. A riolitok közettani vizsgálatát és forrásterületük kutatását BENEI és TÓTH készítik el.

3. A vizsgáldás tárgya, menete

a) A dunavarsányi kavicsbánya helye, anyagának kitermelése, a kőanyag útja a minta begyűjtéséig, a vizsgált minták általános képe

A vizsgálataink tárgyát képező kőzetek (hömpöly és tömbök) lelőhelye a Dunavarsány melletti Aqua Kft. kavicsbányája.



2. ábra: A vizsgált terület elhelyezkedése. A Csepeli-síkság kavicsbányáinak területi elterjedése. A bányák helyét kék színnel jelölt bányatavak jelzik. Bak Borbála: Magyar. tört. topogr.. Bp: MTA Történettudományi Intézet (1997), <http://www.kisdunakenutura.hu>, Kuti László, 1976- MÁFI, 2005 nyomán)

A kavicsbányákban alkalmazott kitermelési módszer a parti-, vagy úszókotrós eljárás. A kikutort anyag osztályozóba kerül, ahol a kavicsot négy vagy öt szemcsefrakcióra különítik el. A szemcseméret tartományok szerint szétválasztott anyagot dombok formájában halmozzák fel. A kevés gazdasági potenciállal bíró nagyobb méretű közettömböket az osztályozó közelében halmozták fel.



3. ábra a dunavarsányi kavicsbányában található tömböket tartalmazó halom (BORS-VÖRÖS, 2008)

Ezen feltételek ismeretében belátható, hogy a begyűjtött mintaanyag nem köthető pontos rétegtani szinthez, a vizsgált kőzeteink nem tanulmányozhatók eredeti, kitermelés előtti pozíciójukban.

Az első vizsgálat alapját az ELTE Kőzettan-Geokémiai Tanszékének gyűjteményéből származó vékonycsiszolatosan már korábban beazonosított különleges ásványtartalmú két kőzetpéldány, egy dumortierites gneisz, és egy klinohumitos dolomárvány adta.

A több tonnás gyűjtemény kavicsokból, valamint hömpölyökből, tömbökből-görgetegekből áll. A kavicsok egy részét hallgatók, míg a tömbök nagy részét Dr. Józsa Sándor gyűjtötte be az elmúlt 15 év terepgyakorlatai alkalmával.

A márványból eddig ez az egyetlen tömb ismert, míg a hasonló típusú gneiszekből az ELTE Kőzettan-Geokémiai Tanszék gyűjteményében további példányokat kutattunk fel.

Így összesen további 23 db gneisz került kiválasztásra, melyekből vékonycsiszolatot készítettünk és azokat polarizációs mikroszkóppal vizsgáltuk. A jelen dolgozatunk tárgyát képező karakterisztikus ásvány, a dumortierit nyomára nem bukkantunk ezekben a kőzetekben (egy kivétellel), melyek, bár makroszkóposan nagyon hasonló bélyegekkel rendelkeznek, a dumortierites gneiszekhez és egymáshoz képest is más és más társaságot képviselnek. Ezek részletes leírása és kutatása egy későbbi tanulmány részét képezi.

A tanulmányozott két gneisz eltérő méretű, koptatottságú és megjelenésű.

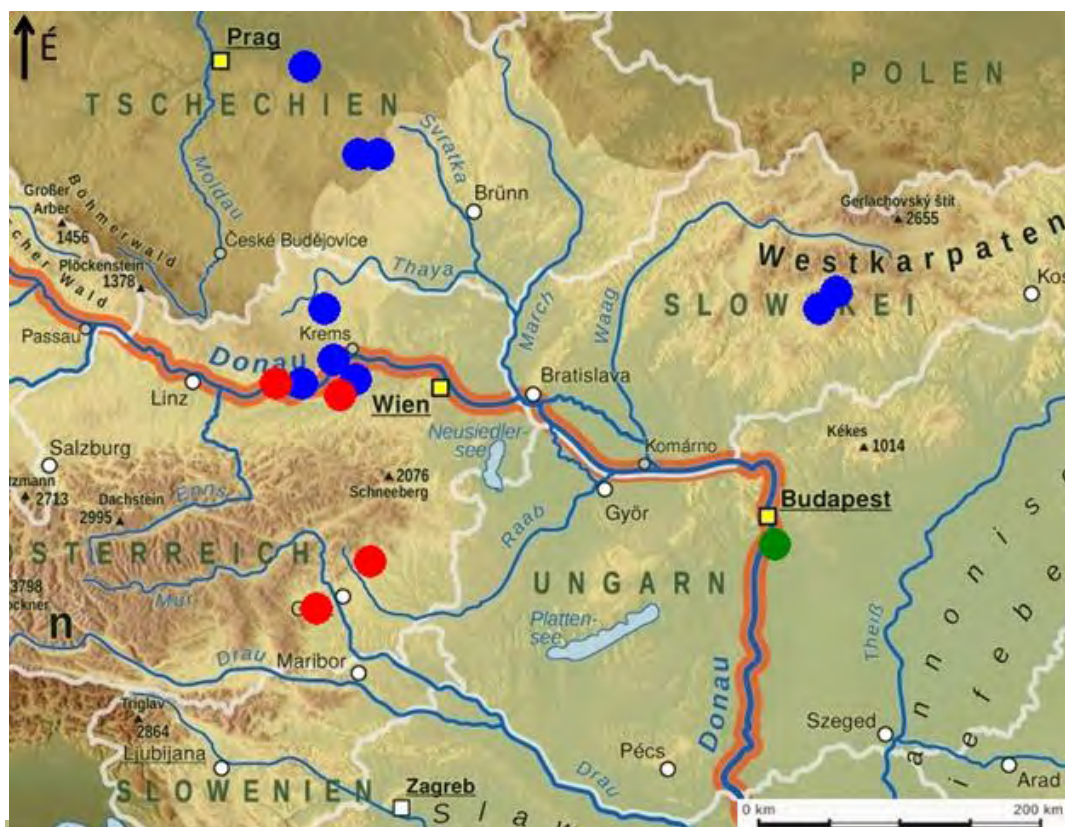
Az egyik (DVT-939-es jelű) gneisz méretei: 30x20x10 cm, és jól koptatott, makroszkóposan a megfigyelhető ásványok a kvarc, földpát, enyhe irányítottágú biotit, dumortierit, valamint egy mállott, sárgásbarna színű izometrikus ásvány.

A másik (DVT-853-as jelű) gneisz méretei 50x30x20 cm és csak gyengén koptatott, szöveti képét erősebb mértékű irányítottág és különböző jellegű sávok jellemzik. A makroszkóposan megfigyelhető ásványok: kvarc, földpátok, biotit, cordierit, turmalin.

A dolomitos márványtömb izometrikus, körülbelül 80 cm átmérőjű, közepesen koptatott, szabad szemmel karbonát ásványok, klinohumit és spinell figyelhető meg.

b) A minták lehetséges forrásterületének a behatárolása

A gneiszek és a márvány polarizációs mikroszkópi vizsgálatát követően (lsd. 6. pont) áttekintettük a jelen kőzetekkel és ásványokkal foglalkozó szakirodalmakat, kiemelt figyelemmel a Duna jelenlegi medre környékén említett lelőhelyekre.



4. ábra: Dumortierit (kék pöttyel jelölve) és klinohumit (piros pöttyel jelölve) előfordulások Magyarországnak környékén; Dunavarsány helyét zöld pötty jelzi (Tom Gonzales, Verlaufskarte der Donau, 2011 és a <http://www.mindat.org> nyomán)

A világhálón hozzáférhető ásványos adatbázis kutatása során kiderült, hogy a dumortierit viszonylag kevés lelőhellyel rendelkezik Magyarországnak környékén. A szlovákiai előfordulásról nem áll rendelkezésre szakirodalom, a szerző (Daniel Ozdín) ezt állítása szerint még nem publikálta, és így nem állt módjában a cikket megosztani velünk. A későbbiekben közölt közzétett korrelációk alapján a szlovákiai lelőhelyek mindazonáltal kevésbé valószínűsíthetők, mint lehetséges forrásterületek.

Az interneten utánajárva kijelenthető, hogy a klinohumit igen ritka ásványnak tekinthető az egész világon. Mivel a Duna teraszában találtunk a márványtömbre, ezért elsősorban azokra a klinohumit lelőhelyekre koncentráltunk, amelyek nem fekszenek 20 km-nél messzebb a Duna medrétől. A dumortierit nyomozásakor is ennek az elvnek megfelelően jártunk el.

Felkerestük a szóba jöhető Duna menti feltárásokat és kőzetpéldányokat gyűjtöttünk összesen 22 lelőhelyről. A begyűjtött példányokból vékonycsiszolatokat készítettünk, majd a petrográfiai és mikroszondás vizsgálatokat követően összevetettük az eredményeket a dunavarsányi mintákkal.

4. A lehetséges lelőhelyek és azok földtani felépítése

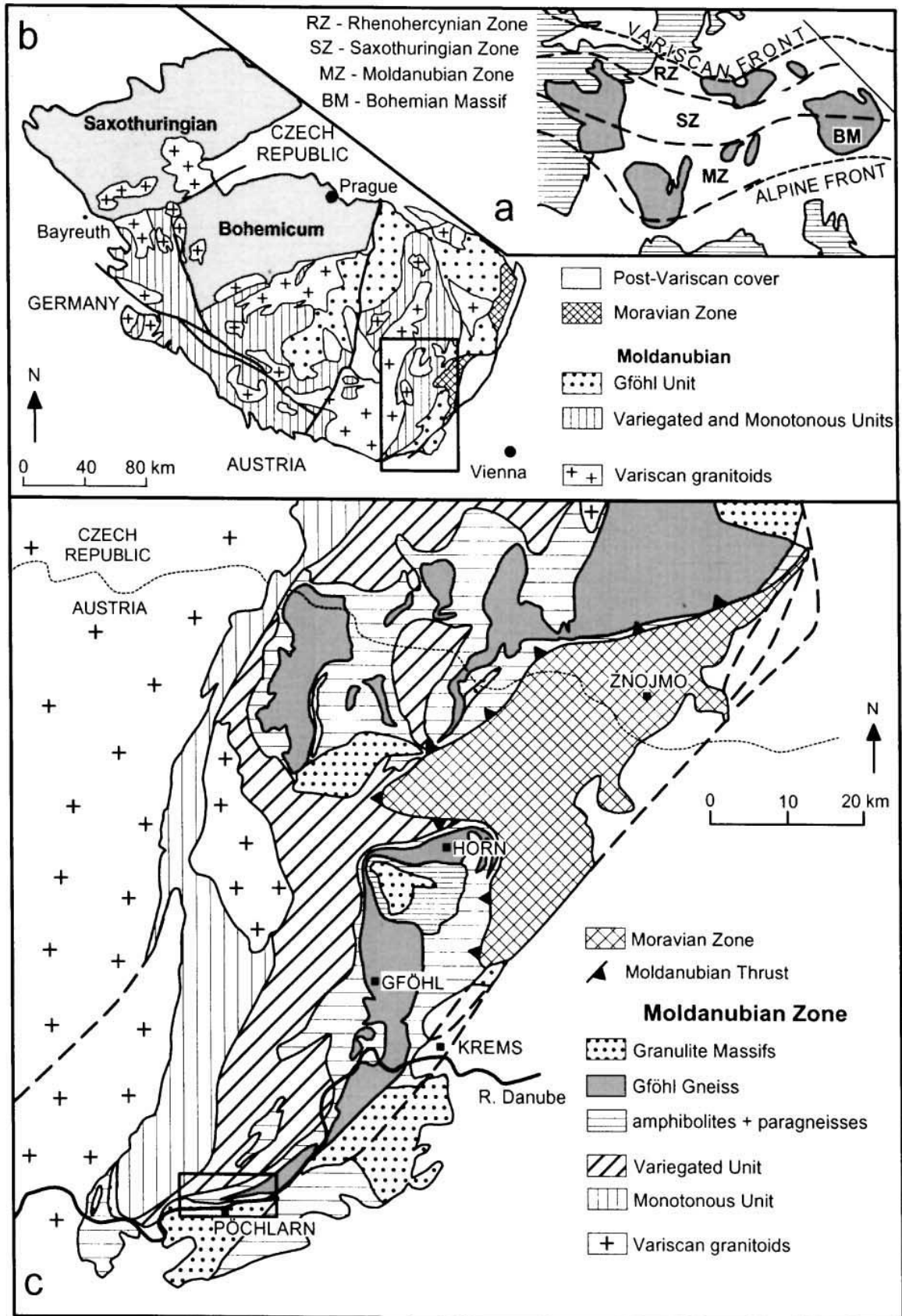
a) *A dumortierites gneiszek szakirodalmi nyomozása*

Mind az osztrák, mind a csehországi lelőhelyek földtani környezetét vizsgálva felismerhető, hogy ezek a területek a közép-európai Variszkuszi orogén, annak Moldanubiai egységének, azon belül a Bohémiai Masszívum részét képezik (5. ábra).

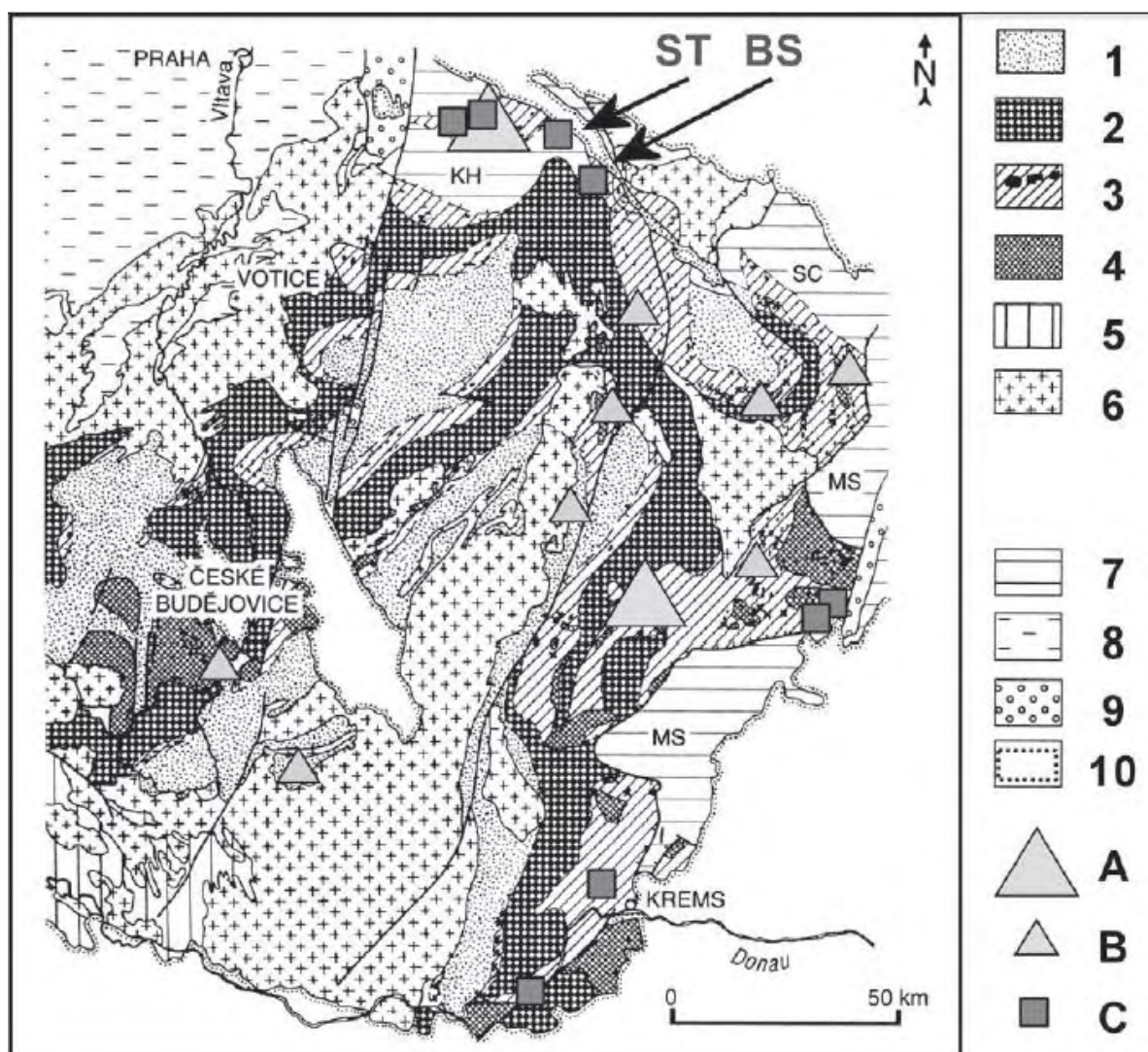
Az összes ausztriai dumortierit tartalmú metamorf pegmatit a Moldanubiai zóna Gföhl egységén belül fordul elő. A Gföhl egység savanyú granulitból, Gföhl gránit-gneiszből, szienit-gneiszből, piroxén tartalmú amfibolitból, serpentinből és migmatitos paragneiszből áll (FUCHS et al., 2005).

A Gföhl egységben megtalálható granulit testek, melyek magas nyomású ásványegyüttessel rendelkeznek (gránát, klinopiroxén, plagioklász, kvarc) a nagy kiterjedésű Gföhl gneiszbe ékelődve helyezkednek el. A granulitokra ható legmagasabb szintű metamorf egyensúlyi kristályosodás 14-16 kbar nyomáson és 950-1050°C fokon mehetett végbe (felső amfibolit- granulit fáciesű metamorfózis, 340 Ma (FUCHS et al., 2005)). A csúcs utáni, közel izoterm nyomáscsökkenés során közepes nyomású ortopiroxén tartalmú felülbélyegzés volt a jellemző 7-8 kbar és 800-870°C-os P-T viszonyok között, melyet hűlés követett a 6 kbar és 800-500°C-os tartományban. A bezáró felzikus gneiszben a korai magas nyomást reprezentáló ásványegyüttes (gránát, kianit, pertites földpát, kvarc) csak a ritkán megőrződött, kevésbé deformált példányokban ismerhető fel.

Az ásványegyüttes csúcsi P-T értékei a 14-16 kbar és a >950 °C tartományba esik, míg a széles körben elterjedt biotit + sillimanit retrográd felülbélyegzésre vonatkozó hőmérsékleti becslések 700 és 500 °C közé esnek, minimum 4 kbar nyomás érték mellett. A metamorf viszonyok közötti összefüggés és a két kőzet származtatott P-T útja azt mutatja, hogy a granulit-gneisz társaság egy összefüggő magas P-T-jű egységet képvisel, melyben a felzikus gneisz egy korábbi leukokrata granulit retrográd terméke.



5. ábra a.) A Variszkuszi orogén felosztása Közép-Európában. b.) A Bohémiai Masszívum vázlatos földtani térképe. A téglalap a C térkép helyét jelöli ki. c.) Földtani térkép A Moldanubiai Zóna alsó-ausztriai megjelenéséről (COOKE- O'BRIAN 2001)



6. ábra Dumortierit előfordulások (háromszögek és négyzetek) a Gföhl Egység csehországi és ausztriai területén, a nyilak a Starkoč és Běstvína térségében megtalálható metamorf pegmatitok lelőhelyét mutatják (CEMPÍREK-NOVÁK 2006)

A nagy területre kiterjedő deformációnak, a fluidum beáramlásnak, valamint a Moldanubiai takarórendszer konszolidálódása alatt az egység gyökérszónájában végbemenő deformációval egyidejű migmatitosodás hatásának köszönhető, hogy a gneisz nagy részében a nagy P-T-jű ásványtársulás nem maradt meg (COOKE-O'BRIEN, 2001).

A 6. ábrán négyzettel jelölt helyek olyan dumortierites előfordulásokat jeleznek, melyeknél a befogadó kőzet metamorf (abisszikus) pegmatit (az ábrán É-től D-re: Kutná Hora – Kuklák, Miskovice, Starkoč, Běstvína, Vémsylice, Trstěnice, Gföhl, Klein-Pöchlarn). A metamorf pegmatitok kialakulása olyan anatektikus folyamatokhoz kötődik, melyek magas fokú (felső amfibolit- granulit fáciesű) metamorfitokban mennek végbe. Az ásványos összetételük többnyire egyszerű, a fő kőzetalkotó kvarc, plagioklász és/vagy káliföldpát mellett tartalmaznak muszkovitot, biotitot, gránátot, turmalint, cordieritet és Al_2SiO_5 módosulatokat.

A metamorf pegmatitok telérek, lencsék, vagy szabálytalan testek formájában jelennek meg, vastagságuk néhány cm-től a dm-esig terjed. Az akcesszórius ásványtartalom alapján 4 alcsoportba sorolhatók: AB-HREE (nehéz ritkaföldfém-tartalmú metamorf pegmatit), AB-LREE (könnyű ritkaföldfém-tartalmú metamorf pegmatit), AB-U (urán tartalmú metamorf pegmatit) és AB-BBe (bór-berillium tartalmú metamorf pegmatit). Az utóbbi csoportot a magas B és/vagy Be-tartalmú ásványaik (turmalin, dumortierit, grandidierit, krizoberill stb.) alapján jelölték ki. A Bohémiai Masszívum fentebbi lelőhelyein tanulmányozható pegmatitok tipikus példái az AB-BBe-alcsoport metamorf pegmatitjainak (CEMPÍREK- NOVÁK 2006).

Ezek szerint az említett Klein-Pöchlarn környéki dumortierit előfordulás is metamorf pegmatitokhoz kapcsolódik. A Klein-Pöchlarn és Ebersdorf közötti bányában gneiszt és granulitot bányásztak. Az itt feltárt Gföhl Gneiszt (FUCHS, 2005) számos pegmatit telér szeli át (HLAWATSCH, 1911). Az erekben a fő kőzetalkotó ortoklász, plagioklász és kvarc mellett muszkovit, biotit, turmalin, pinitesedett cordierit, sillimanit, andaluzit és dumortierit is megtalálható. HLAWATSCH 1911-es információi szerint az akkor még intenzíven működő bányában a dumortierites pegmatit eret már elbontották, míg KÖHLER 1932-ben több látogatása során egyáltalán nem talált dumortieritet. Ez is bizonyítja azt, hogy bár litológiaiilag a Gföhl gneisz egy egyértelműen elkülöníthető egység, ásványos összetételében lokálisan nagy eltérések jelentkezhetnek (ld. bővebben lentebb a 7. pontnál).

A dumortierit itt egy kék és ibolyaszínű, rostos, szálas ásványként jelenik meg, elsősorban az erek középső részén, gyakran turmalin kíséretében (HLAWATSCH, 1911). Viszonylag nagy a fény-, és kettőtörése, erős a pleokroizmus: α (a szálak hosszirányában): sötétkék, $\beta=\gamma$: majdnem színtelen (HLAWATSCH, 1911; JOBSTMANN, 1912).

A szakirodalmi vizsgálódás alapján azok a Duna jelenlegi medréhez közel eső területek kerültek a terepi nyomozásunk középpontjába, melyek kőzetanyaga a Gföhl gneisz egységébe tartozik. Ennek a kritériumnak több lelőhely is eleget tett (Unterkienstock, Gföhl), ám a legkedvezőbb feltárási viszonyok a Klein-Pöchlarn és Ebersdorf közötti bányában tanulmányozhatók.

b) A klinohumitos márvány szakirodalmi nyomozása

Az európai klinohumit lelőhelyek közül kettő fekszik jelenleg a Duna medréhez közel: Kochholtz település melletti felhagyott kőfejtő és Metzling melletti Loja kőbánya, amelyben ma is aktívan folyik a bányászat. NIEDERMAYR és mtsi. 2008-as publikációjában megemlíti a klinohumitot a kochholzi bányában, mint a karbonát mátrixban található kerek, narancssárga kristályokat, amelyek forszterit társaságában jelennek meg és szerinte nagyon hasonlít ez ahhoz, ami Lojában figyelhető meg. LÖFFLER & KOLITSCH 2011-ben publikálta a Lojában fellelhető ásványok listáját, megjelenését és, hogy milyen más ásványokkal együtt fordul elő. Itt leírja, hogy narancssárga, üvegfényű klinohumit szemcsék figyelhetők meg a márványban, a környezetében pedig forszterit, spinell és flogopit a jellemző. Ezt a két lelőhelyet felkerestük és az onnan származó mintákat megvizsgálva a kochholzi lelőhelyet kizártuk, mert a kőzet megjelenése nagyban különbözött a dunavarsányi mintától.

Loja a Bohémiai- masszívum ausztriai részén találhatóak, amely a Variszkuszi orogén Moldanubiai egységében van. Itt nagy területen elterjedt metamorf kőzetek a jellemzőek. A mélyebb régiókban granulitok a jellemzőek, a fedőt pedig a Monoton- sorozat (Monoton Serie) és a Színes- sorozat (Bunten Serie, vagy Drosendorf Sorozat, illetve Varied/Variegated Series) képviseli (M. RACEK et al 2006). Zaydan és Scharbert szerint a Színes- sorozat pélites-pszammitos gneiszei két csoportba sorolhatóak: gránát- biotit- plagioklász- kvarc gneiszek és gránát- biotit- sillimanit- alkáli földpát- plagoklász- kvarc gneiszek, továbbá kevés cordierit gneisz található a Monoton- sorozatban, ami a Színes sorozatra nem jellemző. Ezen kőzetek mellett megtalálható még amfibolit, csillámpala, és márvány is, továbbá a paragneiszek és a márvány között különféle wollaszttonit, gránát és diopszid tartalmú mész-szilikát kőzetek figyelhetők meg, amelyek márgás összetételű üledékek regionális metamorfóziséval alakultak ki. A Monoton- sorozat és a Színes- sorozat p/T viszonyai között különbség figyelhető meg. A Monoton- sorozatra 630°C és 3

kbar, míg a Színes-sorozat 670°C és 5 kbar a jellemző (ZAYDAN & SCHARBERT 1983), tehát a márvány nem kontaktmetamorfózis révén alakult ki, hanem regionális metamorf képződmény. A Színes- sorozat sok helyen a Monoton-sorozat fedőjeként jelenik meg, így kialakítva egy inverz metamorf sort, amely annak köszönhető, hogy a metamorfózis az orogenezis előtt alakult ki és később gyenge retrográd felülbélyegzést kapott, amely a Variszkuszi orogenezis során ment végbe, vagy az azt követő időkben (ZAYDAN & SCHARBERT 1983).

5. Anyagvizsgálati módszerek

Petrográfiai vizsgálatok: Kőzetmintáinkból 30 µm vastagságú fedett, valamint polírozott felületű vékonycsiszolatokat készítettünk Eötvös Loránd Tudományegyetem Kőzettan-Geokémiai Tanszékén. A csiszolatokat Nikon OPTIPHOT2-POL típusú polarizációs mikroszkóppal vizsgáltuk, míg a fotókat Nikon COOLPIX DS-Fi1 típusú kamerarendszerrel készítettük. A polarizációs mikroszkópi fotókon a polarizátor iránya a vízszintes iránnyal párhuzamos.

Raman-spektroszkópia: Az FFI Raman-laboratóriumában egy HORIBA JobinYvon LabRAM HR típusú eszköz működik. A berendezés egy diszperzív elven működő, élszűrőket alkalmazó, nagy felbontású konfokális Raman-mikrospektrométer. A méréseket 532 nm-es lézergyújtással végeztük (kb. 40 mW lézerteljesítmény érte a mintát), 600 vonal/mm-es optikai rács, 50 µm-es konfokális apertúra beállításokkal, 100×/NA0,9-es objektívvel. A mérésidő 5 másodperc volt 2 (a klinohumit esetén), illetve 6 (a dumortierit esetén) ismétlés átlagolásával.

Pásztázó elektronmikroszkópia: A mérések az Eötvös Loránd Tudományegyetem Kőzettan-Geokémiai Tanszékén készültek. A vizsgálatok során használt műszer egy AMRAY 1830 típusú volfrámkatódos pásztázó elektronmikroszkóp, mely EDAX PV9800 típusú energiadiszipatív spektrométerrel van felszerelve. A vizsgálatok során alkalmazott gyorsítófeszültség 20 kV, a sugáráram 1 nA, a sugárátmérő megegyezik a fókuszált elektronsugár átmérőjével (~50 nm). Minden bemutatott kép visszaszórt elektron (BSE) detektorral készült. Az ásványkémiai elemzések kiértékelése nemzetközi sztenderdek és ZAF korrekció segítségével történt (Bendő et al. 2013).

A dumortierit ásványkémiái összetételének a számításakor 93%-ra, a klinohumitnál 96% normáltuk a mért értékeket, ugyanis a körülbelül 7%-ot (www.webmineral.com) kitevő B és OH tartalom (dumortierit), és a 4 %-ot kitevő OH és F tartalom (klinohumit) a műszerrel nem mérhető. Az andaluzit összetételénél mért értékeket 100%-ra normáltuk, az ásvány „tisztá” elemi összetételéből kifolyólag.

Ásványnév rövidítések és feliratozás: Az ábrákon használt ásványnév rövidítéseket lsd. a melléklet 9. táblázatában.

1N: 1 nikollal készített fotó polarizációs mikroszkóppal

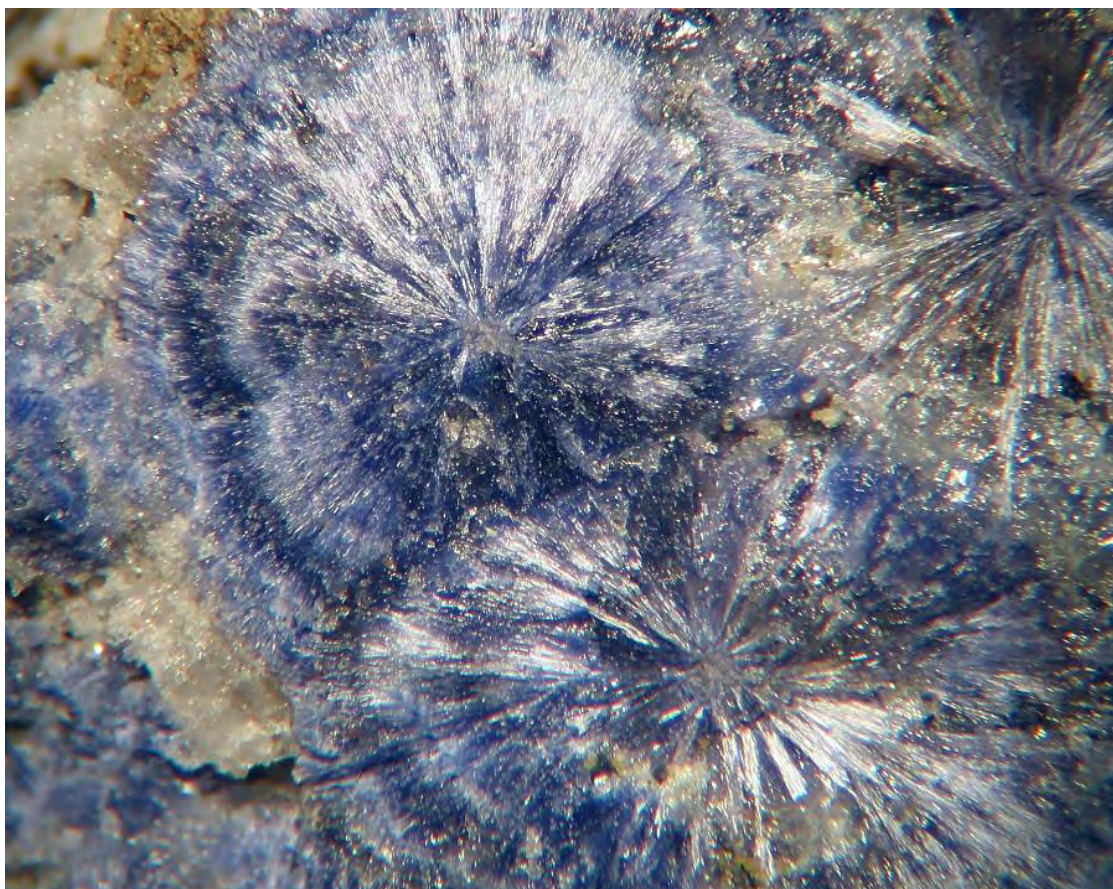
+N: Keresztezett polárszűrővel készített fotó polarizációs mikroszkóppal

6. A minták részletes vizsgálata és összehasonlítása

a) *A dumortierit tartalmú gneiszek részletes, petrográfiai elemzése*

A dumortierit rövid bemutatása

A dumortierit általános ásványtani képlete $(Al, \square)Al_6(BO_3)Si_3O_{13}(O, OH)_2$ (EVANS-GROAT 2012). A rombos kristályrendszerbe tartozik, neozsilikát. Prizmás kristályokat, sugaras és tűs halmazokat alkot, valamint tömeges formában is megjelenik. Mélykék, ibolyáskék, vörösesbarna, bíbor, rózsaszín és színtelen is lehet. Karcszíne és pora fehér. Mohs-skálán vett keménysége 7-8,5. Sűrűsége 3,26-3,41 g/cm³. Hasadása jó, törése egyenetlen. Selymes vagy üvegfényű. Optikailag kéttengelyű, erősen pleokroós (kék vagy rózsaszín). Törésmutató értékei $n_\alpha=1,659-1,686$, $n_\beta=1,684-1,72$, $n_\gamma=1,686-1,723$. Kettőtörése: 0,027-0,037. Az α az a , a β a b , a γ a c kristálytani tengellyel párhuzamos. Kioltása egyenes, főzónajellege negatív. Képződése Al-dús metamorf kőzetekben (migmatit, gneisz), pegmatitokban jellemző. (KORBEL–NOVÁK, 2008; KOCH-SZTRÓKAY, 1967; TRÖGER, 1956)



7. ábra Tűs-sugaras dumortierit O. Dziallis gyűjteményéből, lelőhelye Cabora Bassa Dam, Tete Province, Mozambik, képszélesség: 6mm (<http://www.mindat.org>)

DUNAVARSÁNYI GNEISZEK:

Két, egymástól szabad szemmel is határozottan eltérő jellegű dunavarsányi kavicsban találtunk dumortieritet. Az egyik kőzet, melynek jelzése DVT-939, a hömpöly, míg a másik - DVT-853-as jelzésű- a tömb mérettartományba tartozik. Az egyes leírásoknál részletezett pontos alaki és méretbeli tulajdonságok Dr. Józsa Sándor adatbázisából származnak, melynek összeállítása Kovács Zoltán és Szabó Gergely segítségével történt meg. Az esetünkben alkalmazott terepi koptatottsági skála 5 fokozatú. Az 1-es szám jelöli az éles, durva felszínű, nem gömbölyített példányt, a 2-es a gyengén, a 3-as a közepesen, a 4-es a jól koptatott, míg az 5-ös a teljesen lekerekített, sík felszínnel nem rendelkező kavicsot jellemzi (MICSINAI- MOLNÁR 2010).

DVT-939 = DVT-DJ11 (az utóbbi Varga Miklós (2010) elnevezése)



8. ábra A DVT-939-es jelű gneisz általános szöveti képe, Dunavarsány



9. ábra A DVT-939-es gneisz színes elegyrészei (elsősorban biotit) által meghatározott gyenge irányítottság, Dunavarsány

Az eredeti hömpöly 30x20x10 cm-es méretekkal bír és jól koptatott, gömbölyített (4-es). A kőzet tömör, ekvigranuláris és fekete foltokkal (biotitok) tarkított világos, fehéréssárga szín jellemzi általánosan. A szabad szemmel vizsgálva elkülöníthető szintelen elegyrészek a kvarc és a földpátok, míg színes elegyrészként a biotit és az „érdekes” sárgásbarna színű, mállott, izometrikus szemcsék a feltűnőek. A gneisz szövete makroszkóposan vizsgálva alig mondható irányítottnak, a kloritosodó biotitok adják az enyhe orientáltságot.

A dolgozatunk egyik kulcsásványát képező dumortierit a tört felületen nem, de a kőzet polírozott felszínén felismerhető: halványkék nyúlt, apró sugaras-tűs szemcsék figyelhetők meg (10. ábra).



10. ábra A polírozott felületen felismerhető dumortierit szemcsék –DVT-939, Dunavarsány

A kőzet makroszkópos, mikroszkópos és mikroszondás vizsgálatával VARGA MIKLÓS (2010) már foglalkozott. A kőzetet az enyhe metamorf hatásnak kitett (biotit szemcséken megfigyelt irányítottság alapján) kétsillámú andaluzitos gránitok csoportjába sorolta. Az andaluzit polarizációs mikroszkópi tulajdonságaitól eltérő, de a mikroszondás mérési eredményekkel megegyező „különleges” ásványt fedezett fel, ezt az andaluzit egy lehetséges speciális típusának vélte.

Az említett „különleges” ásványt makroszkóposan (lsd. 10. ábra), polarizációs mikroszkóppal (lsd. lentebb részletes csiszolatleírás), Raman-spektroszkópiával (lsd. melléklet 1. diagram), valamint pásztázó elektronmikroszkóppal (lsd. lentebb) vizsgáltuk és azonosítottuk. Mindezek alapján ezt a vizsgált fázist egyértelműen dumortieritként tarthatjuk számon.

Mikroszkópos és mikroszondás leírás:

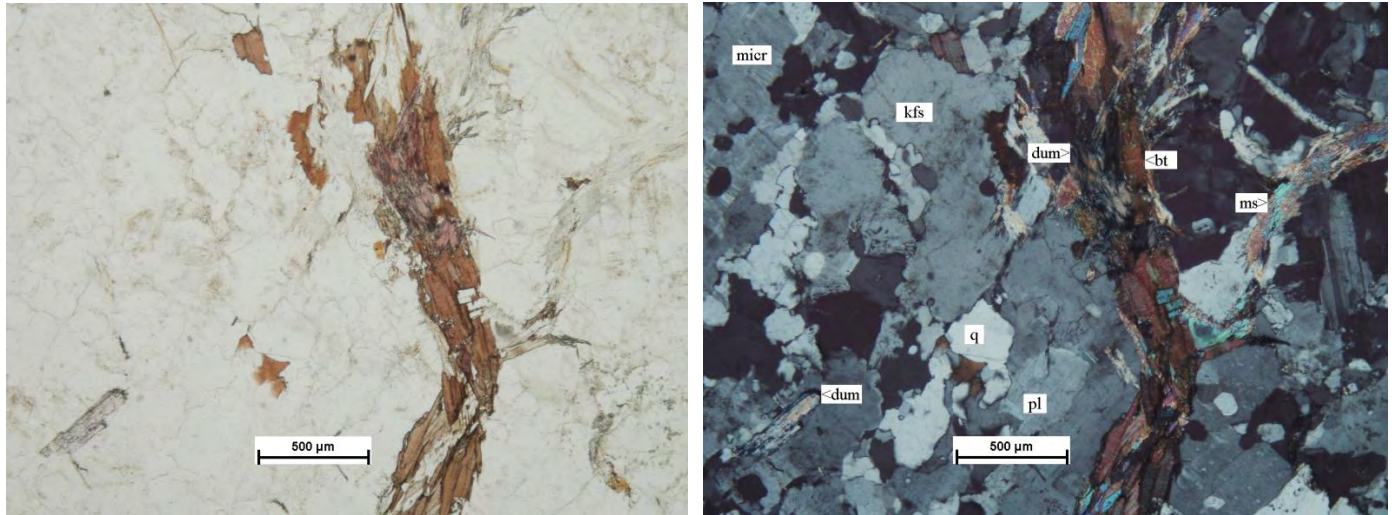
A kőzetből kettő fedett és kettő polírozott felületű vékonycsiszolat készült.

A kőzet szövete uralkodóan granoblasztos, de egyes részein inkább lepidó-, vagy fibroblasztosnak nevezhető. Az utóbbi szöveti elnevezéseket és a kőzetben megfigyelhető irányítottságot az alig néhány térfogatszázalékot kitevő ritkásan elhelyezkedő biotit és sillimanit szemcsék adják.

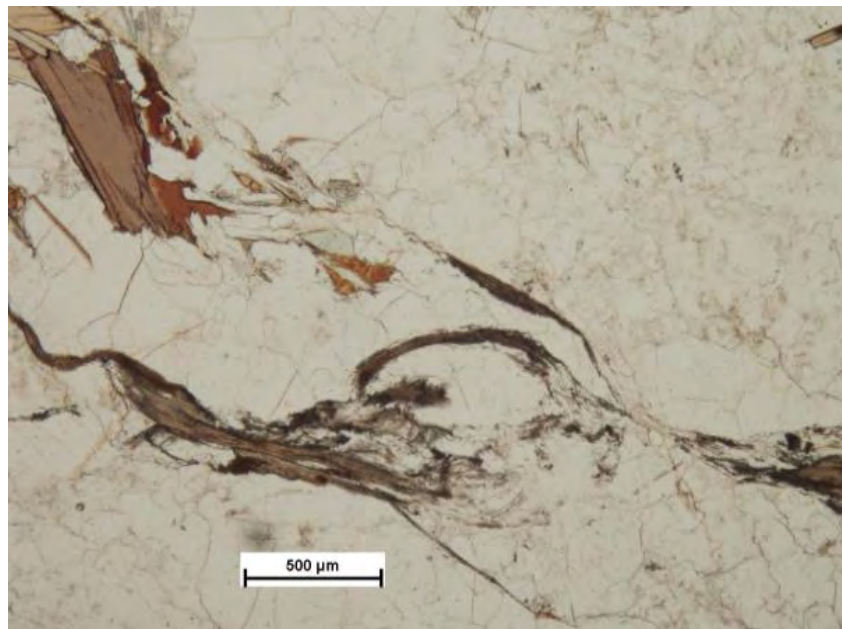
A kőzetalkotó ásványok a kvarc, a káliföldpát és a plagioklász, melyek relatív mennyisége gyakorlatilag megegyezik. Ezen szintelen elegyrészek mérete változó: 100 μm -tól 2000 μm -ig terjed, mennyiségüket tekintve a csiszolatok mintegy 90%-át teszik ki. Átlagos mérete a kvarcoknak a legkisebb, kb. 250 μm , míg a földpátok átlagos mérete meghaladja az 500 μm -t. A biotit és szillimanit mérete változó: a 100 μm -estől a több mm-esig terjed. A kőzetben elszórtan 150-1250 μm -es dumortierit, 125-625 μm -es andaluzit, átlagosan 500 μm -es muszkovitsomók, valamint 125-2500 μm -es sárgásbarna színű, izometrikus, mállott, főleg csillámokból álló szemcse található.

A földpátok gyakran szericitesedettek, nem tiszták; a káliföldpát (általában mikroklin) pertites, míg a nagyon sűrű poliszintetikus ikreket alkotó plagioklász mindig kis kioltási szögű. Gyakran megfigyelhetők granofiros, írásgránitos, valamint mirmekites szerkezetek. A kvarc tiszta, alszemcsés, unduláló kioltású.

A biotit gyakran kloritosodik és vannak szemcséi, melyek a sillimanittal, muszkovittal és/vagy a dumortierittel alkotnak közös kristályokat, „szövedéket” (lsd. 11. ábra). A szillimanit általában vékony, hosszan elnyúló, hajladozó „szőrös” szálakból álló rostokat alkot, mely néha muszkovitsomóban végződik (lsd. 12. ábra). A muszkovit legtöbbször önállóan a szemcsék között, vagy a földpátok repedéseit kitöltve jelentkezik kékbe, rostokba rendeződve.



11. ábra A biotittal és muszkovittal „közös szövődéket” alkotó dumortierit, DVT-939, balra: 1N, jobbra: +N, Dunavarsány

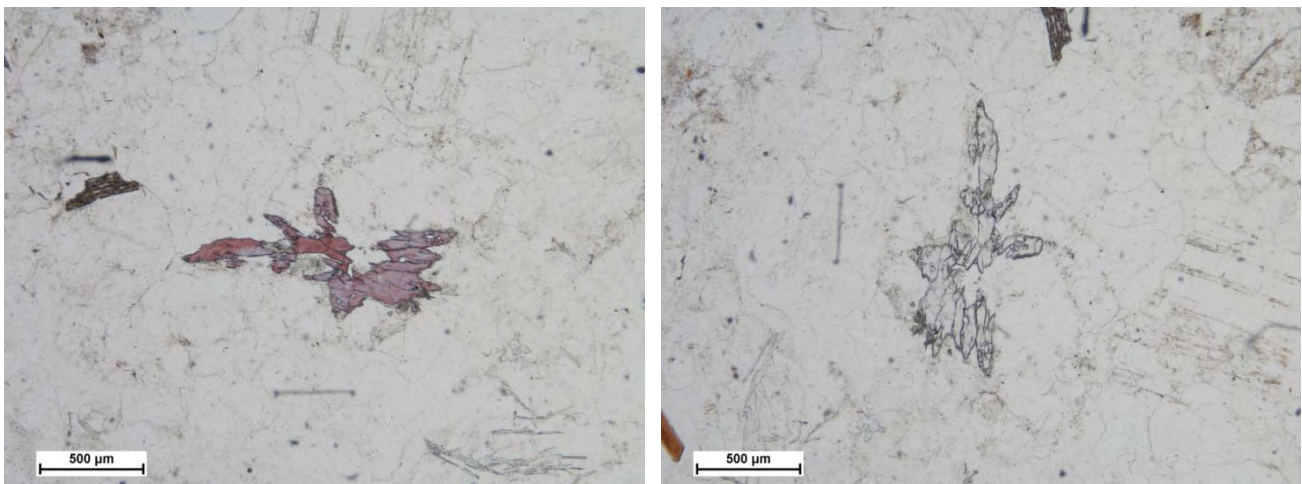


12. ábra A vékony, hosszan elnyúló, hajladozó „szőrös” szálakból álló rostokat alkotó sillimanit, balra fönt vörös színű biotit, DVT-939, 1N , Dunavarsány

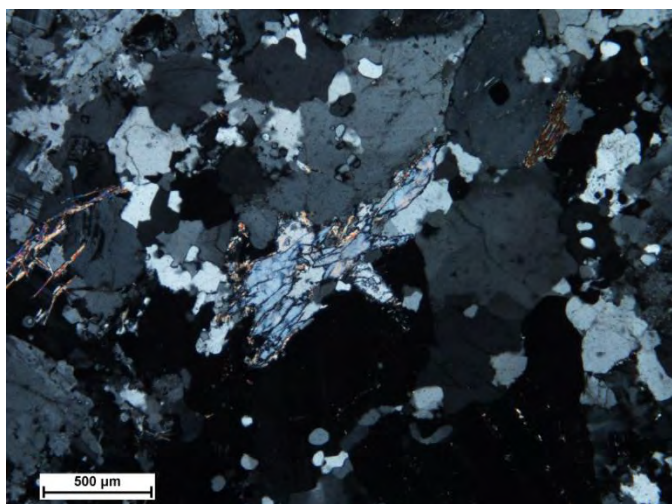
A dumortierit zömök, vagy nyúlt, oszlopos, de töredezett hipidiomorf szemcséket alkot, melyek mindegyikén jól megfigyelhető a jellegzetes világoskék-ibolya-rózsaszínű erős pleokroizmus (lsd. 13. ábra). Törésmutatója megközelíti az 1,7-et, interferenciaszíne rendellenes barna vagy ibolya („metálkék”) (lsd. 14. ábra). Főzónajellege negatív, kioltása egyenes. Finomszemcsés muszkovit (szericit) szegélyezi. Dumortierit kristályok figyelhetők meg az egyik nagy törésmutatójú, izometrikus, mállott, csillámokból is álló szemcséhez hozzásimulva, valamint annak belsejében (lsd. 16. ábra).

A dumortierit BSE képen és EDS spektruma alapján is elkülöníthető a többi ásványtól. A mikroszondás vizsgálatnál összetéveszthető andaluzithoz hasonló muszkovitos szegély övezi a szemcséket, de alakjuk eltér, valamint az EDS spektrumok lefutása is kis mértékben, de különbözik (lsd. melléklet 3. diagram). A dumortierit szignifikáns MgO (2,75-3,78%), Fe₂O₃ (max. 0,45-0,63%) és TiO₂ (0,1-2,03%) tartalommal rendelkezik, míg az andaluzitban az előbbi elemek nem kimutathatók (lsd. melléklet 1. táblázat). A MgO, Fe₂O₃ és TiO₂-tartalom egy csiszolaton belül szemcséről szemcsére változik, nem egységes. Míg a SiO₂-tartalom viszonylagos állandóságot mutat (30,13%-30,84%), az Al₂O₃ mennyisége a MgO és TiO₂-tartalom függvényében változik. A vizsgált dumortierit szemcsékben a legmagasabb TiO₂-tartalom (2,03 %) mellett mérhető a legalacsonyabb Al₂O₃-szint (56,79%), míg a legalacsonyabb MgO-tartalom (2,75%) esetén mérhető a legtöbb Al₂O₃ (59,24%).

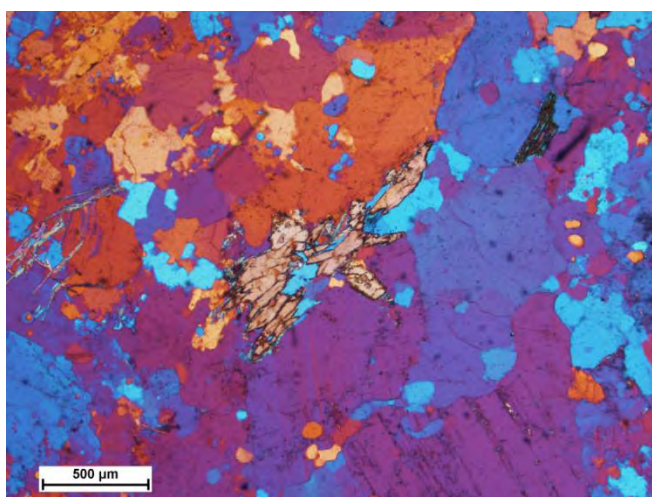
Eltérő színárnyalat figyelhető meg (lsd. 17. ábra) egy dumortierit szemcsén belül: a szemcse belsejében erősebb, míg a szegélyén halványabb rózsaszínű. A pásztázó elektronmikroszkóppal készített BSE-képen (lsd. 17. ábra) is látható árnyalatbeli különbség, itt a szemcse szegélyén sötétebb, míg a belsejében világosabb árnyalat a jellemző. A két rész ásványkémiai összetételében is tapasztalható különbség: a TiO₂ és MgO tartalomban mérhető különbség. A belső, világosabb területen magasabb TiO₂ (0,38%) és alacsonyabb MgO (2,75%) tartalmat mértünk, míg a szemcse szegélyén alacsonyabb TiO₂ (0,1%) és magasabb MgO (3,24%) tartalom a jellemző. A dumortierit uralkodó színéért felelős elem a Fe₂O₃ mellett a TiO₂ (ALEXANDER et al., 1986). Megfigyeléseink szerint a TiO₂-gazdagabb részekben erőteljesebb a rózsaszín árnyalat, míg a MgO változásával kapcsolatban nem észleltünk hasonló jellegű korrelációt.



13. ábra A dumortierit alakja, jellegzetes rózsaszín- halvány ibolya pleokroizmusa (1N) – DVT-939, Dunavarsány



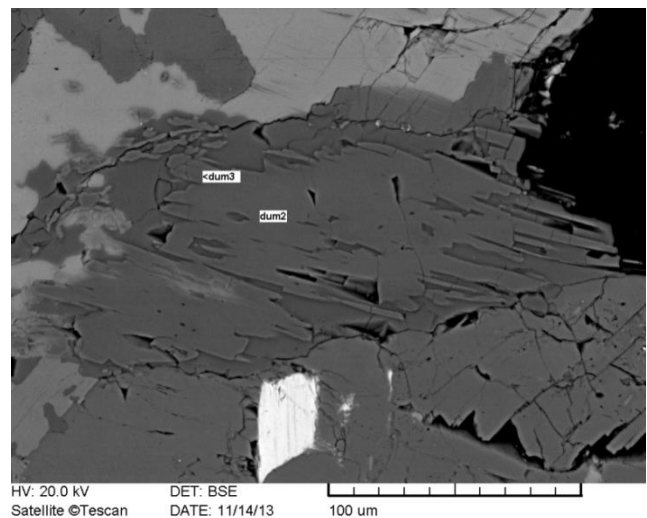
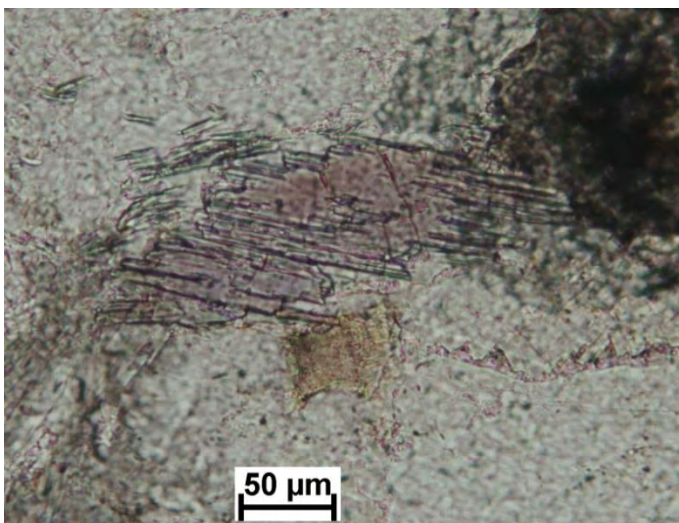
14. ábra A dumortierit rendellenes interferenciaszínei: balra: rendellenes ibolya, jobbra a közepén elsőrendű sárga, a szélén rendellenes ibolya (+N) –DVT-939, Dunavarsány



15. ábra A dumortierit szemcse diagonális állásban megfigyelhető negatív főzónajellege (balra: 1N, jobbra: +N, +530 λ –DVT-939, Dunavarsány



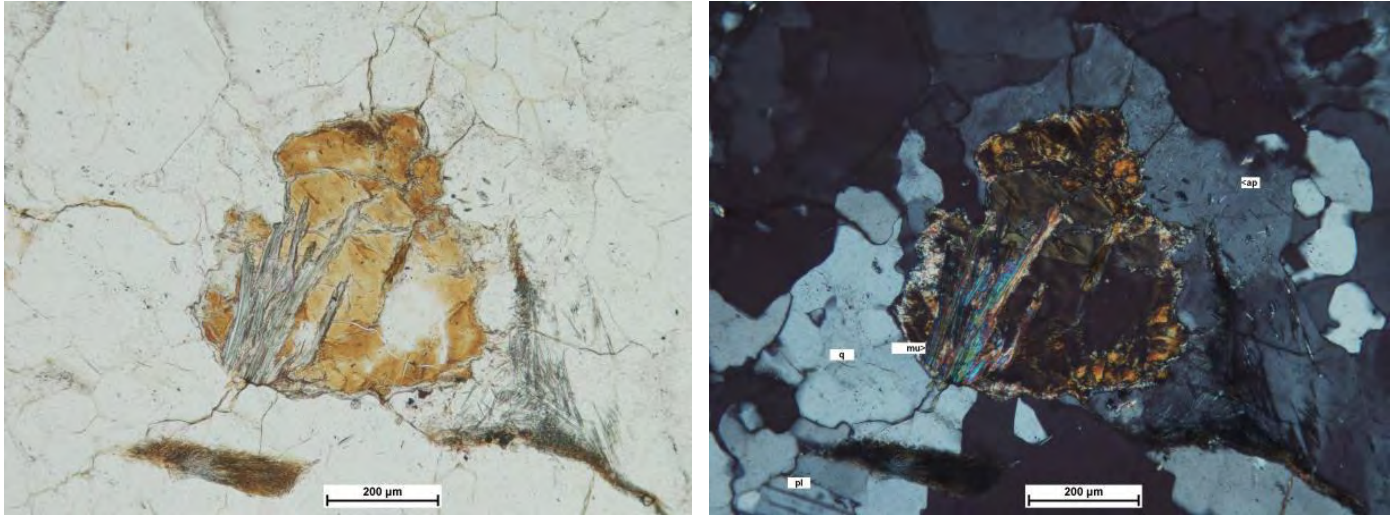
16. ábra Dumortierit szemcsék a sárgásbarna színű mállott szemcse szegélyén (rózsaszínű) és benne (világoskék) (1N) –DVT-939, Dunavarsány



17. ábra Dumortierit szemcse belsejében észlelhető sötétebb rózsaszín árnyalat (1N) és a szemcséről készített BSE-kép a mérési pontok feltüntetésével a kristály belsejében és szegélyén (DVT-939), Dunavarsány

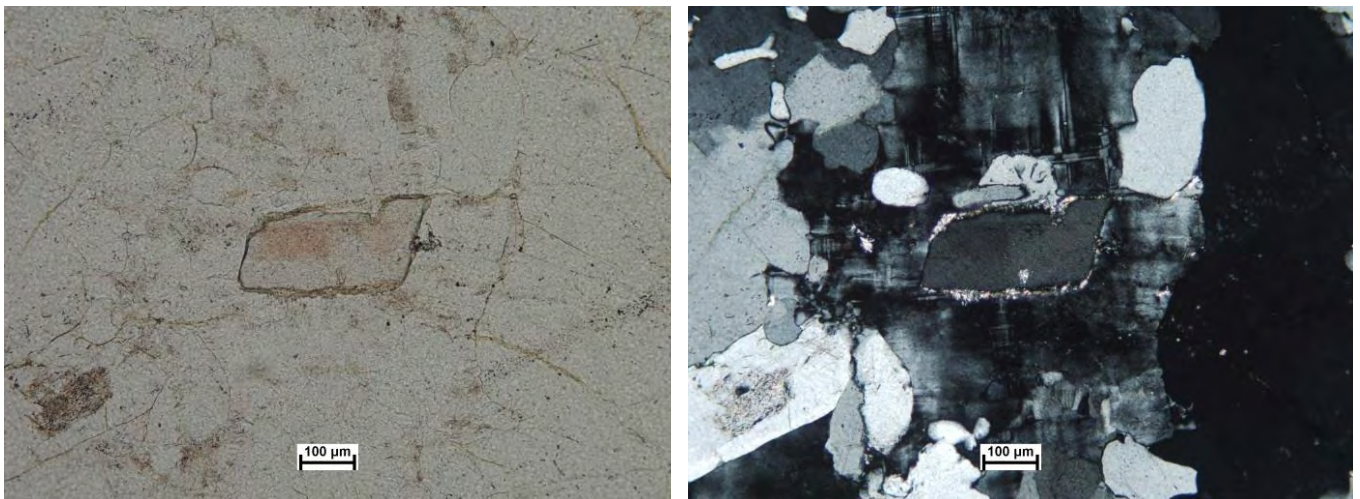
A kőzetben szabad szemmel is megfigyelhető „érdekes” izometrikus szemcsék változatos mikroszkópi képet mutatnak. Van olyan szemcse, amelynek belsejét muszkovit, klorit, biotit és szericit kusza szövődéke hálózza be, míg más esetben a fenti ásványok csak a szemcsék szegélyét képezik. Keresztezett nikoloknál a szemcsék közepe van, hogy teljesen, de nem mindig izotróp. Egyes szemcsék egészen kör alakúak, hatszögesek, míg vannak nyúltabbak. Megfigyelhető néhol a kioltással párhuzamos irányú halvány hasadási

nyomvonalrendszer. A fentiek szerint a megfigyelt ásványok átalakulási termékek, a relikv ásványok bélyegei csak halványak, nehezen észlelhetők, a legnagyobb valószínűség szerint cordierit és/vagy gránát volt az eredeti ásványfázis (lsd. 18. ábra).



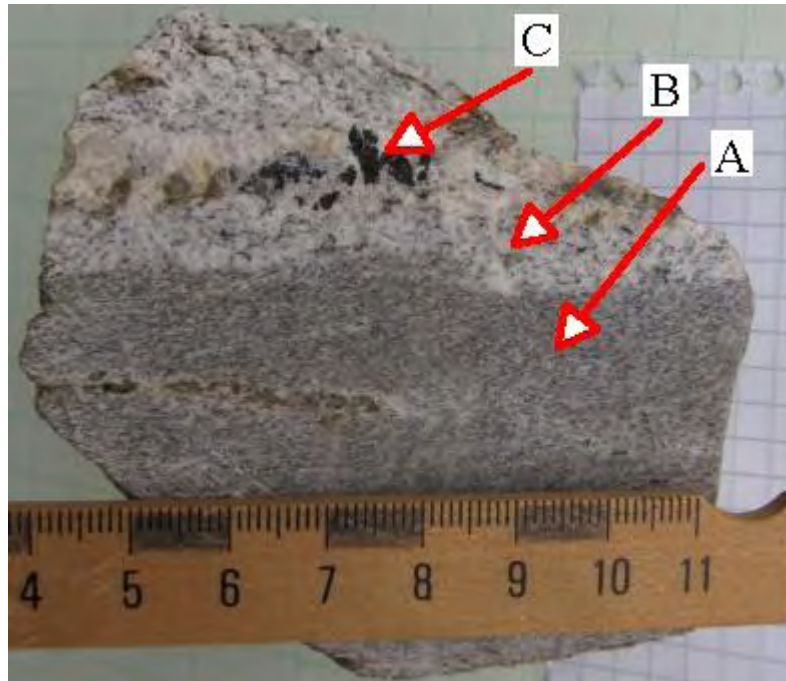
18. ábra Az „érdekes” izometrikus, kevés relikv bélyeget mutató szemcse polarizációs mikroszkópi képe- DVT-939 (balra: 1N, jobbra: +N) , Dunavarsány

Az andaluzit szemcsék ritkábban fordulnak elő, mint a dumortieritek. Egy csiszolatban míg dumortieritből átlagos 8-10, addig andaluzitból 4-5 szemcse a jellemző. Barackvirág rózsaszínű pleokroizmus és törésmutatója (a dumortierithez hasonló, de annál valamivel kisebb kb. 1,65-ös) alapján jól elkülöníthető. Gyakran fordul elő mikroklin belsejében, míg a dumortieritéhez hasonló keskeny szericites-muszkovitos szegély jellemzi (lsd. 19. ábra).



19. ábra Barackvirág rózsaszín pleokroizmusú andaluzit szemcse mikroklinben, vékony szericites-muszkovitos szegéllyel a DVT-939-es jelű kőzetben (balra: 1N, jobbra: +N), Dunavarsány

DVT-853



20. ábra A DVT-853-as jelű kőzet vágott felülete és a nyilakkal jelzett három jól elkülönülő sáv, zóna, Dunavarsány

DVT-853-as jelzésű kőzet eredeti mérete 50x30x20 cm és relatív koptatottsága 2-es. Szabad szemmel megfigyelve is jól elkülöníthetők a mikroszkópi leírásnál részletezett különböző zónák, sávok. A kőzet túlnyomó részét kitevő sötét (biotitgazdag), finomabb szemcsés részre jellemző az erős irányítottság, itt egyes ásványszemcsék makroszkóposan nem ismerhetők fel (A jelű rész az 20. ábrán). A B-vel jelzett zónában szabad szemmel a földpát, kvarc és a biotit elkülöníthetők, míg a belső, C-jelű rész mm-nél nagyobb turmalinokat (fekete) és cordieriteket (bronzsínű) tartalmaz. Az utóbbi két rész esetén csak jóval kisebb fokú orientáltság látható.

Mikroszkópos és mikroszondás leírás:

Ebből a kőzetből összesen öt darab vékonycsiszolat készült, közülük egy polírozott felületű, míg négy fedett.

A DVT-853-as gneisz szöveti képe nem egységes. A metamorf kőzet nagy részét erősen irányított finomszemcsés anyag alkotja, melyben a kvarc, a biotit és a plagioklász a kőzetalkotók, míg a világosabb, kevésbé foliált cordierit, gránát, turmalin és dumortierit

tartalmú egység durvább szemcsés. Ez utóbbi egységben is, mind szövetségben mind ásványos összetételében, különbségeket fedezhetünk fel. A finomszemcsés részhez közelebb eső terület homogén, kvarcot, zónás plagioklász, káliföldpátot, biotitot, kloritot (kloritosodott biotitot), gránátot tartalmaz, míg a belső rész gyakorlatilag nem mutat irányítottságot, a kőzetalkotó kvarc, plagioklász és káliföldpát mellett fél centimétert meghaladó pinitesedett cordieritek és turmalinok társaságában dumortierit fordul elő, míg biotitból elszórtan csak egy-egy szemcsét tartalmaz.

Az összesen három zóna érintkezési vonalai élesek, szöveti képük alapján az egyes egységek jól elkülöníthetők egymástól (ld. fentebb 20. ábra).

A finomszemcsés közetrész grano-lepidoblasztos szövettű, az erős foliációt adó biotit mennyisége kb. 15-20%, míg a maradék részt kitevő szintelen kőzetalkotó ásványok (kvarc, földpátok) kis méretüknek köszönhetően polarizációs mikroszkópban gyakran nehezen különböztethetők meg egymástól.

A nyúlt, hosszúkas biotit szemcsék átlagos szélessége 50-75 μm , hosszúságuk átlagosan 150-200 μm , de elérhetik a 700 μm -t is. Gyakran összeérnek, széleik néha kloritosodtak.

A xenomorf, egymáshoz hasonló alakú szintelen elegyrészek mérete átlagosan 150-200 μm , a BSE kép alapján (ld. melléklet 1. ábra) kb. 40-60%-ban kvarcot és plagioklász tartalmaz. Mind a kvarc, mind a plagioklász az izometrikus alaktól kissé eltérve enyhe lapultságukkal követik a biotitot által meghatározott irányítottságot. A kvarc mozaikos, tiszta, nem zárványos, míg a plagioklász néha zónás, sűrű (a lamellák közötti távolság kb. 25 μm) poliszintetikus ikresedése ritkán megfigyelhető, a szimmetrikus zónában mért maximális kioltási szög általában nagyon kicsi, majdnem egyenes kioltásúak a szemcsék. Mindkét ásvány átalakulástól mentes.

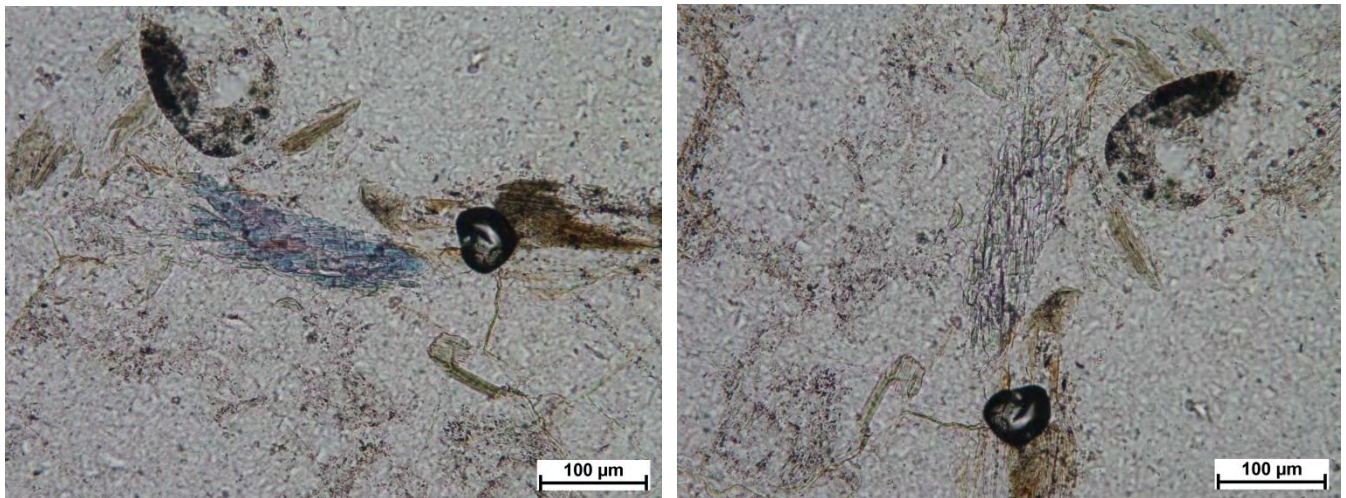
A finomszemcsés melletti durvább régió szövete granoblasztos, kloritosodó biotitjai a finomszemcsés rész foliációját csak nagyon kis mértékben követik. A biotit és klorit mennyisége itt nem éri el a 10%-ot, általában meghaladja a 250 μm -es hosszúságot, de a több mint 1 mm-est is elérheti. A szintelen elegyrészek (kvarc, földpátok) mérete általában meghaladja az 1 mm-t.

A mozaikos kvarcok, nagyon gyakran zónás plagioklászok, kettős ikreket alkotó, sokszor pertites, szericitesedett káliföldpátok között néhány 250-300 μm -es muszkovitcsomó/kéve figyelhető meg. A biotitból gyakran átalakuló klorit szemcsék törésmutatója nagyobb a

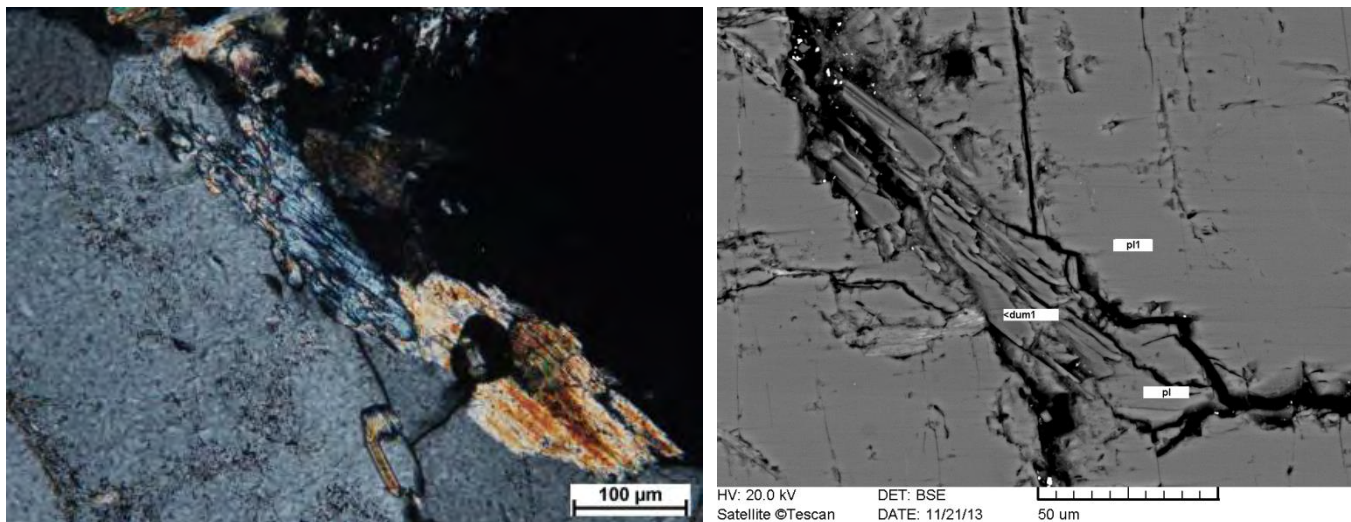
biotiténál, ritkán az 1,7-et is megközelíti, interferenciaszínük rendellenes ibolya. Nagyon kevés max. 250 μm -es szép, izometrikus gránát is megfigyelhető elszórtan.

A harmadik „legdurvább” rész szövete granoblasztos, nem irányított (pegmatitos ér?). Több mm-es turmalinok, akár fél cm-es cordieritek, valamint 200-250 μm -es dumortieritek találhatók a mm-es földpátok és kvarc között. A biotit, kloritosodó biotit ezen terület 1-2%-át teszi ki csupán. A dumortierit gyakran megjelenik plagioklászok között, muszkovitesomók társaságában, de néha a cordierit mellett/mentén jelentkezik, azok átalakulási termékei társaságában (klorit, muszkovit, pinit).

A dumortierit nyúlt tűs, oszlopos hipidiomorf kristályokat alkot. A szemcsék gyakran nem összefüggők, a kristályokat „nem összekapcsolódó apró virslik irányított halmaza” alkotja. Pleokroizmusa erős, halványkék, ibolya, rózsaszínű; törésmutatója az 1,7-et alig éri el (ld. 21. ábra). Kioltása egyenes, a megnyúlással párhuzamosan hasadozott, rendellenes ibolya interferenciaszínű szemcséket alkot. Főzónajellege negatív.



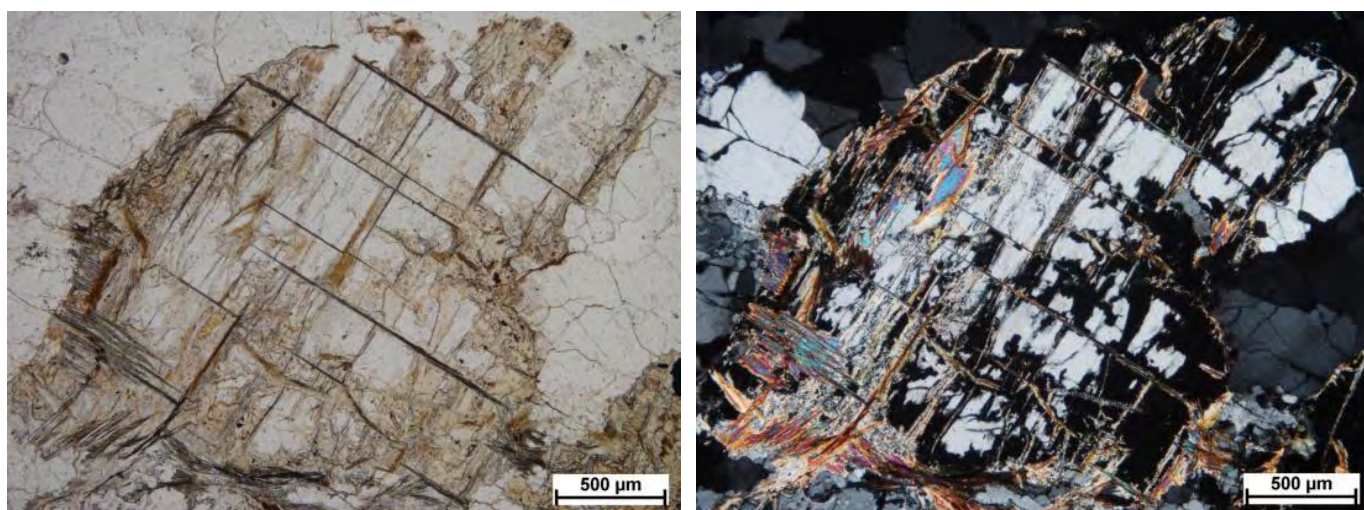
21. ábra A dumortierit alakja és karakteres pleokroizmusa: a szemcse nagy részén világoskék, míg középen halványrózsaszín (1N) –DVT-853, Dunavarsány



22. ábra A dumortierit rendellenes ibolya interferenciaszíne keresztezett nikolok között, valamint BSE-képen, plagioklász társaságában –DVT-853, Dunavarsány

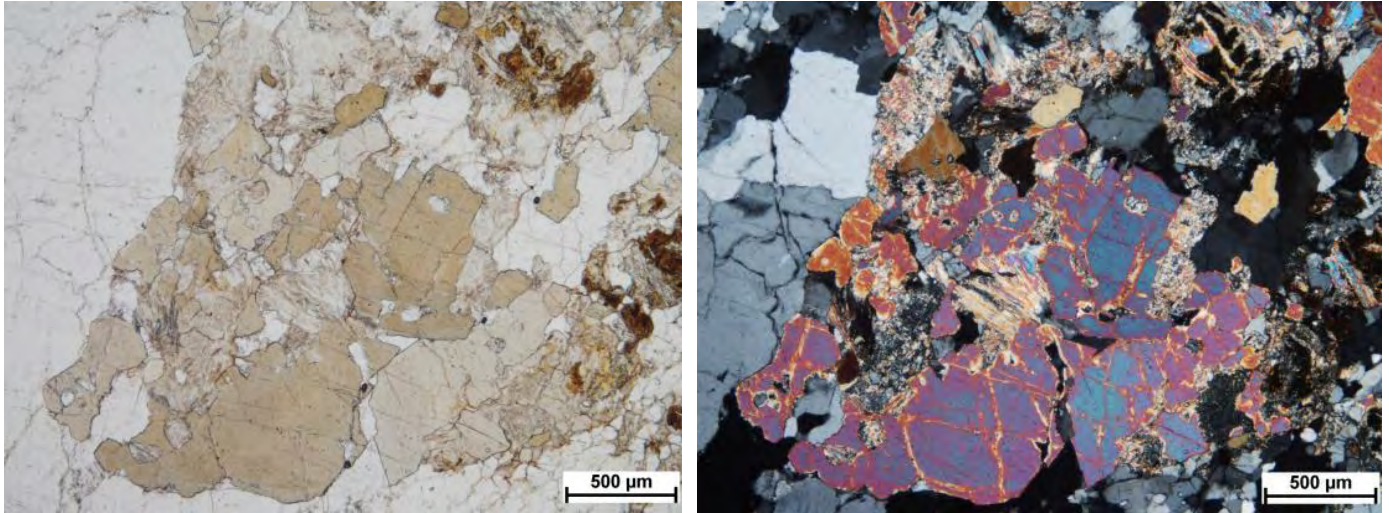
A kőzetben megfigyelt és mérések alá vetett dumortieritek ásványkémiái összetétele kis mértékben, de eltér a DVT-939-es kőzetben mért dumortieritekétől. Magasabb átlagos SiO_2 (32,78-34,73%) és alacsonyabb Al_2O_3 (56,12-54,38%) tartalom jellemző. A MgO mennyisége 3,35-3,49%, a Fe_2O_3 mennyisége 0,38-0,54%, míg a TiO_2 alig kimutatható, mintegy 0-0,02% mérhető csupán.

A cordierit gyakran csak pszeudomorfózáként jelenik meg, pinitesedett. Erőteljes hasadása még általában megfigyelhető az 1 nikollal sárga színű, színtelen izometrikus kristályokban. Szélein muszkovit és biotit alkot szövédéket, míg a kloritosodástól és szericitesedéstől mentes tiszta cordierit a szemcsék belsejében jellemző.



23. ábra Átalakulást szenvedett, jó hasadást mutató óriási cordierit (1N, +N) –DVT-853, Dunavarsány

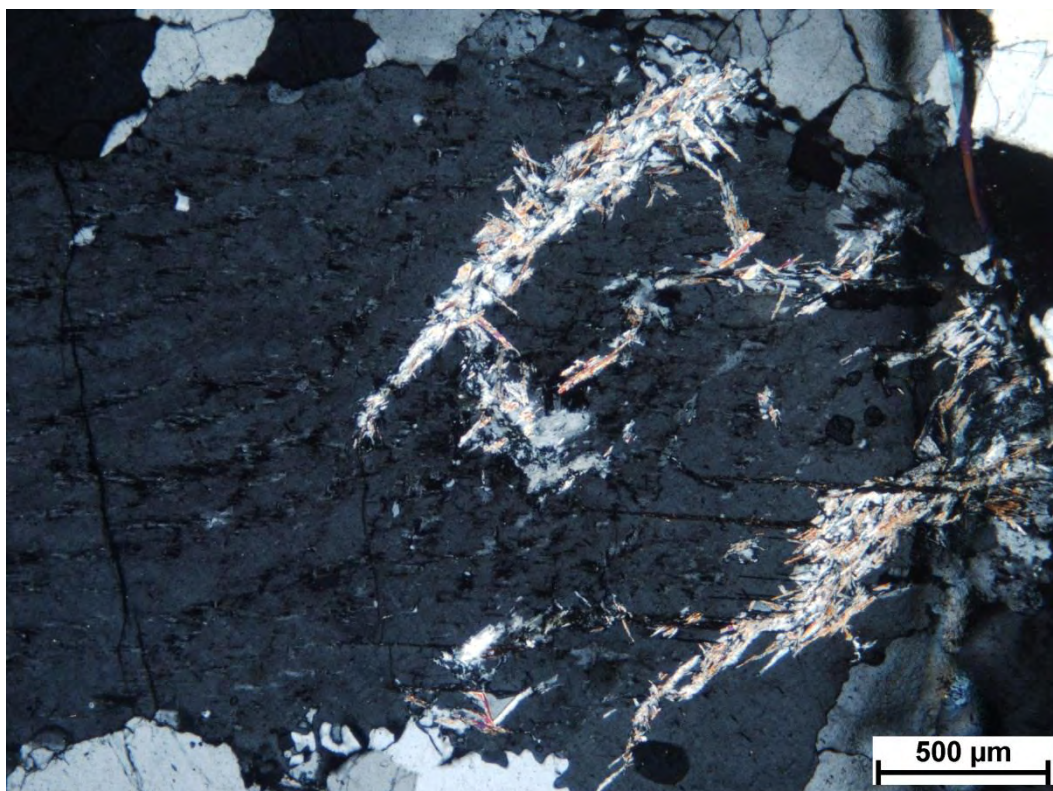
A szabálytalan, 1 nikollal sárgás-barna színű, inverz pleokroós turmalin töredezett kristályai között finomszemcsés anyag, szericit található. Néhány, akár 2 mm-es kéveszerűen szerteágazó muszkovitcsomó szövi át a pertites földpátokat.



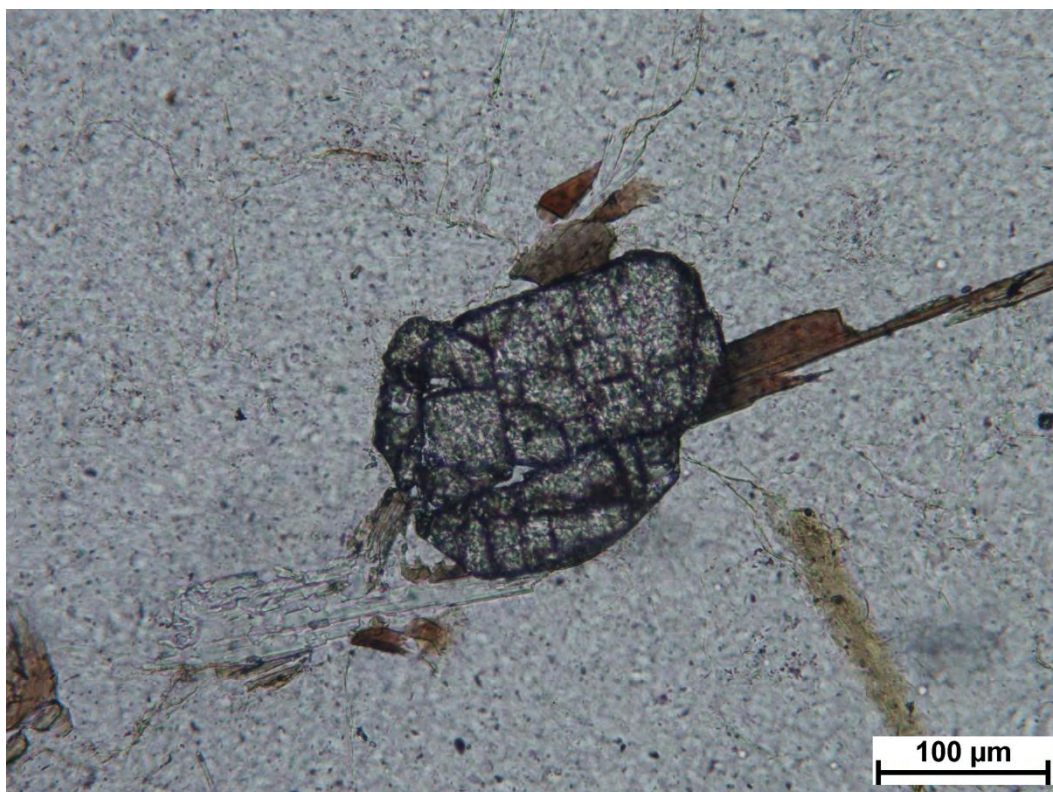
24. ábra Turmalin, mely 1 nikollal sárgásbarna színű, inverz pleokroós (balra), míg keresztezett nikolok között elsőrendű vöröséslila, másodrendű kék interferenciaszínű (jobbra) –DVT-853, Dunavarsány

A kvarc, káliföldpát és plagioklász általános tulajdonságai megegyeznek a csiszolat előző területén találhatókéval.

Van a kőzet finomszemcsés részében, valamint a mellette lévő régióval alkotott határán néhány különleges, nagy törésmutatójú szemcse. 100-220 µm-es méretűek, izometrikus, gömbölyded, lekerekített szemcséi két egymásra merőleges irányban hasadozottak. 1 nikollal szintelen, halványsárga, interferenciaszíne az elsőrendű sárgától a másodrendű kékig terjed. A szemcse a legnagyobb valószínűség szerint cirkon.



25. ábra Perthites földpát repedéseit kitöltő kusza muszkovithalmaz DVT-853, Dunavarsány



26. ábra Az izometrikus, nagy törésmutatójú szemcse (cirkon?) DVT-853, Dunavarsány

AUSZTRIAI GNEISZEK:

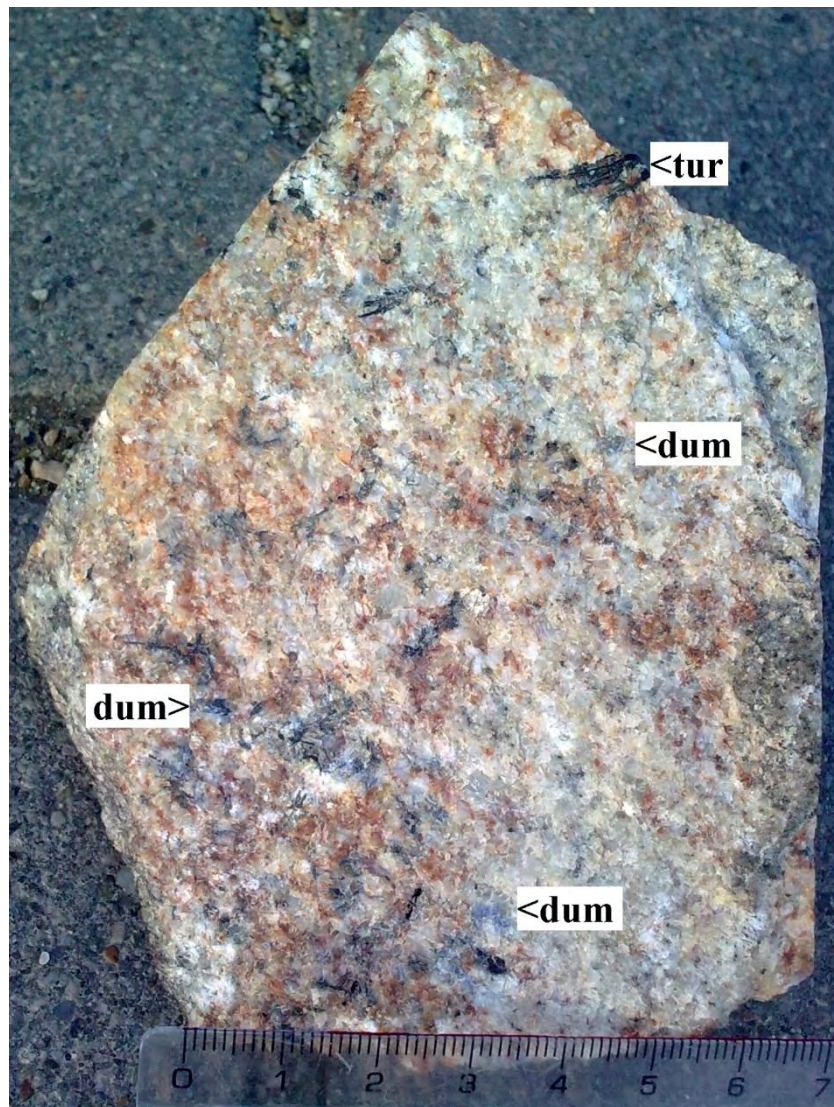
Terepi bejárásunk során, bár Krems és Klein-Pöchlarn között több Duna menti feltárásban (például Unterkienstock) találtunk dumortieritet a változatos megjelenésű Gföhl gneisz durvább szemcsés, pegmatitos részeiben, az Ebersdorf és Klein-Pöchlarn közötti időszakosan működő bánya kőzetanyaga bizonyult a „legígéretesebbnek”. A bányában szálban állva egyáltalán, a kupacokba halmozott kőanyagban pedig csak alig találtunk pegmatitos ereket (és azokban, vagy mentén dumortieritet). Terepi megfigyeléseink szerint a bánya kőzetanyaga nagyon változatos képet mutat: gneiszek eltérő biotittartalommal, néha „piritbőrökkel” borítva, turmalingazdag gneisz, granulitok, világos, durvább szemcsés sávok, erek.

Az alább bemutatott kőzetpéldányt ebben a bányában gyűjtöttük, az egyik kőkupacból emeltünk ki egy tömböt, majd törtünk le belőle.



27. ábra a Klein-Pöchlarn és Ebersdorf közötti bánya (Ausztria) (fotó: Spránitz Tamás, 2013)

WGM-1422



28. ábra A WGM-1422-es jelű minta (Klein-Pöchlarn – Ebersdorf, Ausztria) „kérge” általános szöveti képe

A WGM-1422-es jelű kőzet „kérgé” vöröses-, vagy sárgásfehér, egyes ásványfázisok már itt is jól elkülöníthetők. A szürke színű kvarc, a világosabb, becsillanó lapokkal rendelkező földpátok, a fekete pikkelyes biotit mellett ibolyaszínű foltokban dumortierit kristálycsomók és fekete, vékony rostokból álló turmalin figyelhető meg. Irányítottság a kőzet ezen metszetén nem figyelhető meg.

A kőzet belsejében a különböző mennyiségben megjelenő biotitok adnak annak erős irányítottságát. Makroszkóposan is megfigyelhetők a biotitok hossz tengelyével

párhuzamos sávok, lencsék, zónák ám azok ásványos összetétele alapvetően nem tér el egymástól, a közöttük húzódoó határvonal nem éles (29. ábra)



29. ábra A WGM-1422-es minta(Klein-Pöchlarn – Ebersdorf, Ausztria) sávossága

Mikroszkópos és mikroszondás leírás:

A kőzetpéldányból öt darab vékonycsiszolatot készítettünk, melyek közül négy darab fedett és egy darab polírozott felületű.

A kőzet szövete lepidó-granoblasztos, a biotitok által kijelölt irányhoz illeszkedik az ásványok alakja, „megnyúlása”. A kőzetalkotó ásványok a kvarc, a káliföldpát, a plagioklász, valamint a biotit, mely gyakran kloritosodott, míg a kőzetben előfordul gránát, kianit, muszkovit, dumortierit, sillimanit, apatit, rutil. A biotit átlagosan 5-7%-át teszik ki a kőzetnek, de vannak területek, ahol a mennyisége rendkívül alárendelt (<1%).

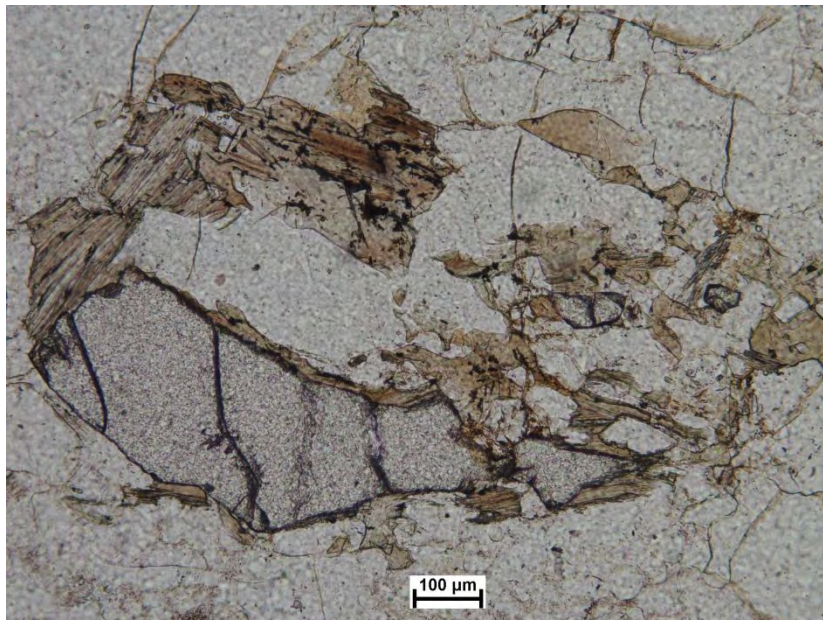
A kőzetalkotó szintelen elegyrészek (kvarc, káliföldpát, plagioklász) relatív mennyisége hozzávetőlegesen megegyezik, mérete rendkívül tág tartományba esik. A kvarcok alkotják közülük általában a legkisebb kristályokat (50-2500 μm), míg a földpátok mérete meghaladhatja a 3-4 mm-t is.

A xenomorf kvarc mindig mozaikos, a biotitok irányához igazodó elnyúlt töredezett, tiszta, unduláló kioltású kristályokat alkot.

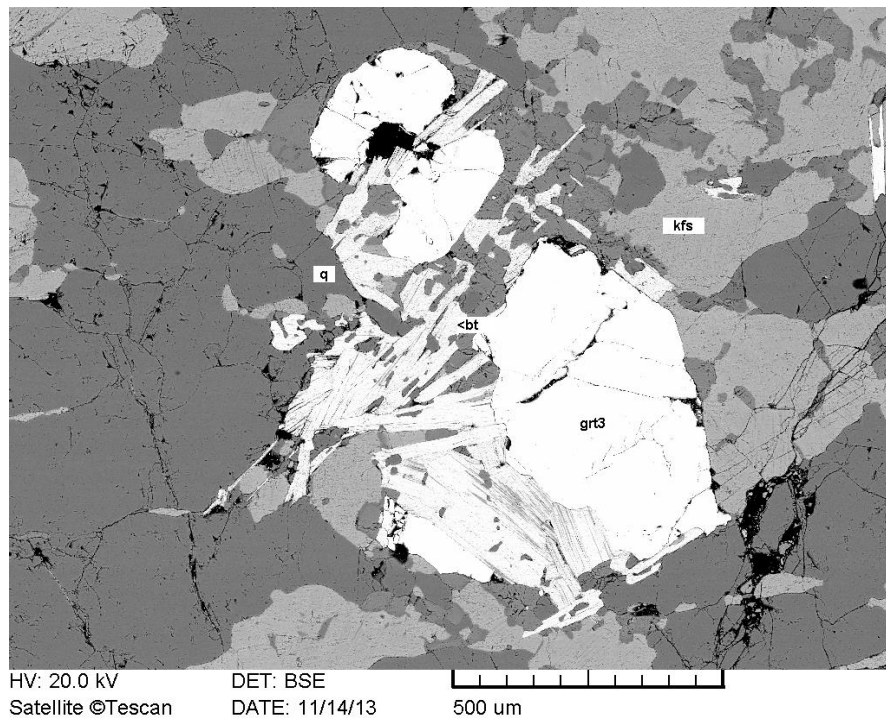
A hipidiomorf, xenomorf káliföldpát (ortoklász) gyakran kettős iker formájában jelenik meg, pertites, néha szericites. Sokszor írásgránitos, granofíros, mirmekites szerkezetek figyelhetők meg. A hipidiomorf, xenomorf plagioklász poliszintetikus ikresedése és zónássága csak ritkán figyelhető meg jól.

A biotitok mérete változatos (50-1000 μm), léces, oszlopos kristályok formájában, vagy csomókat alkotva jelennek meg, klorittá alakulva rendellenes ibolya interferenciaszínt öltenek.

A gránátok elszórtan helyezkednek el, 200-4000 μm -esek, míg a kisebbek üdék, a nagyobb, de izometrikus kristályok néha teljesen átalakultak. Magas interferenciaszínű rétegszilikátok (biotit, klorit, muszkovit) szövédéke hálózza be.

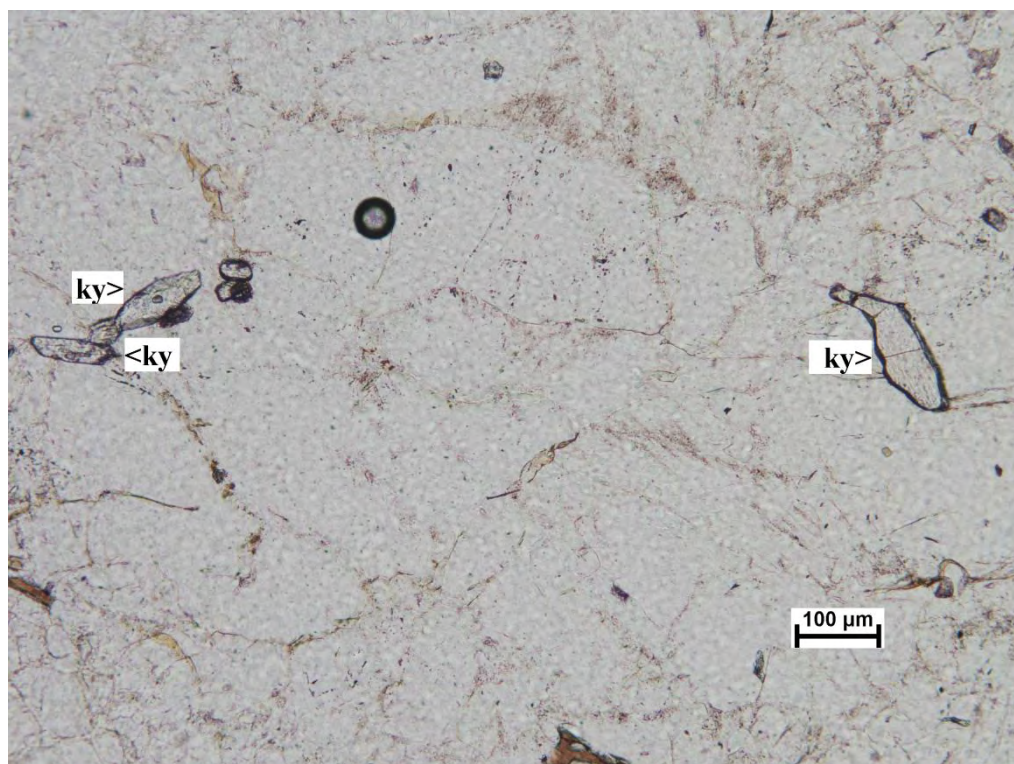


30. „Átalakulófélben” lévő gránát, az eredeti alak még megfigyelhető, de a szemcse belsejét főleg kloritosodó biotit tölti ki 1N –WGM-1422, Klein-Pöchlarn – Ebersdorf, Ausztria

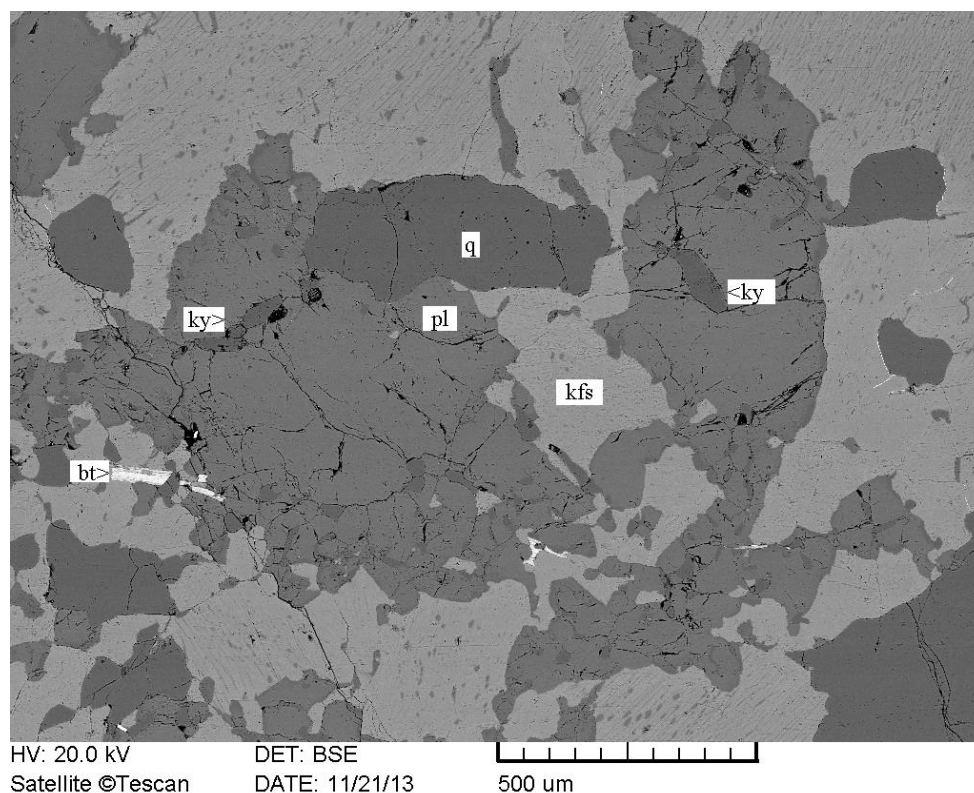


31. ábra A 30. ábrán bemutatott jelenséget példázó BSE-kép egy másik szemcséről, a gránát belsejét rétegszilikátokból álló mállástermék tölti ki–WGM-1422, Klein-Pöchlarn – Ebersdorf, Ausztria

A kianit átlagos mérete 200-300 μm , hipidiomorf, oszlopos, zömök, hasadása jól látható, a csiszolatokban csak néhány szemcse figyelhető meg.

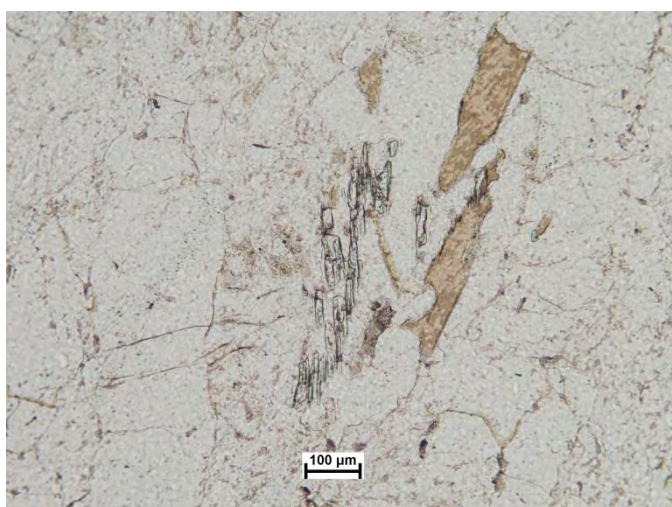


32. ábra Kianitok a WGM-1422-es jelű kőzetben, a jobb oldali szemcsén megfigyelhető jellegzetes hossz-, és keresztirányú hasadása (1N)Klein-Pöchlarn – Ebersdorf, Ausztria

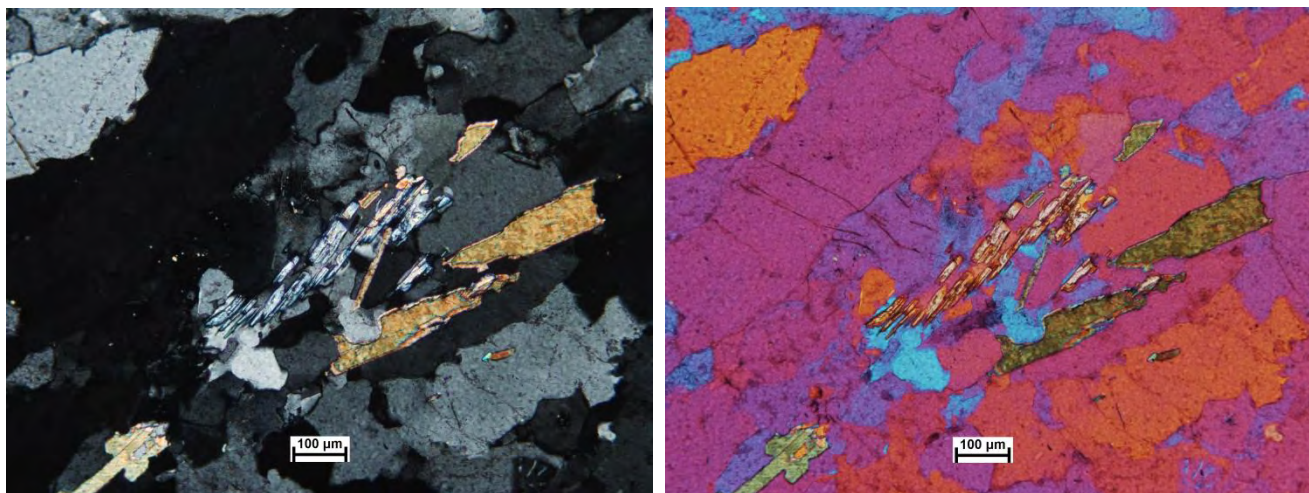


33. ábra A 32. ábrán bemutatott kianitokról készített BSE-kép, –WGM-1422, Klein-Pöchlarn – Ebersdorf, Ausztria

A dumortierit, bár makroszkóposan jól elkülöníthető a kőzet felületén, ritkán jelenik meg a csiszolatokban. Az elszórtaan elhelyezkedő, átlagosan kb. 500 μm -es szemcsék hipidiomorf, nem teljesen összefüggő kristályokat alkotnak: apró, „virsliszerű” lécecskékből épülnek fel. A dumortierit pleokroizmusa erős, jól megfigyelhető: halványkék, rózsaszínű árnyalatokat vesz fel, míg interferenciaszíne rendellenes ibolya. Törésmutatója nem éri el az 1,7-et, kioltása egyenes, főzónajellege negatív.



34. ábra A dumortierit jellegzetes pleokroizmusa és színe, mely egy szemcsén belül változik (világoskék a rózsaszínig) 1N —WGM-1422, Klein-Pöchlarn – Ebersdorf, Ausztria

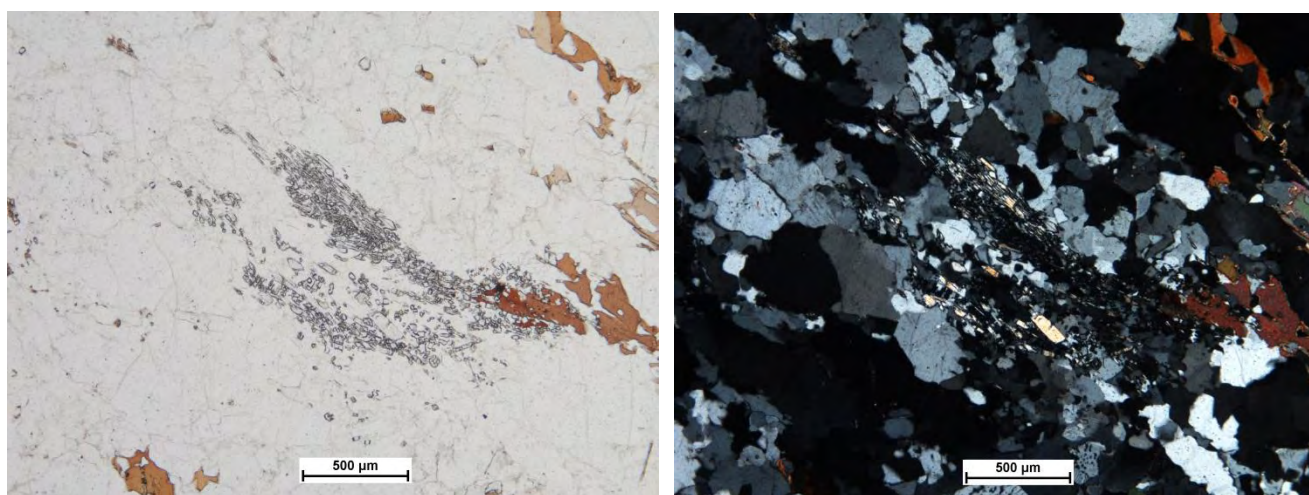


35. ábra A dumortierit rendellenes ibolya interferenciaszíne (balra, +N) és negatív főzónajellege (jobbra, +N, +530 λ) —WGM-1422, Klein-Pöchlarn – Ebersdorf, Ausztria

A dumortierit elemi összetétele egy szemcsén belül kimutathatóan változik (lsd. melléklet 1. táblázat). A nagyobb állandóságot mutató SiO_2 értékei 31,42-31,73% közé esnek, míg az Al_2O_3 mennyisége 57,42-57,74% között változik. A MgO tartalom 2,94-3,23%, a TiO_2 tartalom 0,35-0,42%, a Fe_2O_3 tartalom 0,18-0,56%. Megfigyelhető, hogy a TiO_2 és MgO mennyisége fordítottan arányos a Fe_2O_3 mennyiségével: a magasabb TiO_2 és MgO tartalom mellé alacsonyabb Fe_2O_3 tartalom társul.

A muszkovit káliföldpát belsejében szétterülve jelenik meg általában, átlagosan 250 μm -es, oszlopos, hipidiomorf, erőteljesen hasadozott szemcsék formájában.

A sillimanit apró oszlopokból álló „girbe-gurba”, seprű alakú összefüggő szemcsehalmozokat alkot, melyek kb. 1 mm-es hosszúságúak és elsőrendű sárga interferenciaszínűek.



36. ábra A WGM-1422-es kőzetben megjelenő sillimanit (balra: 1N, jobbra: +N), Klein-Pöchlarn – Ebersdorf, Ausztria

b) *A klinohumitos márvány részletes petrográfiai leírása*

A klinohumit rövid bemutatása

A klinohumit általános alakja $\text{Mg}_9(\text{SiO}_4)_4(\text{OH},\text{F})_2$ képlettel írható fel (FERRARIS et al. 2000). Monoklin prizmás kristálytani osztályba sorolható ásvány, amely igen változatos formakincssel rendelkezik. Sárga- narancssárga- vörös színű, üvegfényű, izometrikus szemcsék formájában szokott megjelenni elsősorban kontakt metamorf karbonát kőzetekben, de a Vezúv bombáiban is találtak már olivinnel összenőve. Mohs- skála szerinti 6-os keménységű, karcszíne fehér, sűrűsége: 3,17- 3,35. Gyenge hasadás megfigyelhető rajta (100) irányban. Mikroszkópban a poliszintetikus ikresedés bizonyos esetekben megfigyelhető. Fénytörése: $n_\alpha=1,623\text{-}1,702$, $n_\beta=1,636\text{-}1,709$, $n_\gamma=1,651\text{-}1,728$, kettőtörése: 0,028-0,041. A klinohumitból két típus különíthető el; az OH-tartalmú hidroxilklinohumit és a F-tartalmú fluoroklinohumit. (FERRARIS et al. 2000, KOCH-SZTRÓKAY 1973, KUBOVICS 1993)



37. ábra Klinohumit, Kukh-i-Lal (Kukhilal; Kuhi-lal), Pyandzh River Valley, Pamir Mts, Viloyati Mukhtori Gorno-Badakhshan (Viloyati Badakhshoni Kuni), Tadzsikisztán, méret: 43 x 25 x 17 mm. Gyűjtötte: Oleg Lopatkin (<http://www.mindat.org>)

A klinohumitos márvány makroszkópos leírása

A kőzet mindössze egy kb. 80 cm átmérőjű izometrikus példányban volt megtalálható a dunavarsányi kavicsanyagban, amely hármaskoptatottságú az egytől ötig terjedő terepi skálán. Ez a tömb több darabra lett széttörve, így 2 db kézipéldány méretű, egy nagyjából 20 cm átmérőjű, egy 40x30x30 cm-es és egy 40x20x20 cm-es darab (utólag ketté lett vágva) képezi a gyűjteményt. A kőzet változatos megjelenésű, legnagyobb tömegét, nagyjából 80%-ot a világosszürke színű dolomit és kalcit szemcsék teszik ki, amelyek romboéder szerinti hasadása jól megfigyelhető a nagyobb szemcséken. A karbonát ásványok mérete 1-5 mm között változik. A dolomit és kalcit szemcsék között 1-7 mm nagyságú narancssárga színű töredezett-repedezett, saját kristálylapokkal nem rendelkező klinohumit szemcsék figyelhetők meg. A kőzetben több zöldes árnyalatú rész elkülöníthető, amelyekben a klinohumit szemcsék nagyobb gyakorisággal fordulnak elő, mint azokon a részekben, ahol szürke színű a kőzet. A klinohumit a kőzet nagyjából 5-10%-át teszi ki. Makroszkóposan még egy fázis különíthető el a kőzetben. A spinell maximálisan 1mm-es fekete szemcsék formájában figyelhető meg, amely csomók formájában koncentráltan gócot alkot. A spinell szemcsék a kőzet kevesebb, mint 5%-át teszik ki a kőzetnek.

A kő külső felületén egy nagyjából 1-5 cm-es mállási kéreg figyelhető meg, ami két jól elkülöníthető részből áll. A legkülső 0,5-1,5 cm széles sáv világosabb sárgásszürke színű, ezen belül pedig egy 2-4 cm-es sötétebb, barnásszürke árnyalatú rész figyelhető meg.



38. ábra A márvány legnagyobb darabja DVTM-01, Dunavarsány



39. ábra A márvány, vágott felülete és a friss törési felszín a mállási kéreggel DVTM-03, DVTM-01, Dunavarsány

A klinohumitos márvány mikroszkópos leírása

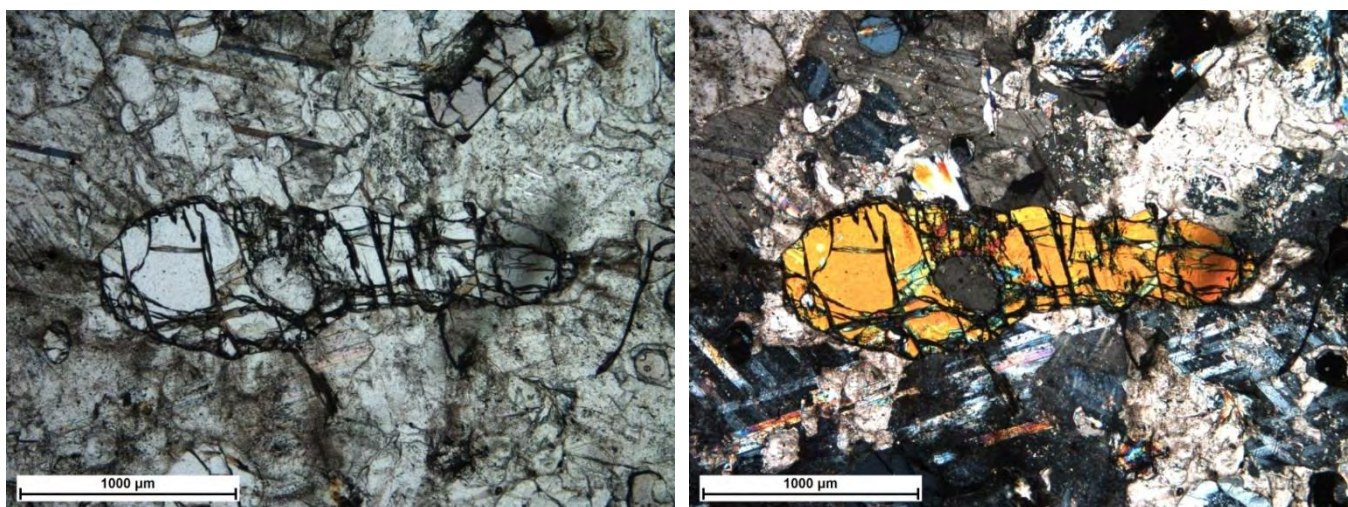
A dunavarsányi márványból 1 fedett és 4 polírozott csiszolat készült. A polírozott csiszolatok közül a DVTM-0322-es jelzésű Raman- spektroszkópiával azonosítottuk a klinohumitot (spektrumot lsd. a melléklet 2. diagramjában). Az általunk alkalmazott vizsgálati módszerekkel nem tudtuk meghatározni, hogy a klinohumit szemcsék OH-, vagy F-tartalmúak, ezért az általános klinohumit terminust alkalmazzuk.

A makroszkóposan is elkülöníthető területekről készített csiszolatokat polarizációs mikroszkópban vizsgáltuk és ez alapján a kőzet megjelenése a következő:

A kőzet 2 jól elkülöníthető részre osztható. Az egyik rész (1) a makroszkóposan is megfigyelt zöldes árnyalatú területet képviseli, míg a másik rész (2) azokat a helyeket, ahol túlnyomó részt a karbonát ásványok voltak makroszkóposan megfigyelhetők. Az (1) területeken nagyobb a szilikát ásványok aránya, mint a (2) területeken.

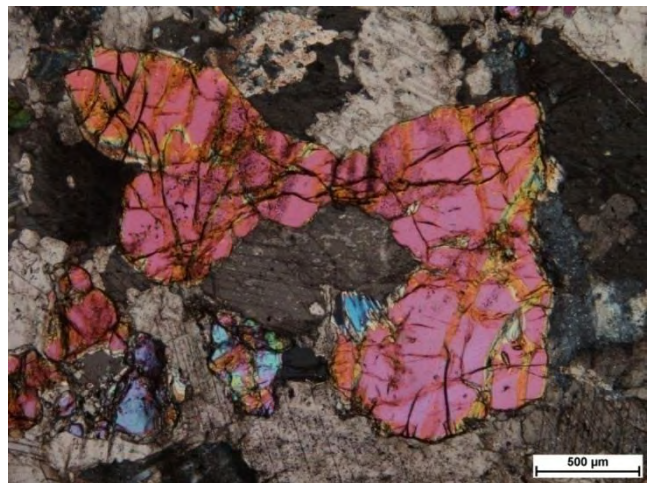
Az (1) területeken a kőzet legjelentősebb részét, nagyjából 50%-ot a kalcit és dolomit szemcsék teszik ki. Ezek 0,2- 5 mm közötti méretben figyelhetőek meg. A szemcsék széle nem egyenes, hullámos, helyenként fogacsolt.

A második leggyakoribb ásvány az olivin, amely 0,2-2 mm-es szemcsék formájában jelenik meg a kőzetben. Ezek xenomorf kristályok, önálló kristálylapokkal nem rendelkeznek, töredezetek- repedezettek, helyenként serpentinisedés megfigyelhető. Az olivin nagyjából az (1) területek 20%-át teszi ki.

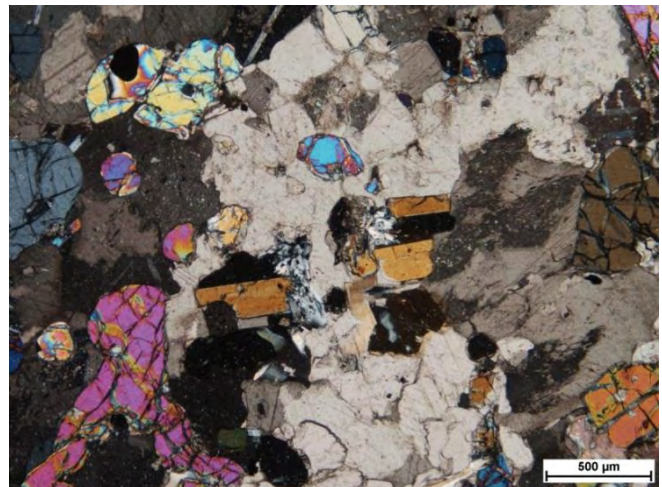
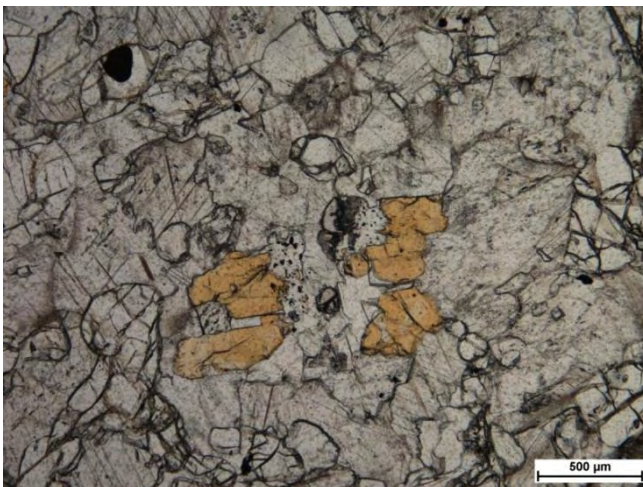


40. ábra Olivin 1N és +N, DVTM-0322, Dunavarsány

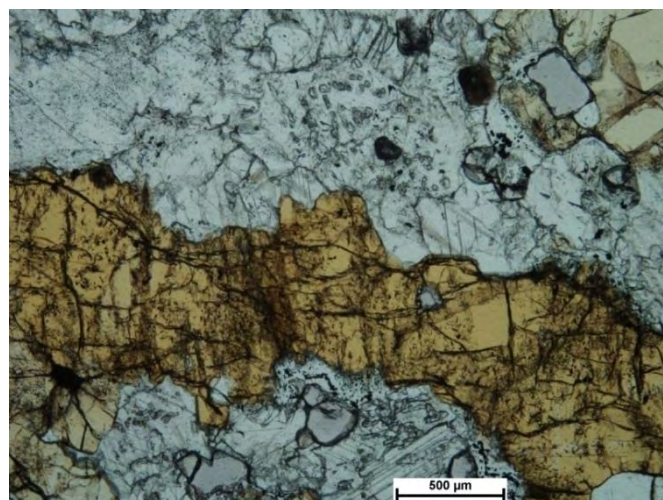
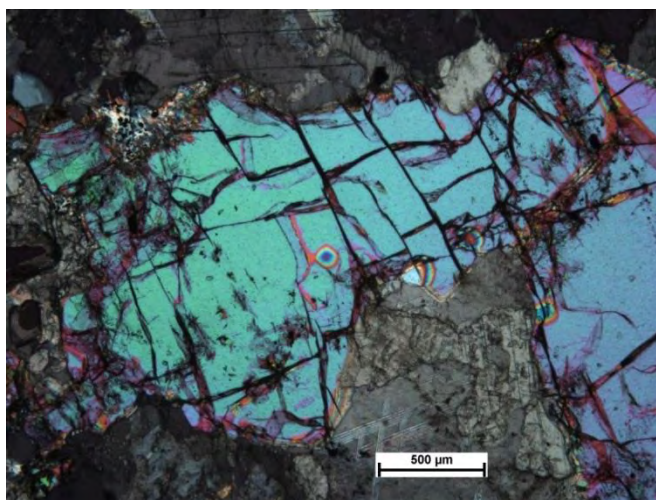
Nagyjából 10%-ban jelenik meg a kőzet (1) területein a klinohumit, amely 0,1-7 mm közötti szemcsék formájában figyelhető meg. Izometrikus, közel izometrikus alakúak, néhány nyúltabb szemcse megfigyelhető. Saját kristálylapokkal nem rendelkező töredezett-repedezett xenomorf szemcsék, a nagyobb méretű kristályokon gyenge hasadás megfigyelhető. Egy nikollal határozott narancssárga pleokroizmus van. Törésmutatója 1,7 körüli, nagyon hasonló az olivinéhez. Keresztezett nikolok közt II.- és III. rendű interferenciaszínek a jellemzőek rá. Néhány szemcsén kettős ikresedés, a DVTM-0324/b csiszolatban egy poliszintetikus klinohumit iker megfigyelhető. Optikai jellege pozitív, azokon a szemcséken, amelyeken a hasadás megfigyelhető volt, azokon főzóna jelleget is lehetett mérni, ami szintén pozitív. A DVTM-0322 csiszolatban az egyik klinohumit szemcsében 4 interferenciaszín gyűrű figyelhető meg, az egyik közepén pásztázó elektronmikroszkóppal sikerült kimutatni egy urán tartalmú ásványt.



41. ábra Klinohumit 1N és +N, DVTM-0324, Dunavarsány

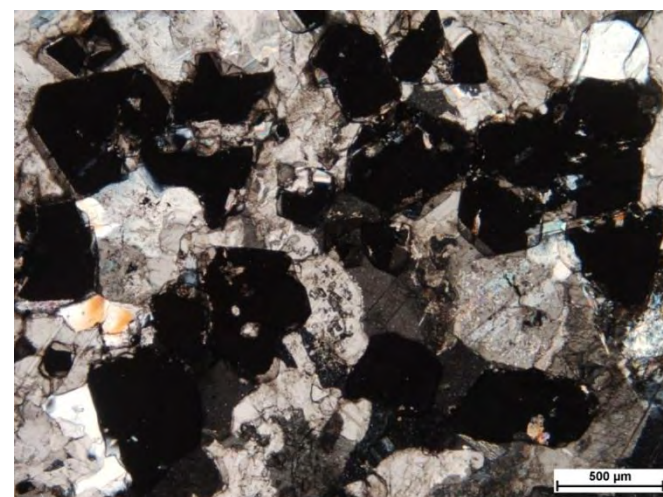
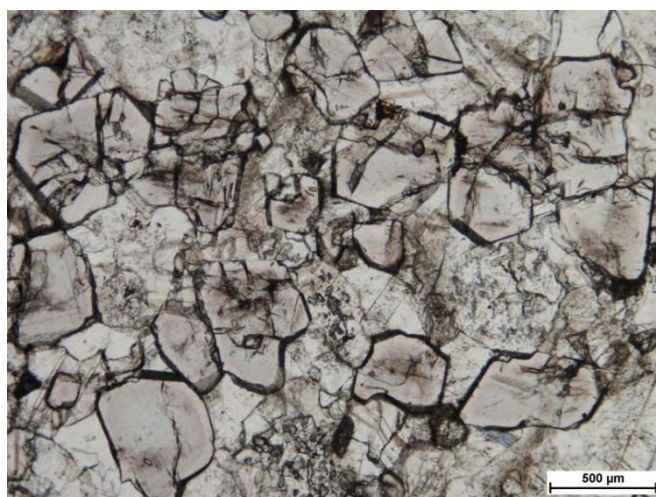


42. ábra Klinohumit szemcsék 1N és +N, a poliszintetikus ikresedés jól megfigyelhető, DVTM-0324/b, Dunavarsány



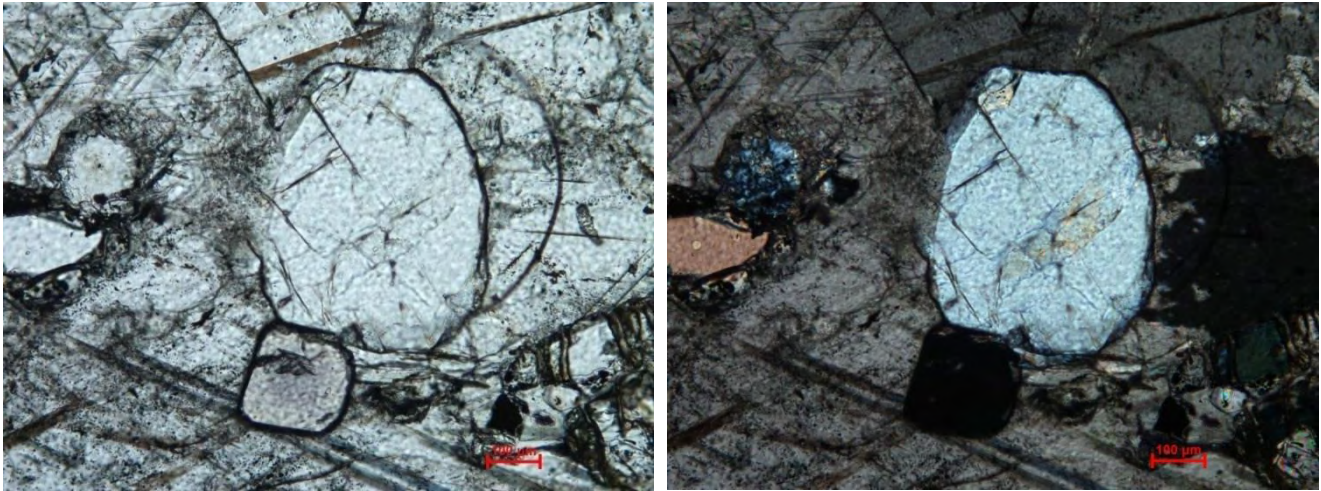
43. ábra Interferencia gyűrűk klinohumitban és egy nagy nyúlt szemcse, DVTM-0322, Dunavarsány

Az (1) részek nagyjából 5-10%-át teszik ki a színtelen, izotróp spinellek, amelyek idiomorf-hipidiomorf megjelenésűek. A spinellek gyakran összetapadva csomókat képeznek a kőzetben, lokálisan a látómező 50%-át is kitehetik. A spinell kristályok mérete 0,2-1 mm között változik, gyakran tartalmaznak zárványokat, legtöbbször karbonát szemcséket.



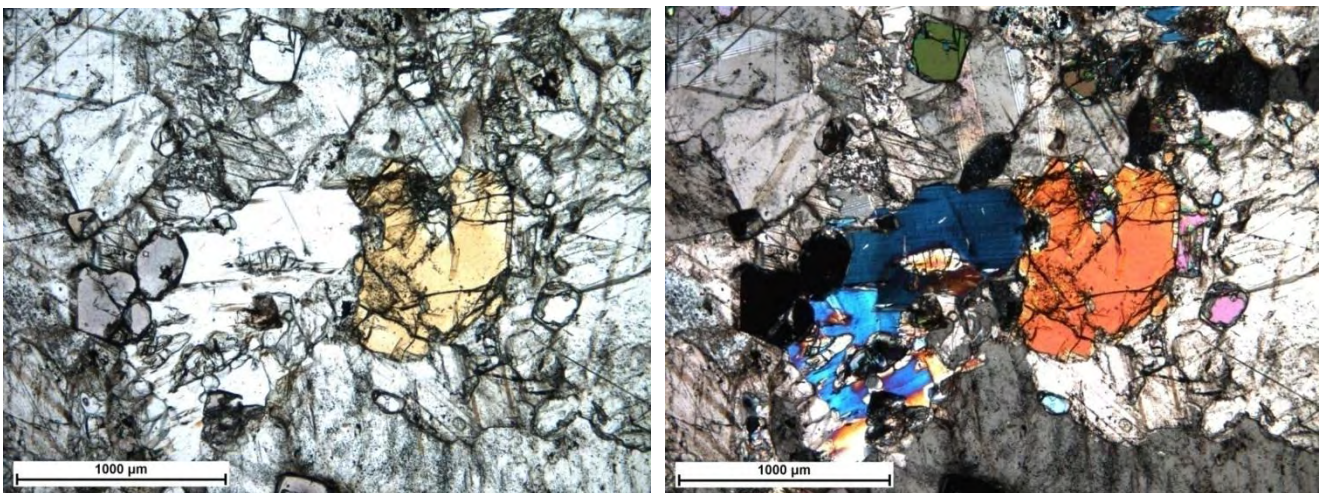
44. ábra Spinellek egy helyre koncentrálódva 1N és +N, DVTM-0324, Dunavarsány

Szintén 5-10%-ban jelenik meg az (1) területeken az apatit, amely izometrikus, kerekded 0,2-0,7 mm-es szemcsék formájában figyelhető meg. Nem ritka, hogy az apatit szemcsék olivinben, vagy kilnohumitban zárványt képeznek.



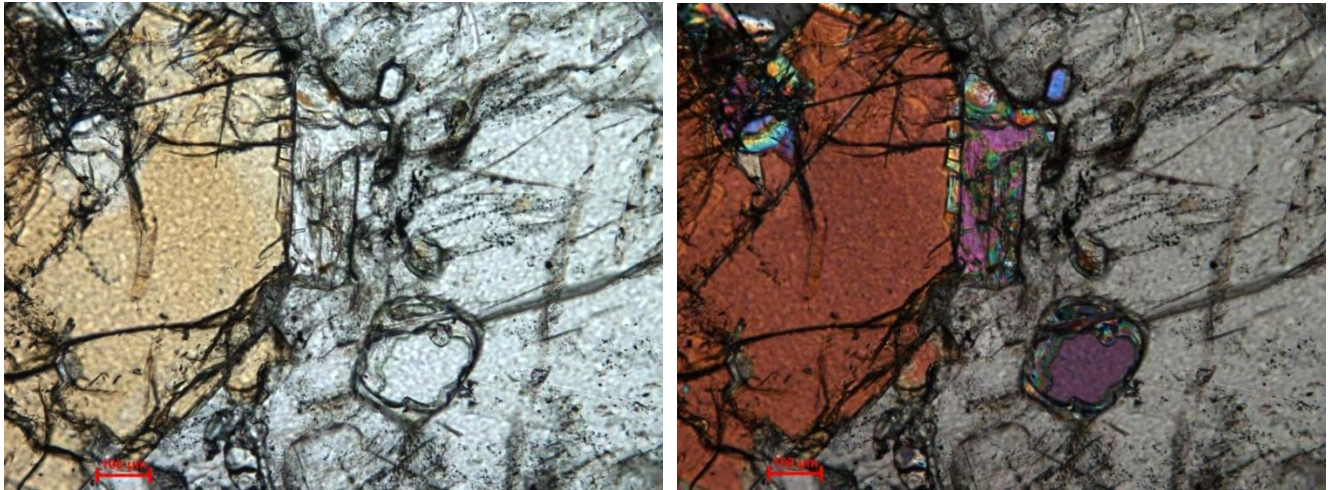
45. ábra Apatit és spinell 1N és +N, DVTM-0321, Dunavarsány

Körülbelül 5%-ban jelennek meg az (1) területeken az erősen hasadozott, nyúlt, színtelen klorit szemcsék, amelyek keresztezett nikolok közt I. sárga-kék interferenciaszínekkel figyelhetők meg. A klorit gyakran jelenik meg, mint a klinohumit átalakulási terméke.

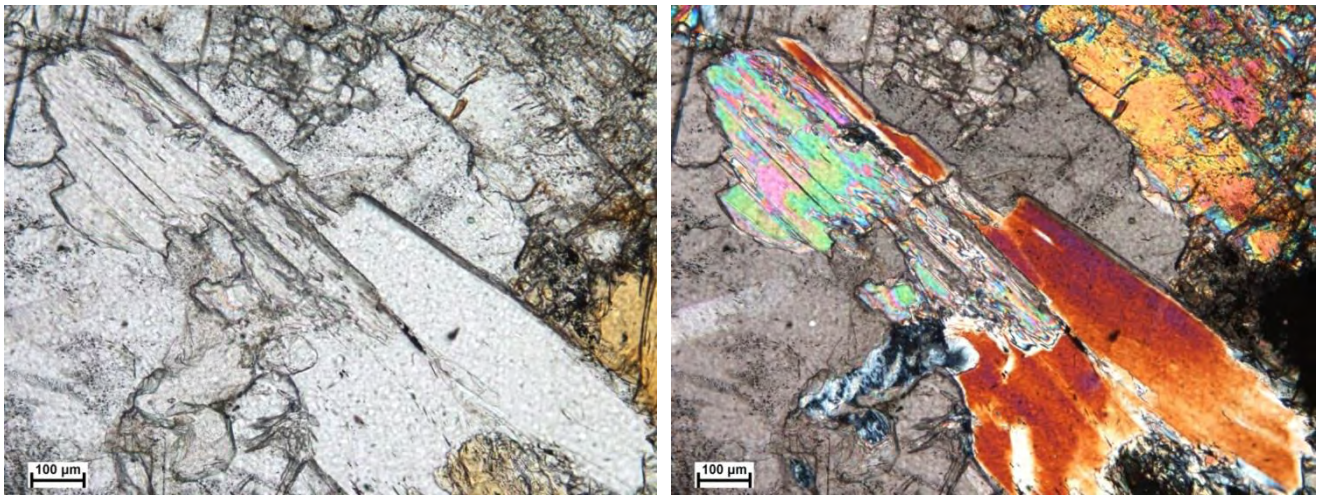


46. ábra Klorit, klinohumit és spinell 1N és +N, DVTM-0322, Dunavarsány

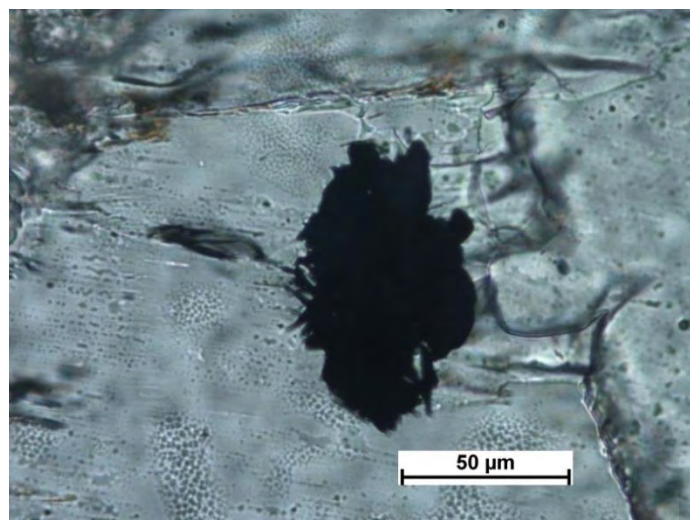
Elszórtan a csiszolatokban megfigyelhető 1-2 színtelen amfibol szemcse. A DVTM-0324 csiszolatban egy flogopit klorittá alakulása és a DVTM-0322 csiszolatban valószínűsíthetően grafit figyelhető meg.



47. ábra Tremolit klinohumit mellett 1N és +N, DVTM-0322,



48. ábra Flogopit és klorit 1N és +N, DVTM-0324, Dunavarsány



49. ábra Grafit 1N, DVTM-0322, Dunavarsány

A (2) területeken az ásványtársulás megegyezik az (1) területek ásványaival, de nagyobb arányban jelennek meg a karbonát ásványok és kisebb arányban a szilikát ásványok. A (2) területek általános képe a következő:

70% kalcit és dolomit, 15% olivin, 5% klinohumit, 3% spinell, 3% apatit, 3% klorit és 1% alatt jelenik meg az amfibol és a flogopit.

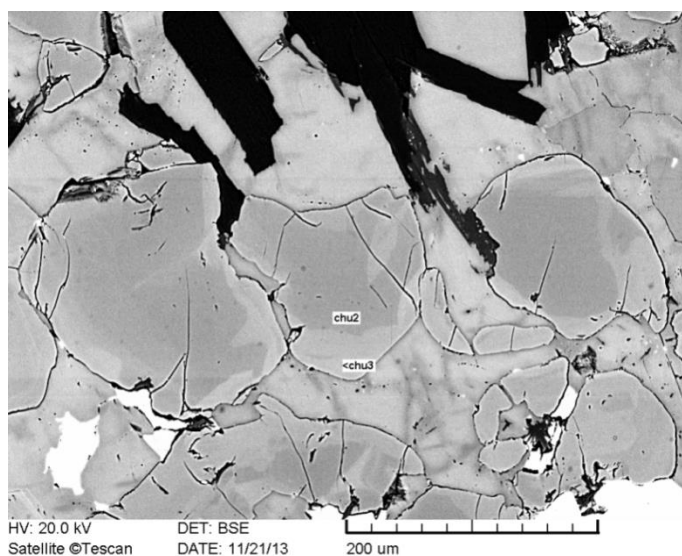
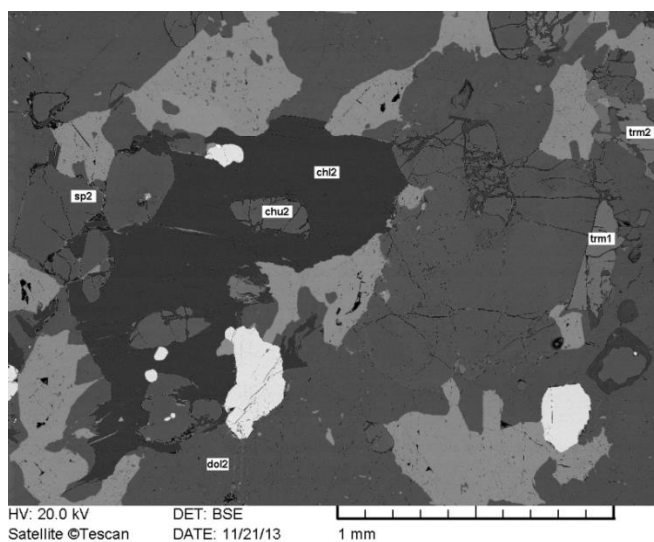
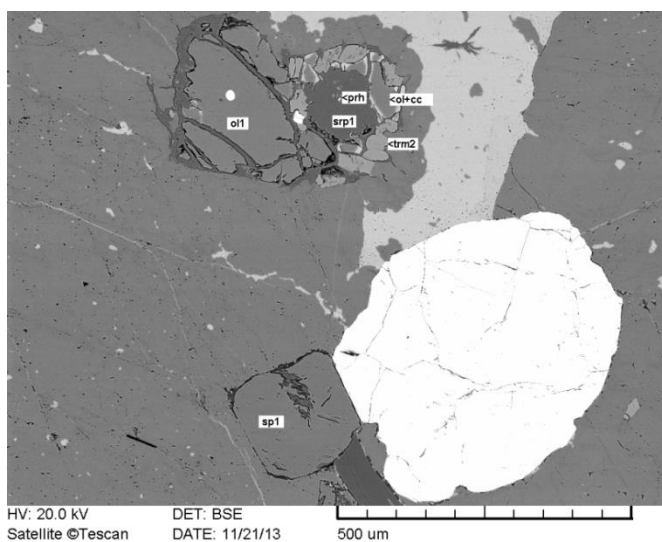
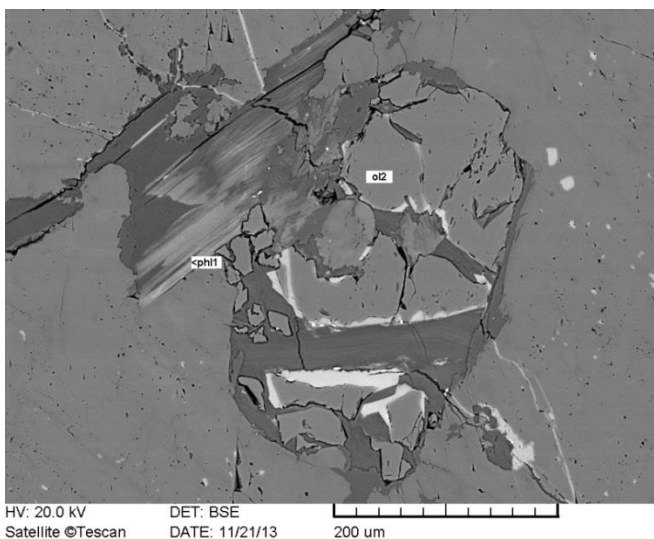
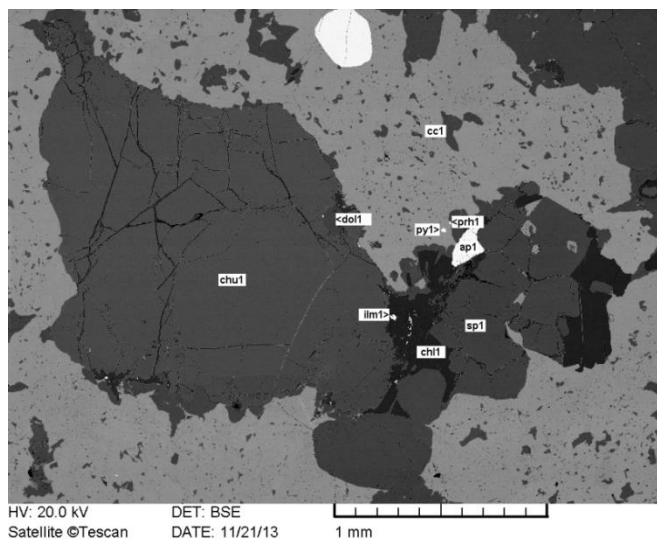
1. táblázat A dunavarsányi márványból készült csiszolatok ásványos összetétele a polarizációs mikroszkópi vizsgálatok alapján

Csiszolat Ásvány	DVTM-0321	DVTM-0322	DVTM-0323	DVTM-0324	DVTM-0324/b
Kalcit, Dolomit	70%	40-45%	60%	55-60%	40-45%
Olivin	15%	25%	20%	15%	30%
Klinohumit	5%	15%	10%	10%	15%
Spinell	3%	5-10%	5%	10%	5%
Apatit	3%	5%	3%	5%	5%
Klorit	3%	2%	2%	5%	3%
Amfibol	<1%	<1%	-	-	-
Flogopit	-	-	-	1 szemcse	-

A klinohumitos márvány pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálata

A dunavarsányi klinohumitos márványtömbből készített polírozott csiszolatok közül kettőn (DVTM-0321, DVTM-0322) Pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálatot hajtottunk végre az ELTE TTK Kőzettani és Geokémiai tanszékén.

A vizsgálatok során lefotóztuk és kimértük a polarizációs mikroszkóppal is megfigyelt kalcitot, dolomitot, olivint, klinohumitot, spinellt, apatitot, kloritot, amfibolt, flogopitot és szerpentint és mindemellett ilmenitet, pirrotint és piritet is sikerült kimutatni, továbbá a DVTM-0322 csiszolatban egy ritkaföldfémekben gazdag és egy Zr-Ti-U tartalmú ásványt találtunk (spektrumokat lsd. a melléklet 4. és 5. diagramjában). A klinohumit szemcsékben zónásság figyelhető meg, a magban alacsonyabb a titán és magasabb a magnézium tartalom, míg a peremeken a titán tartalom magasabb és a magnézium tartalom alacsonyabb.



Mérési pont Oxid	Chu 2	Chu 3
SiO ₂	38,08	38,02
TiO ₂	1,21	2,05
FeO	1,92	2,33
MgO	54,79	53,40
Total	96	96

50. ábra Minden kimutatott ásvány és a klinohumit zónássága mikroszondás képen és a zónák ásványkémiai összetétele (2. táblázat), DVTM-0321, DVTM-0322, Dunavarsány

Az ausztriai minták makroszkópos, polarizációs mikroszkópos és pásztázó elektronmikroszkópos leírása

Az ausztriai Loja kőbányában nagyon változatos kőzetanyag fogadott minket. Az amfiboliton és látiton kívül a márványnak sok változatát találtuk és a potenciálisan klinohumit tartalmú kőzetekből mintavételezés után fedett vékonycsiszolatot készítettünk.



51. ábra Loja bánya, Ausztria (fotó: Spránitz Tamás, 2013)

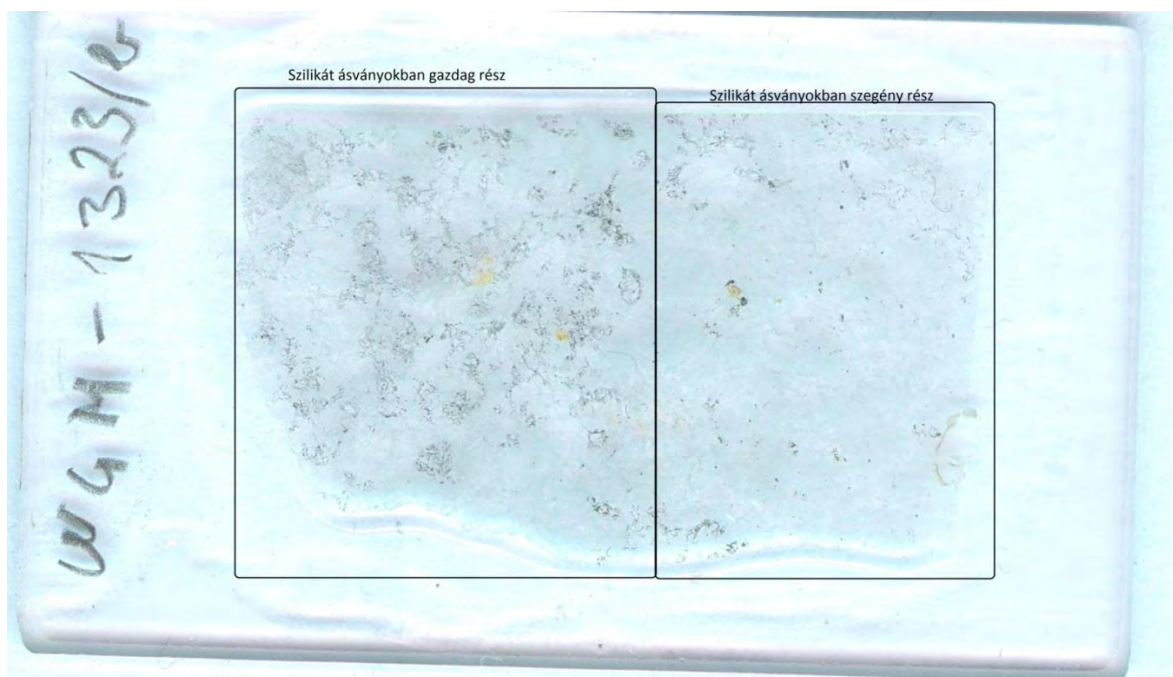
Makroszkóposan nagyon hasonló megjelenésű a dunavarsányi márványhoz. Sötétebb és világosabb foltok figyelhetők meg a kőzetben, amelyeknek maximálisan 5mm szemcseméretű kalcit és dolomit szemcsék az alapanyaga és ebben apró, 1mm-es narancssárga-vöröses narancssárga ásványok figyelhetők meg.



52. ábra A WGM-1324 minta (A vonalzon egy beosztás 1 cm-t jelöl), Loja, Ausztria

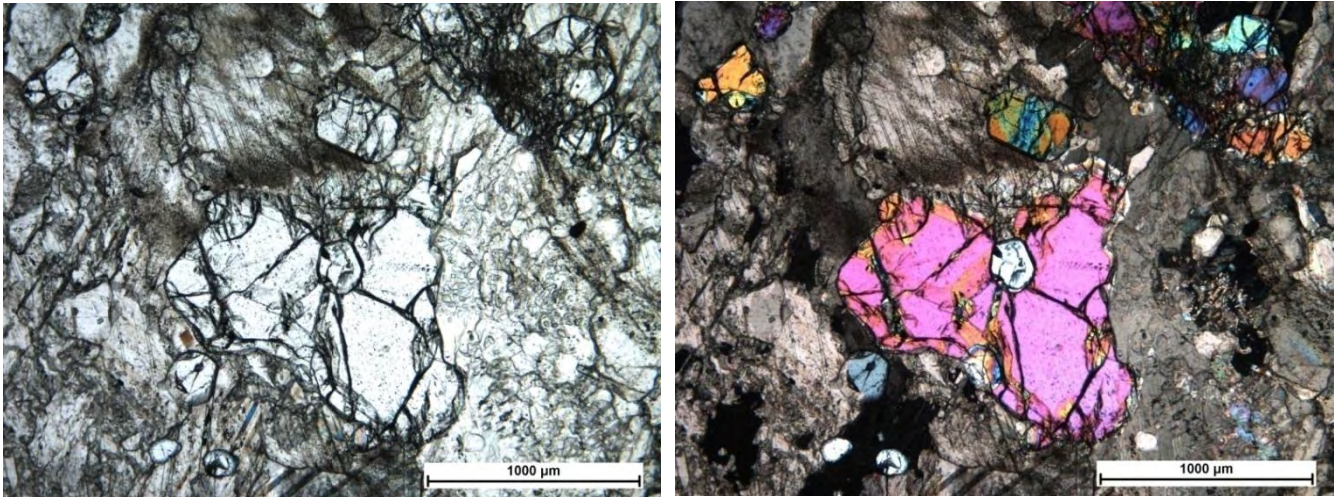
Az elkészült csiszolatok polarizációs mikroszkópi vizsgálata során a WGM-1323 és a WGM-1324 számú mintában sikerült kimutatni a dunavarsányi kőzettel megegyező ásványtársulást. Ebből a két mintából fedett és polírozott csiszolat is készült. A kőzet ásványos összetétele a következő:

60-70%-ban figyelhető meg a kőzetben a maximálisan 5mm szemcseátmérőjű kalcit és dolomit. Mind a 2 mintából készített csiszolatban elkülöníthető egy karbonát ásványokban gazdag rész, ahol maximum 10%-ban figyelhetőek meg szilikát szemcsék és egy szilikát ásványokban gazdag rész, ahol azok részaránya az 50%-ot is meghaladja.



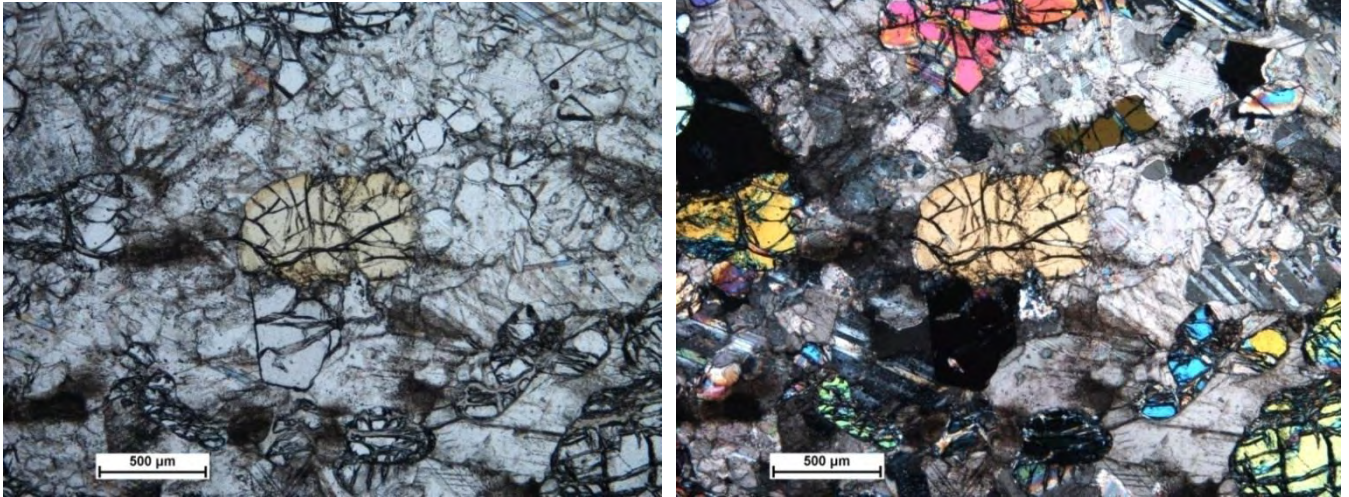
53. ábra A WGM-13-23/b csiszolat szkennelt képe, Loja, Ausztria

A kőzet 15-20%-át az olivin teszi ki, amely helyenként szerpentinisedő, izometrikus, xenomorf szemcsék formájában figyelhető meg. Az olivin szemcsék maximális mérete 2 mm.



54. ábra Olivin és apatit 1N és +N, WGM-1323/b, Loja, Ausztria

Nagyjából 5%-ban figyelhetőek meg az izometrikus, xenomorf klinohumit szemcsék, amelyek 1mm-nél nem nagyobbak.

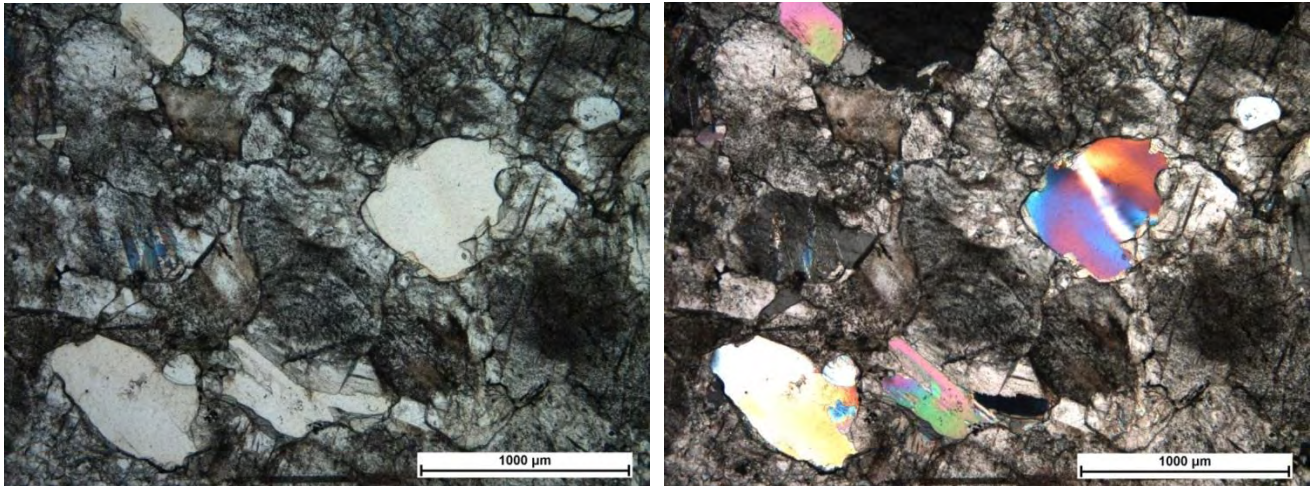


55. ábra Klinohumit és spinell 1N és +N, WGM-1324/b, Loja, Ausztria

5%-ban figyelhetőek meg izometrikus, kerekded apatit szemcsék, amelyek gyakran zárványt képeznek olivinben és klinohumitban. Maximum 1 mm szemcseátmérőjük az apatit szemcsék.

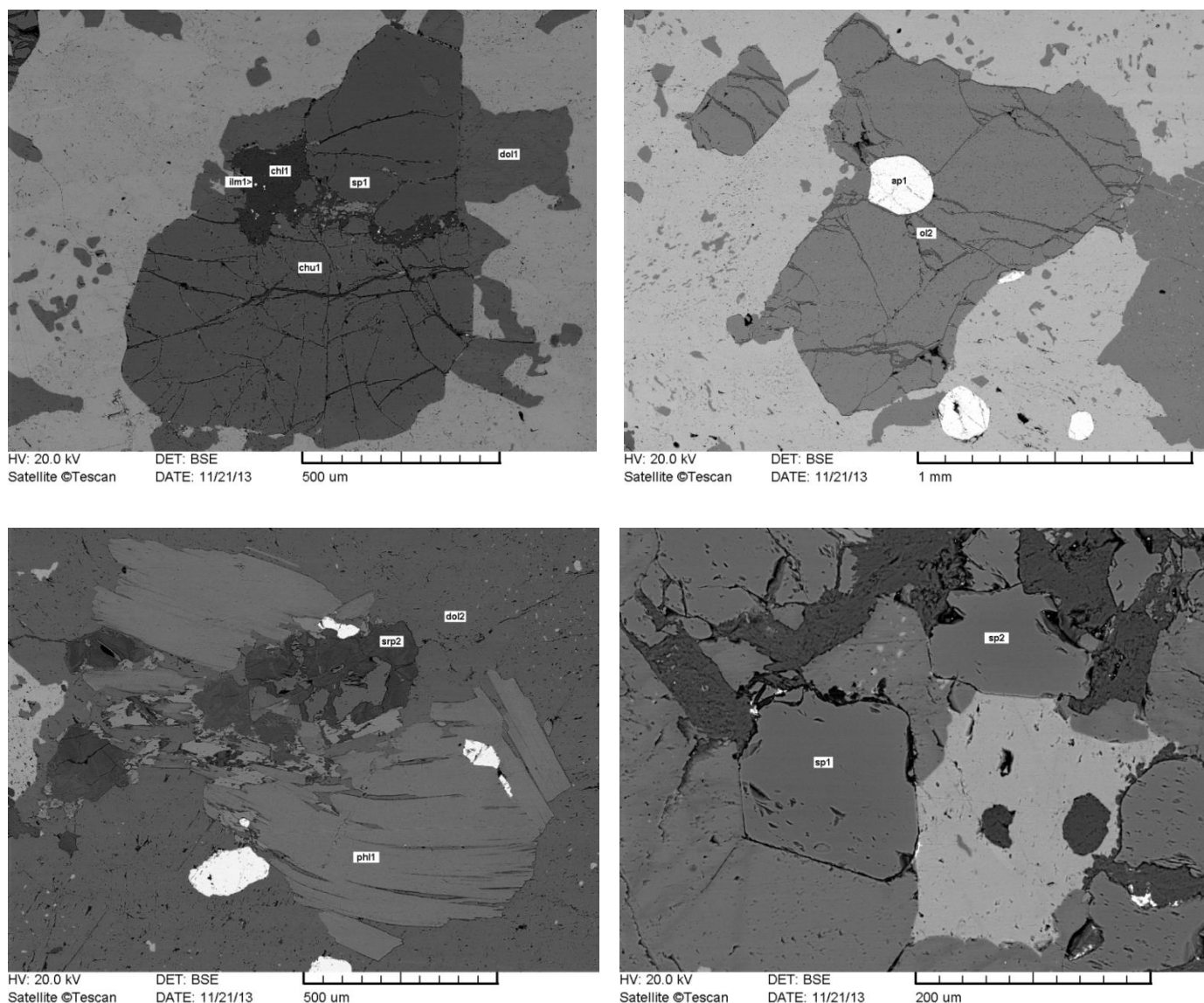
2-3%-ban flogopitot tartalmaz a kőzet és csiszolatonként maximálisan 10 spinell szemcsét, amelyek idiomorf-hipidiomorf kifejlődésűek és gyakran tartalmaznak zárványokat. A spinell szemcsék mérete maximálisan 1 mm. (Isd. 56. ábra)

A WGM-1323/b és a WGM-1324/b csiszolatokon pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatot hajtottunk végre. Sikerült kimutatni azokat a főbb ásványokat, amelyek a dunavarsányi mintában is megtalálhatóak: dolomit, kalcit, olivin, klinohumit, spinell, apatit, klorit, szerpentin, flogopit, amfibol és az ilmenit.



56. ábra Flogopit 1N és +N, WGM-1323/b, Loja, Ausztria

A klinohumitokban a dunavarsányival megegyező zónásság figyelhető meg, továbbá ezekben a mintákban az két féle amfibolt sikerült megkülönböztetni, egy szinte tökéletesen tiszta tremolit összetételűt és egy nátriumban gazdagabb változatot.



57. ábra Az ausztriai kőzet mikroszondás megjelenése, WGM-1323/b, WGM-1324/b, Loja, Ausztria

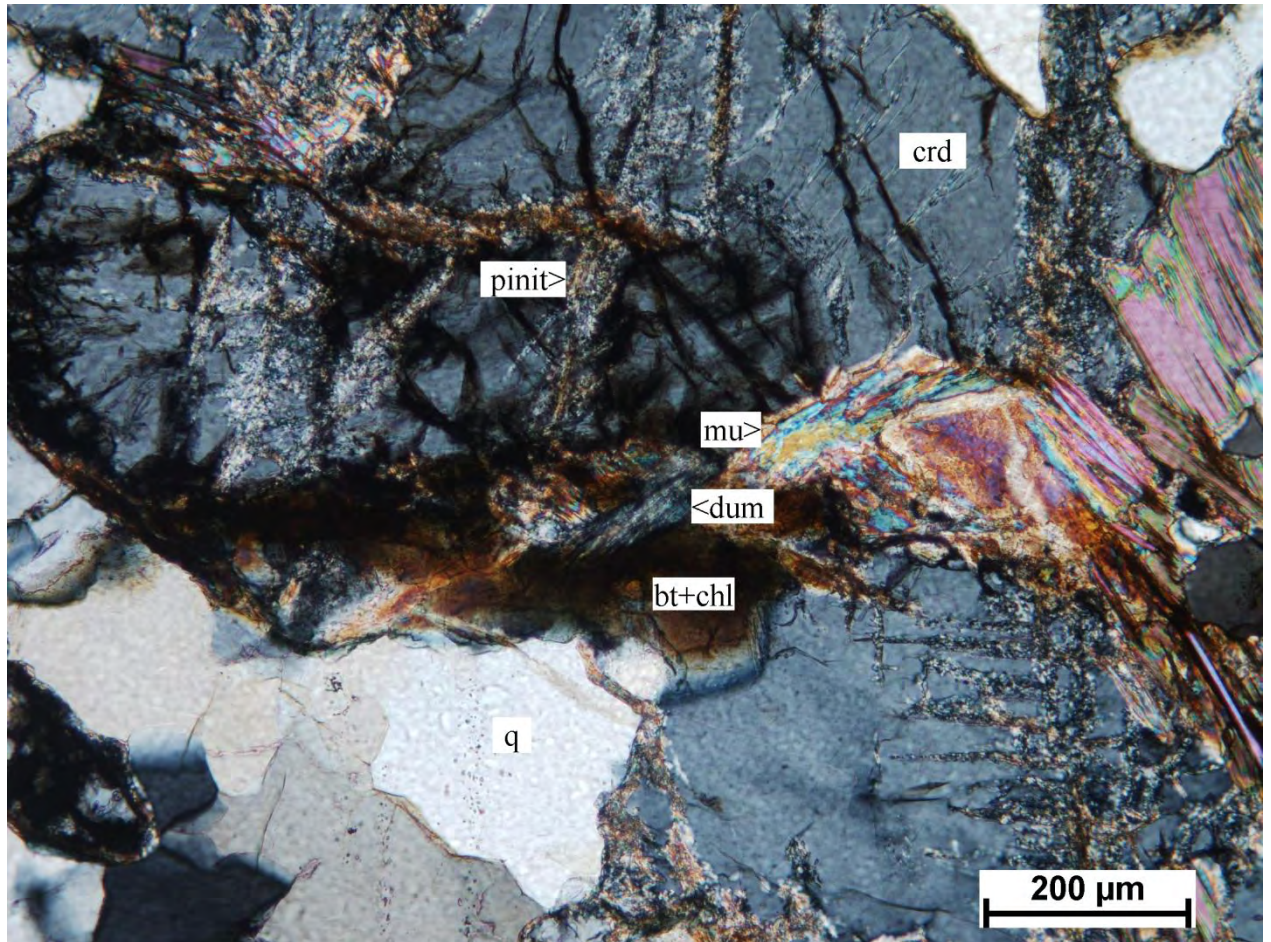
7. Az eredmények értékelése, következtetések

a) *A dumortierit tartalmú gneiszek összefoglalója*

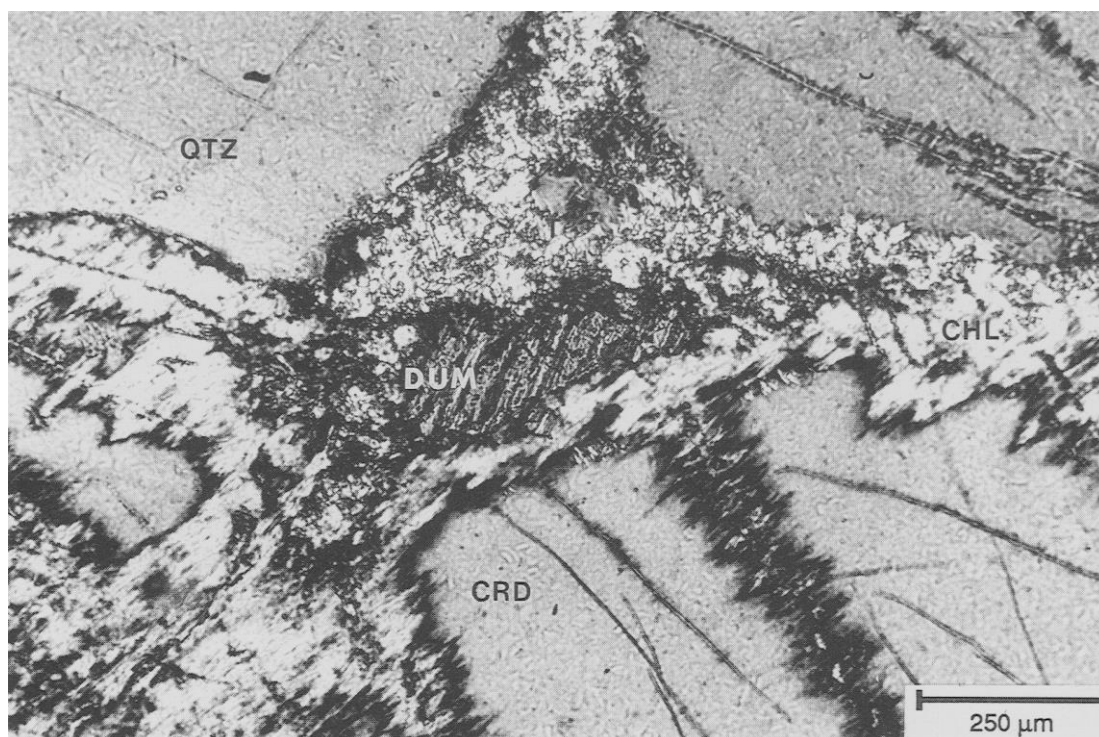
A dumortierit megjelenése bizonyos esetben a cordieritekhez kötődik (lsd. fentebb a DVT-853-as kőzet leírásánál), a szemcsék mentén, a mállástermékeinek a társaságában jelentkezik. Ez a jelenség nem egyedülálló.

A dunavarsányi DVT-853-as jelű gneiszben megfigyelhető dumortierit kísérteties hasonlóságot mutat egyes skandináv metamorf kőzetek dumortieritjével. A dél-norvégiai Bamble Szektor középső részén felső amfibolit fáciesű dumortierit tartalmú cordierit-

ortoamfibol kőzetek fordulnak elő vékony rétegek és lencsék formájában. A dumortierit egyik típusa a cordierit átalakulási termékeivel együtt fordul elő. Itt közvetlen kísérő ásványai a klorit, muszkovit és a kvarc (VISSER-SENIOR, 1991). A cordieritekben kianit és andaluzit szemcsék, valamint a dumortierit retrográd reakciótermékként, vagy azok kíséretében jelenik meg. Ezt az ásványtársulást létrehozó folyamat becsült P-T körülményei 3-4 kbar és 500-550°C (VISSER-SENIOR, 1991).



58. ábra A DVT-853-as dunavarsányi gneisz dumortieritje a cordieritek átalakulási termékeinek társaságában (+N)



59. ábra Dumortierit a cordierit átalakulási termékei között a dél-norvégiai Bamble Szektor metamorf kőzetéből (VISSER-SENIOR, 2001) +N

Ahogy a 6. pontnál részletesen ismertettük, az ausztriai Ebersdorf melletti bányában dumortierit tartalmú kőzetet találtunk. Annak ellenére, hogy a terepi bejárás alkalmával begyűjtött kőzetmintákból készített 13 db vékonycsiszolat vizsgálatakor nem talákoztunk sem cordierittel, sem andaluzittal, sem turmalinnal a feltárás ásványairól készített internetes adatbázisban (www.mindat.org), valamint HLAWATSCH (1911) cikkében mindhárom ásvány határozottan szerepel. KÖHLER (1932) azonban L. Waldmann társaságában tett számos terepbejárása alkalmával sem talált az ebersdorfi Gföhl gneiszben dumortieritet, valamint a bányában feltárt kőzetanyag rendkívüli változatosságáról, a pegmatitos erek különleges ásványtársulásairól is nyilatkozik. Terepi és mikroszkópi megfigyeléseink is megerősítik azt a tényt, hogy a litológiailag elkülönített Gföhl gneiszben kis területen vizsgálva is jelentős ásványos összetételbeli különbségek jelentkezhetnek.

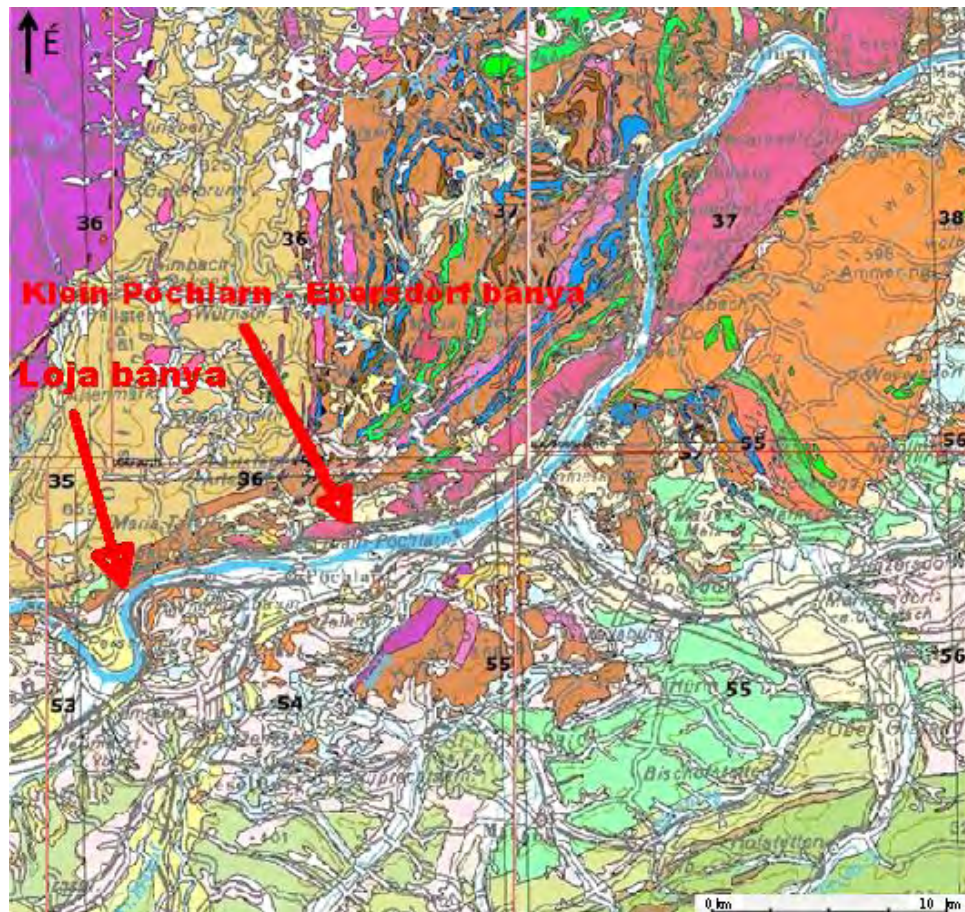
Az említett Klein-Pöchlarn és Ebersdorf közötti bánya a Duna völgyében található, közvetlenül a folyó mentén helyezkedik el.

A Dunához való közelségéből adódóan a folyó eróziós tevékenysége itt számottevő (és számottevő lehetett a pleisztocén folyamán). Terepi bejárásunk során megfigyeltük, valamint a földtani térképen is jól látható, hogy a Gföhl gneisz Klein-Pöchlarnától egészen

Krems városáig húzódik, a Dunát egyik-másik oldalról jóformán folyamatosan, közvetlenül szegélyezi. Aggsbachnál és Kremstől Ny-ra a formációt át is töri, de ezt felszíni feltárásokban nem tudtuk sajnos tanulmányozni. A legkedvezőbb feltártsággal rendelkező előfordulásnak a Klein-Pöchlarn és Ebersdorf közötti bánya bizonyult.



60. ábra A Klein-Pöchlarn és Ebersdorf közötti bánya (Ausztria) a Google Earth felvételén



61. ábra A földtani térképen a -színnel (lilásrózsaszín) jelölt terület jelzi a Gföhl gneisz elterjedését (Ausztria). A nyilak a mintagyűjtési helyül szolgáló bányákat jelzik. (<http://geomap.geolba.ac.at/StartWM.cfm>)

b) *A klinohumit tartalmú márvány összefoglalója*

Az általunk vizsgált klinohumitos márvány vizsgálati eredményeit összevetettük az Ausztriából, Loja kőbányából származó minták eredményeivel és elég nagyfokú egyezőséget találtunk. A két kőzet makroszkópos és mikroszkópos megjelenése is nagyon hasonló. Mind a két kőzetben elkülöníthetők olyan részek, ahol dúsulnak a szilikát ásványok, amelyek elsősorban olivin, klinohumit, spinell, klorit, flogopit, amfibol. Az ásványok megjelenése a két kőzetben megegyezik és az egymáshoz viszonyított arányukban sincs nagy eltérés:

3. táblázat A dunavarsányi (DVTM) és az ausztriai -Loja (WGM) minták ásványos összetétele.

Ásvány \ Kőzet jelzése	DVTM	WGM
kalcit, dolomit	45-70%	50-90%
olivin	15-30%	15-20%
klinohumit	5-15%	~5%
spinell	3-10%	2-3%
apatit	3-5%	~5%
klorit	2-5%	1-2%
flogopit	<1%	2-3%
amfibol	<1%	<1%

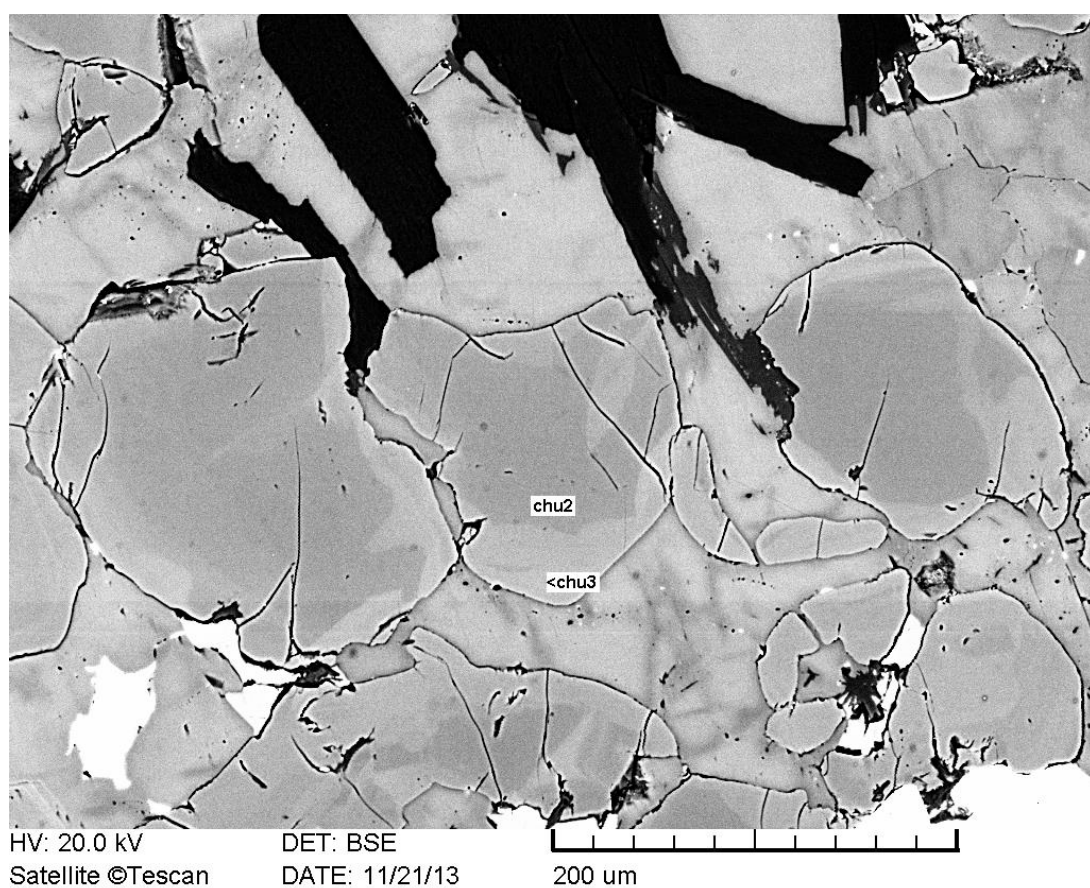
A klinohumit mind a két esetben ott jelenik meg nagyobb arányban, ahol a többi szilikát ásvány is dúsul.

Mikroszondás vizsgálatok során sikerült mind a két mintában ezeken az ásványokon kívül ilmenitet és szerpentint is. A dunavarsányi kőzetben ezeken felül grafitot, pirrhotint, piritet, egy TiZrU ásványt és egy ritkaföldfémekben dús ásványt találtunk. Az osztrák mintában ezek nem figyelhetőek meg, viszont grafitot, pirrhotint és piritet leírtak a Loja kőbányából is (LÖFFEL & KOLITSCH 2011).

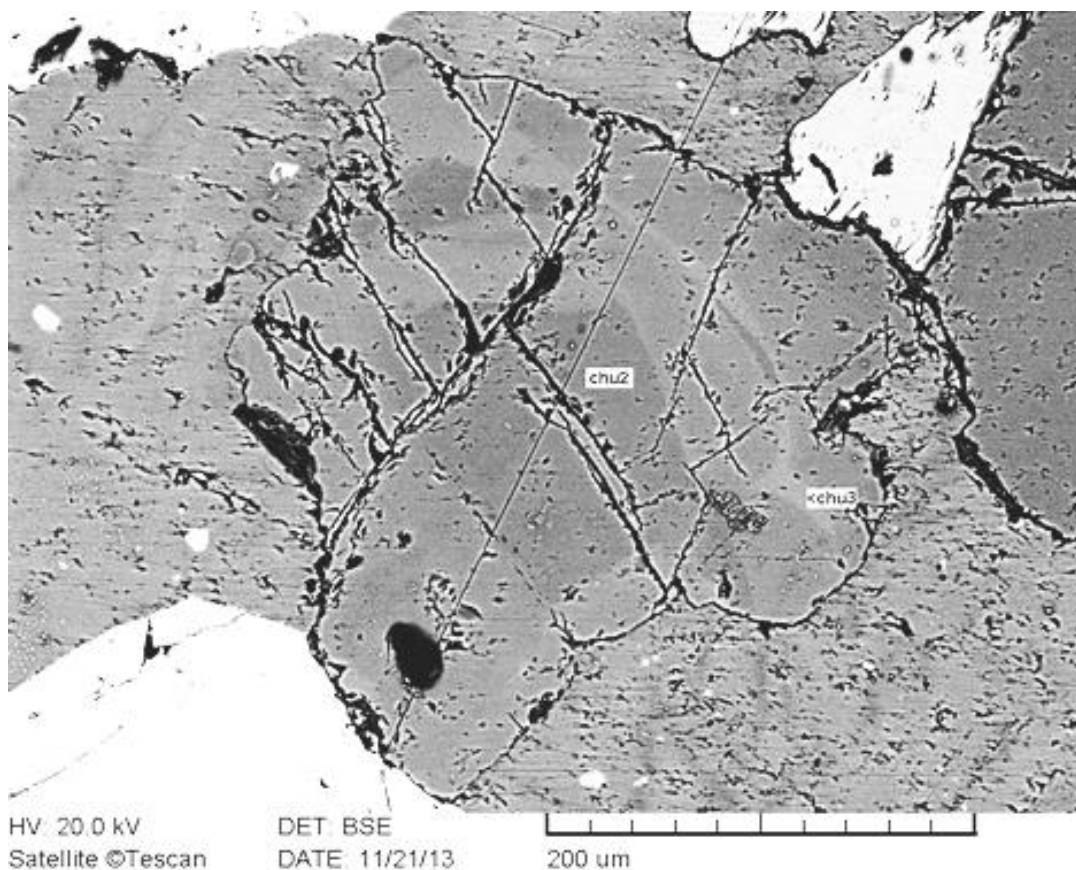
Mind a két lelőhely kőzeteiből származó klinohumitokon zónásság figyelhető meg. A szemcsék peremé Ti dúsulás figyelhető meg a maghoz képest.

4. táblázat A klinohumit dunavarsányi (DVTM) és az ausztriai -Loja (WGM) minták klinohumitjainak oxidos összetétele a magban és a peremen tömegszázalékban megadva.

Mérési pont Oxid	DVTM mag	DVTM perem	WGM mag 1	WGM perem 1	WGM mag 2	WGM perem 2
SiO ₂	38,08	38,02	35,56	35,35	35,75	34,88
TiO ₂	1,21	2,05	1,15	2,56	0,59	2,63
FeO	1,92	2,33	1,63	1,68	1,51	1,64
MgO	54,79	53,40	57,31	56,29	57,96	56,58
TOTAL	96	96	96	96	96	96



62. ábra A klinohumitok zónássága DVTM-0321, Dunavarsány



63. ábra A klinohumitok zónássága WGM-1324/b, Loja, Ausztria

A mikroszkópos egyezőségen és a klinohumitok ásványkémiai összetételén és zónásságán kívül (lsd. 3. táblázat) az olivinek, spinellek, ilmenitek és kloritok összetételében szinte tökéletes egyezés mutatható ki a dunavarsányi és az ausztriai minták között, míg a többi ásványnál szintén nagyfokú hasonlóság figyelhető meg (lsd. melléklet 2-8. táblázat).

Az ásványos és a kémiai összetételbeli hasonlóság miatt elég nagy bizonyossággal kijelenthető, hogy a Dunavarsányban megtalált klinohumitos márványtömb forrásterülete az ausztriai Wachau térsége, azon belül a márvány a Színes- sorozathoz (Bunten Serie) tartozik, amelyet a Loja kőbányában is feltárnak. A bánya kevesebb, mint egy km-re található a Duna medrétől, amely következtében valószínűsíthető, hogy onnan pusztult le a kőzet.

c) Összegzés, konklúzió

A dunavarsányi pleisztocén kavicsösszletből kiemelt két gneisz és egy dolomitós márvány petrográfiai vizsgálatával és forrásterületük meghatározásával foglalkoztunk. A kőzetekben előforduló ritka, karakteres ásványok (dumortierit és klinohumit) vizsgálatának

segítségével igyekeztünk a minták legközelebbi lehetséges származási helyét megadni. Szakirodalmi és terepi vizsgálataink alapján az ausztriai Waldviertel (Wachau) térsége bizonyult a legvalószínűbb lepusztulási területnek. A Loja, valamint a Klein-Pöchlarn és Ebersdorf közötti bányák által feltárt kőzetanyagban a dunavarsányi mintáinkban is előforduló dumortieritet és klinohumitot mutattunk ki. Beláthatjuk, hogy ezek a Duna jelenlegi medréhez közel eső területek jó eséllyel szolgálhattak magyarországi mintáink forrásterületül.

Felvetődik a kérdés, hogy milyen módon kerültek kőzeteink a dunavarsányi pleisztocén kavicsösszletbe. A 80 cm-es átmérőjű gyengén koptatott, puha márványtömb, valamint az 50x30x20 cm-es gyengén koptatott és a 30x20x10 cm-es jól koptatott gneisz szállításáért, a több mint 300 km-es légvonalbeli távolságot figyelembe véve, nem lehet csak a klasszikus folyóvízi szállítás a felelős.

A rövid folyóvízi szállítás alkalmával kevésbé, a hosszabb szállításhoz pedig erőteljesebb a kőzetek kerekítettsége, koptatottsága (KRUMBEIN, 1941). A durva kavics, hömpöly mérettartományt meghaladó anyag mozgatásához szükséges óriási vízsebesség esetén alapvetően magasabb fokú a kőzetek gömbölyöttsége, koptatottsága. Az esetünkben kimutatott szállítási távolság esetén a vizsgált hordalék megmunkáltsága, a fentiek szerint kiváló, magas fokú kellene, hogy legyen, de az általunk vizsgált hömpöly és tömbök alaki tulajdonságai nem felelnek meg ennek.

ZSEMLE és mtsi. (2001) a vizsgált granulitok eredetét a Pannon-medence kinyílásakor keletkező alsó-miocén konglomerátum áthalmazódásával magyarázza. SCHAFARZIK és LÓCZY (1914) elmélete szerint a fenékjégben való szállítódás magyarázza a „kőtuskók” származástörténetét.

JÁMBOR (2010) a hatalmas tektonikai zónához való kapcsolatot (KÁZMÉR M. 2005) nem tartja bizonyíthatónak, valamint a morénához, illetve fenékjéghez való kötődésüket teljességgel elveti, viszont a rendkívüli méretű tavaszi áradások szerepét reálisnak tartja.

A fenékjégben való szállítási modell választ adhatna a gyenge koptatottságú, kerekítettségű kőzetek mozgatására. A morénákra az osztályozatlan, koptatatlan üledék a jellemző, azonban a dunavarsányi kavicsanyag nagyban különbözik ettől; jól koptatott és kerekített kavicsok teszik ki az összlet fő tömegét, továbbá az ehhez szükséges feltételek hazánkban nem voltak adottak a pleisztocén folyamán (pl: SÜMEGI, 2001). A Pannon-medencében

uralkodó klíma nem tette lehetővé a magashegységekhez, illetve belföldi jégtakaróhoz kötődő gleccserek kialakulását. Az ez esetben kialakuló típusos geomorfológiai elemek (U-alakú völgyek), karcolt kavicsok hiányoznak.



64. ábra Belföldi jégtakaró maximális kiterjedése (<http://www.feuer-steinzeit.de>)

A ZSEMLE és mtsi. (2001) és KÁZMÉR (2005) által felvetett keletkezési modellt a Dunavarsány környéki nagyméretű tömbök kialakulására (a kevésbé koptatott tömbök a Közép-magyarországi öv mentén lepusztuló gerincek helyi kőzetanyagát képviselik, míg a kisebb, durvakavics frakció alsó-miocén konglomerátum áthalmozódásából származik) elvetjük, mivel más Duna menti kavicsbányákban (pl. Győr környékén) is előkerült a Délegyháza környékén vizsgálttal megegyező kőzetanyag (VÍGH, 2010; JÓZSA-KOVÁCS-SZABÓ-féle adatbázis –ld. fentebb a 6/a pontnál).



65. ábra Példák olyan Duna menti kavicsbányákra, ahonnan nagyobb tömbök kerültek elő (Tom Gonzales, Verlaufskarte der Donau, 2011 nyomán)

HORUSITZKY (1917) és KRIVÁN (1973), valamint MÁTÉ (2005) tanulmányaikban a „fluvio-glaciális”, tehát a közettömbök folyóvízen úszó jégtáblákba fagyott szállítását valószínűsítik leginkább.

Mi is azon az állásponton vagyunk, hogy valószínűleg a pleisztocénben a Duna völgyét szegélyező hegyekből, sziklákról, magasabb topográfiai szintekről leguruló, lehulló, szolifluktáló kőzetdarabok (melyek e tevékenység során/előtt - valamilyen szinten kerekíthettek és koptathattak!), tömbök a folyó jegére kerültek, majd „utaztak” és olvadtak ki a később, a Duna alsóbb területein.



66. ábra A fluvio-glaciális szállításmód aktuálgeológiai bizonyítéka: 1- 1,5 m-es tömbök jégtáblába fagyva a Szt. Lőrinc folyón. (KRIVÁN 1973)

8. Összefoglalás (Abstract)

A pleisztocén kor nagy eljegesedései és a glaciálisok közti időszakok nagy felszínformáló hatást gyakoroltak többek között a Kárpát-Pannon térségre is. A magasabb térszínre jellemző nagymértékű lepusztulás eredményeként kialakuló törmelékanyag a sík területeken rakódott le. A Dél-Pesti-síkság kavicsösszlete ezt a törmelékanyagot képviseli, amelynek eredete, szállítódási módja és iránya, a kavicsstakaró szerkezete a XIX. század vége óta foglalkoztatja a kutatókat. Mindezek megismerése hasznos információkkal szolgál a korabeli folyóhálózatnak, és felszínalakító tevékenységének a megismeréséhez, amiből klimatikus viszonyokra is lehet következtetni. A kavicsösszletben található kőzetek forrásterületének meghatározására a petrográfiai vizsgálatok kitűnően alkalmasak. A ritka, különleges kőzetek pontos származási területe könnyebben lehatárolható. A Dunavarsány-Délegyháza környéki kavicsbányákban ezt a kavicsanyagot bányásszák. Feküjét pannon tavi és mocsári üledéksor képviseli, míg a fedője jól osztályozott holocén eolikus képződményekből áll. Az általunk vizsgált dunavarsányi kavicsanyag a litosztratigráfiailag jól kijelölhető Pestvidéki Kavics Formációhoz (nem hivatalos formáció elnevezés), annak Csepeli Tagozatához tartozik, amely a Budapest, valamint Százhalombatta-Ócsa és Adony-Dabas közötti területen 8-35 km szélesen követhető a Duna bal partján. A túlnyomórészt durvakavics mérettartományba tartozó frakción kívül elszórtan előfordulnak fél méteres átmérőt is meghaladó kőzetblokkok. A vizsgálódásunk céljára kiválasztott két különleges, Magyarországon eddig le nem írt és vizsgált ásványfázisokat tartalmazó kőzetcsoporthoz a klinohumitos dolomitos márvány és a dumortierites gneisz. Ez a márványfajta eddig egyetlen nagy kőzetblokkként került elő a dunavarsányi kavicsbányában. Fő ásványfázisai a klinohumit mellett a dolomit, kalcit, olivin, spinell, apatit, tremolit, klorit és flogopit. A gneisz minták két típusba sorolhatók. Az egyik típus a kőzetalkotó kvarc, földpátok és biotit mellett andaluzitot, sillimanitot és muszkovitot tartalmaz, amelyek között a dumortierit többnyire elszórtan helyezkedik el. A másik típusú gneiszben nem található andaluzit, a dumortieritek egy, a kőzetben megjelenő durvább szemcsés pegmatitos érben helyezkednek el, több mm-es cordieritek társaságában. A petrográfiai vizsgálatok mellett Raman-spektroszkópiával azonosítottuk a karakteres ásványfázisokat, majd pásztázó elektronmikroszkópos elemzést végeztünk. Ezen vizsgálatok és a vonatkozó szakirodalmak alapján az ausztriai Wachau térsége bizonyult a legközelebbi lehetséges lepusztulási területnek. Az említett terület Duna menti feltárásaiból (Loja, Ebersdorf- Klein-Pöchlarn)

begyűjtött mintáinkat korreláltuk a dunavarsányi mintákkal. A kutatás során így igazolni tudtuk, hogy az általunk vizsgált dunavarsányi mintaanyag származási helyének valóban a fent említett terület feleltethető meg. A kiválasztott minták nagy mérete (márvány esetében 80, gneiszek esetében átlagosan 30 cm-es átmérő), durvakavicsokhoz képest gyenge koptatottsága, valamint a forrásterülettől számított több mint 300 km-es légvonalbeli távolság alapján a klasszikus folyóvízi görgetve szállítás kevésbé bizonyul elképzelhetőnek. Mindez a már több szerző által felvetett folyóvízi jég általi szállítódás valószínűségét erősíti.

**More than 300 km raft on the ice floe.
Dumortierite and clinohumite from the Bohemian Massif in Dunavarsány,
middle Hungary**

The glaciation events and the periods between them during the Pleistocene caused a big surface shaping effect in the Carpathian-Pannon region. In the higher topographical regions the erosion had a greater effect, so the debris transported downwards and accumulated on terrains with lower relief (basins, plains). The origin of the pebble assemblage on the plain south from Budapest can be explained with the same process. From the end of the 19th century the proper way of transport, the structure and composition of terraces has been studied. Getting known about these processes the surface-forming behaviour of the fluvial systems and climate conditions in this age can be revealed. Petrographic examination of pebbles and boulders is an excellent way to find the source area of fluvial debris. The place of origin of unique rocks with lower abundance can be better located.

In the gravel pits around Dunavarsány the upper Pleistocene alluvium of the Danube is mined intensively. This formation can be well located: under these fluvial sediments there are Pannonian limnic and swamp formations with the complete lack of coarse-grained alluvium. Meanwhile, thin Holocene sediments cover the area. The alluvium in the vicinity of Dunavarsány belongs to the Csepel Member of the Pestvidék Pebble Formation. Why is this pebble formation interesting? It contains mainly (more than 90%) the classical fluvial-formed coarse-grained pebbles, but there are some bigger (even more than 1 m in diameter), sometimes almost completely angular blocks in it.

Two special rock types from the latter range are in the centre of our research. In each of these rock types we described characteristic minerals, which have been unknown from Hungary yet. The clinohumite (general form: $\text{Mg}_3(\text{SiO}_4)_4(\text{OH},\text{F})_2$) was found in one dolomitic marble block in which besides clinohumite calcite, dolomite, olivine, spinell, apatite, tremolite, chlorite and phlogopite also appear. The other key mineral is the dumortierite (general form: $\text{AlAl}_6(\text{BO}_3)\text{Si}_3\text{O}_{13}(\text{O},\text{OH})_2$) which was detected in two different gneisses. The main rock forming minerals in these gneisses are quartz, feldspars, biotite (partially chloritized) and muscovite. Besides dumortierite smaller amount of cordierite, tourmaline, andalusite, sillimanite, garnet, apatite and zircon also appear. We

examined these rocks in thin sections with polarising and scanning electron microscope. A test with Raman-spectroscopy verified the identification of dumortierite and clinohumite. Afterwards we searched for possible source regions, where the two studied special rock types occur close to each other. In Wachau, Austria these two rock types (Gföhl Gneiss and the marble in the Drosendorf Series) with key minerals (dumortierite and clinohumite) occur within few kilometres, in the vicinity of recent (and former) bed of Danube. In the framework of a field trip we collected rock samples from 22 excavations. Two big quarries close to the Danube (Klein-Pöchlarn–Ebersdorf and Loja) proved to be the most revealed and suitable locations. We correlated the collected samples (dumortierite bearing gneisses and clinohumite bearing marbles) with those collected in Dunavarsány by the means of the upper mentioned methods and confirmed strong similarity between them.

With the knowledge of the place of most possible origin, the fairly angular shape and the bigger size (gneisses: average 30 cm in diameter, marble: 80 cm in diameter) we suggest, that the most probable means of transportation was the fluvio-glacial process. In this progress the rocks fall, roll and/or solifluctate from the cliffs onto the river ice and raft even hundreds of kilometres along to the lower reach of the river where the climate is appropriate for the ice floe to melt so the rocks can fall down onto the river bed. These phenomena made possible for us to find unique rock types from the Austrian part of the Bohemian Massif in the middle of Hungary.

9. Köszönetnyilvánítás

Először is témavezetőnknek Dr. Józsa Sándornak (ELTE TTK Kőzettan- Geokémiai Tanszék) szeretnénk megköszönni a sok segítséget és tanítást, a kitartó elméleti és gyakorlati útmutatást. Köszönettel tartozunk Bendő Zsoltnak (ELTE TTK Kőzettan-Geokémiai Tanszék) és Ormándi Szilviának (ELTE TTK Ásványtani Tanszék), akik a pásztázó elektronmikroszkópos mérések alkalmával nyújtottak nélkülözhetetlen segítséget. A Raman-spektroszkópiás mérés elkészítését Váczi Tamásnak (ELTE TTK Ásványtani Tanszék) köszönjük. A Duna pleisztocén kavicsösszletének kutatástörténeti áttekintésében Bradák Balázstól kaptunk komoly segítséget. Köszönjük az ELTE TTK Kőzettan-Geokémiai Tanszék és Ásványtani Tanszék munkatársainak és hallgatóinak a türelmet, a sok segítséget és az ihlető légkört. Kiemelt köszönettel tartozunk családjainknak, kiknek biztatásával mindig sikerült túljutni az „alkotói mélypontokon”.

10. Irodalomjegyzék

- ALEXANDER, V. D., GRIFFEN, D. T., MARTIN, T. J. (1986): Crystal chemistry of some Fe- Ti-poor dumortierites. *Am. Mineral.*, 71, 786-794
- BENDŐ ZS., OLÁH I., PÉTERDI B., SZAKMÁNY GY., HORVÁTH E. (2013): Csizsolt kőszközők és ékkövek roncsolásmentes SEM-EDX vizsgálata: lehetőségek és korlátok, *Archeometriai Műhely* 2013/X./1.
- BENEI B., TÓTH K. (2010): A dunavarsányi pleisztocén kavicsösszlet riolitkavicsainak petrográfiai jellemzése, *Tudományos Diákköri Dolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Közöttan-Geokémiai Tanszék* 54 p
- BÓDI B. (1938): A Budapest-környéki harmadkori kavicsok közöttani vizsgálata, különös tekintettel a levantei kavicsképződményekre. (Petrographische Untersuchung der tertiären Schotterablegerungen aus der Umgebung von Budapest.) – *Földtani Közlöny* 68, 180, 207.
- BORS V., VÖRÖS A. (2008): Dunavarsány környéki pleisztocén kavicsösszlet közettömbjeinek előzetes közöttani vizsgálati eredményei, *Tudományos Diákköri Dolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Közöttan-Geokémiai Tanszék*
- BRADÁK B. (2004): A Budapest környéki kavicsok vizsgálata. –Rövid tudománytörténeti áttekintés, *Kézirat.* in VÍGH (2010)
- BULLA B. (1941): A Magyar medence pliocén és pleisztocén teraszai – *Földrajzi Közlemények* 69. pp.199- 230.
- BURJÁN B. (2002): A Pesti-síkság kavicsos üledékeinek szemcseeloszlási vizsgálata, *Földtani Közlöny* 132/ksz, 161–173.
- CEMPÍREK J., NOVÁK M. (2006): Mineralogy of dumortierite-bearing abyssal pegmatites at Starkoč and Běstvína, Kutná Hora Crystalline Complex, *Journal of the Czech Geological Society* 51/3-4
- COOKE R. A., O'BRIEN P.J. (2001): Resolving the relationship between high P–T rocks and gneisses in collisional terranes: an example from the Gföhl gneiss-granulite association in the Moldanubian Zone, *Austria. Lithos* 58:33–54
- CSÁSZÁR G. (szerk.) (1997): Magyarország litosztratigráfiai alapegységei. *MÁFI–MRB*
- EVANS J. R., GROAT A. L (2012): Structure and topology of dumortierite and dumortierite-like materials, *The Canadian Mineralogist*, Vol. 50, pp.1197-1231
- FERRARIS, G., PRENCIPE, M., SOKOLOVA, E.V., GEKIMYANTS, V.M., SPIRIDONOV, E.M. (2000): Hydroxylclinohumite, a new member of the humite group: Twinning, crystal structure and crystal chemistry of the clinohumite subgroup. *Zeitschrift für Kristallographie*, 215, 169-173.

- FUCHS Y., ERTL A., HUGHES M. J., PROWATKE S., BRANDSTÄTTER F., SCHUSTER R. (2005): Dumortierite from Gföhl unit, Lower Austria: chemistry, structure and infra-red spectroscopy, *Eur. J. Mineral.* 2005, 17. 173-183
- GÁBRIS GY. (2006): A magyarországi folyóteraszok kialakulásának és korbeosztásának magyarázata az oxigénizotóp-sztratigráfia tükrében, *Földrajzi közlemények*, 2006. (130. (54.) köt.) 3-4. sz. 123-133. old.
- GYALOG L., BUDAI T. (2004): Javaslatok Magyarország földtani képződményeinek litosztratigráfiai tagolására, *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése*, 2002 (2004), pp. 195–232.
- HALAVÁTS GY. (1898): A Budapest-vidéki kavicsok kora, *Földtani Közlöny* 28. pp. 291-299
- HLAWATSCH C. (1911): Über einige Mineralien der Pegmatit-gänge im Gneise von Ebersdorf bei Pöchlarn, Niederösterreich, *Verh. Geol. Reichanstalt*, 11, 259.
- HORUSITZKY H. (1917): A győri ipar- és hajózó csatorna geológiai szelvénye, *M. Kir. Földtani Intézet Évi Jelentése 1916-ról. Budapest. pp.* 619–626.
- ID. LÓCZY L. (1881): A promontori Dunameder-kotrás geológiai eredményei. – *Földtani Közlöny* 11. pp. 255–257.
- JÁMBOR Á. (2010): Hömpölyök -óriás kavicsok- előfordulása a hazai pleisztocén folyóvízi képződményekben, *Földrajzi Közlemények* 134/2, 159-171.
- JASKÓ S. & KORDOS L. (1990): A Budapest–Adony–Örkény közötti terület kavics formációja. – *MÁFI Évi Jelentése 1988-ról*, 153–167.
- JOBSTMANN B. (1912): Auffindung von Dumortierit im anstehenden Pegmatit bei Ebersdorf (bei Pöchlarn), *Tscherm. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 1912, 120.
- KÁZMÉR M. (2005): Paleogén ösföldrajz az alpi-kárpáti régióban. – *MTA Doktori értekezés. Kézirat.* 129. pp. in JÁMBOR (2010)
- KOCH S., SZTRÓKAY K. (1967): Ásványtan II., *Tankönyvkiadó, Budapest, 1967, II. kiadás*
- KORBEL P., NOVÁK M. (2008): Ásványok enciklopédiája, *Ventus Libro Kiadó, ISBN: 9789639701434*, 296 pp.
- KÖHLER A. (1932): Beitrag zur Kenntnis der Minerale Niederösterreichs, *Verh. Bundes. A.* 1932, S. 89-91.
- KRIVÁN P. (1973): A periglaciális Dunaüledékek közelhegységi törmelékanyagának eredete a Dunakanyartól a Pesti Síkságig. – *Földtani Közlöny* 103. pp. 136–144.

- KRUMBEIN, W. C. (1941). Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles, *Journal of Sedimentary Petrology*, 11,64-72.
- KUBOVICS I. (1993): Kőzetmikroszkópia I-II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, Első kiadás
- LEMBERKOVICS V. (1998): Gránát – turmalin tartalmú granitoid kőzetek a Délegyháza környéki pleisztocén kavicssteraszból, *Tudományos Diákköri Dolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Közzetan-Geokémiai Tanszék* 49 pp.
- LÖFFLER, E. & KOLITSCH, U. (2011): Die Mineralien der Loja bei Persenbeug, Niederösterreich (II). *Mineralien-Welt*. 22 (4): 51-62
- LŐRENTHEY I (1906): Budapest pannóniai és levantei korú rétegei és ezek faunája—*Matematikai és Természettudományi Értesítő, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest* 296-342.
- MÁTÉ L. (2005): A dunavarsányi Aqua Kft. kavicsbányájában termelt felsőpleisztocén folyóvízi eredetű kavicsos összlet andezitekavicsainak statisztikai és közzetani vizsgálata. — *Diplomamunka Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Közzetan-Geokémiai Tanszék* 136 p.
- MICSINAI D., MOLNÁR M. (2010): Dél-Pesti síkság pleisztocén kavicsösszletének vizsgálata Dunavarsányban, *Tudományos Diákköri Dolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Közzetan-Geokémiai Tanszék* 45 pp.
- MOLNÁR B. (1997): A Duna-Tisza köz felsőpliocén (levantei) és pleisztocén földtani fejlődéstörténete, *Földtani Közlöny* 107. 1-16
- NIEDERMAYR, G. ET AL. (2008): Neue Mineralfunde aus Österreich LVII. Carinthia II, 198./118., 223-274.
- PÉCSI M. (1950): Völgyfejlődéstörténeti és teraszmorfológiai megfigyelések a Dunavölgy balpartján Budapest és Baja között, *Hidrológiai Közlöny, 1950. (30. évf.)* 7-8. sz. 260-266. old
- PÉCSI M. (1955): A Duna-völgy magyarországi szakaszának kialakulása, *Természet és társadalom: a Társadalom és Természettudományi Ismeretterjesztő Társulat havi folyóirata, 1955. (14. évf.)* 10. sz. 595-600. old.
- PÉCSI M. (1959): A magyarországi Duna-völgy kialakulása és felszínalakítása. *Földrajzi Monográfiák* 3. Akadémia Kiadó, Budapest. 345 p.
- PÉCSINÉ DONÁTH É. (1958): Duna-terasz kavicsok görgetettségi vizsgálata. *Földtani Közlöny* 88. pp. 57–75.
- RACEK, M., ŠTÍPSKÁ, P., PITRA, P., SCHULMANN, K. & LEXA, O., (2006): Metamorphic record of burial and exhumation of orogenic lower and middle crust: a new

tectonothermal model for the Drosendorf window (Bohemian Massif, Austria). *Mineralogy and Petrology*, 86(3-4), 221-251

- SÜMEGHY J. (1955): A magyarországi pleisztocén összefoglaló ismertetése, *MÁFI Évi Jelentése 1953-ról, II.* 395-404
- SÜMEGI P. (2001): A negyedidőszak földtanának és öskörnyezetének alapjai.- JATE Press, Szeged. 262 p. in JÁMBOR (2010)
- SZABÓ J. (1879): Budapest geológiai tekintetben. — *Orv. És Term. Vizsg. 1879. évi vándorgyűlésének munkálatai p. 116.*
- TRÖGER W. E. (1956): Optische Bestimmung der gesteinsbildende Minerale, Teil1, 1956, Stuttgart
- VÍGH CS. (2010): Granulitok a Duna pleisztocén korú kavicsanyagából, *Diplomamunka Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Közettan-Geokémiai Tanszék* 124 p
- VISSER D., SENIOR A. (1991): Mg-rich dumortierite in cordierite- orthoamphibole-bearing rocks from high-grade Bamble Sector, south Norway, *Mineral. Mag., December 1991, Vol. 55, pp. 563-577*
- ZAYDAN, A. & SCHARBERT, H. G. (1983): Petrologie und Geochemie moldanubischer metamorpher Serien im Raume Persenbeug (südwestl. Waldviertel). *Jahrb. Geol. B.-A.*, 126/1, 181-199.
- ZSEMLE F., TÖRÖK K., JÓZSA S., KÁZMÉR M. (2001): Granulite pebbles from the Upper Pleistocene terrace of the Danube at Délegyháza, Hungary – *Földtani Közlöny*, 131/3-4, 461-474
- <http://www.mindat.org/loc-58301.html>
- <http://geomap.geolba.ac.at/StartWM.cfm>
- <http://www.webmineral.hu>
- <https://maps.google.hu/>
- <http://bikepeace.files.wordpress.com>
- <http://www.feuer-steinzeit.de>

11. Függelék

A vizsgálataink tárgyát képező dunavarsányi kőzeteket témavezetőnk bocsátotta rendelkezésünkre az ELTE TTK Kőzettan-Geokémiai Tanszék gyűjteményéből. A klinohumit tartalmú márványból és a dumortierit tartalmú gneiszekből vékonycsiszolatokat készítettünk. A klinohumitos márványból négy polírozott és egy fedett, míg a dumortierites gneiszekből három polírozott és három fedett csiszolatot csináltunk. A dumortierites gneiszekből rendelkezésre állt további négy fedett vékonycsiszolat, valamint a Kőzettan-Geokémiai Tanszék gyűjteményéből származó dunavarsányi gneiszekből további 23 darab fedett vékonycsiszolatot készítettünk, ám ezekben az esetünkben kulcsfontosságú dumortierit ásványt nem fedeztük fel. A mintáinkat polarizációs mikroszkóppal vizsgáltuk, a pásztázó elektronmikroszkópos elemzéseket az ELTE TTK Kőzettan-Geokémiai Tanszékén Bendő Zsolt és Ormándi Szilvia, míg a Raman-spektroszkópiás fázisazonosítást (dumortierit, klinohumit azonosítása) az ELTE TTK Ásványtani Tanszékén Váczi Tamás vezetésével, segítségével hajtottuk végre. A hazai minták vizsgálatát és a szakirodalom áttekintését követően terepi mintavételezés céljából témavezetőnkkel az ausztriai Wachau területre látogattunk. Két napos terepi bejárásunk során 22 feltárást, bányát kerestünk fel, melyekből kőzetmintákat gyűjtöttünk. Az Ausztriában begyűjtött mintákból, a dunavarsányiakhoz hasonlóan, vékonycsiszolatokat készítettünk. Gneiszekből összesen 15 polírozott és 11 fedett, míg márványból 3 polírozott és 12 fedett csiszolatot csináltunk. Ezeket a mintákat is polarizációs mikroszkóppal vizsgáltuk és elektron mikroszondás elemzésnek vetettük alá. Az ausztriai és a dunavarsányi minták vizsgálati eredményeit kiértékeltek, összehasonlítottuk. Márványok esetében a polarizációs mikroszkópi vizsgálatok során megállapított ásványos összetételben, az ásványok megjelenésében és az egymáshoz viszonyított mennyiségükben is nagy hasonlóságot állapítottunk meg. Az elektronmikroszkópos vizsgálat során a klinohumit szemcsékben mind a két lelőhelyről származó mintákban azonosan megjelenő zónásság figyelhető meg. A mikroszkópos egyezősége és a klinohumitok zónásságán kívül a többi kőzetalkotó ásvány ásványkémiai összetételében is nagyfokú, közel tökéletes egyezést állapítottunk meg.

A dunavarsányi és az ausztriai gneiszekből készített vékonycsiszolatokban is sikerült dumortieritet kimutatni. A két eltérő lelőhelyről származó ásvány optikai tulajdonságai megegyeznek, míg a kőzetekben felismerhető egyéb ásványok bár túlnyomórészt azonosak, a vizsgált gneiszt szakirodalmilag is bizonyítottan jelentős lokális szöveti és ásványos összetételbeli különbségek jellemzik.

A vizsgálati eredményeket összesítve kijelenthető, hogy a dunavarsányi minták forrásterülete az ausztriai Wachau térségben jelölhető ki. A kőzetek morfológiája, a forrásterület ismerete, valamint szakirodalmi adatok alapján pedig a lehetséges szállítódási módokat vizsgáltuk és arra a következtetésre jutottunk, hogy a folyóvízi jég általi szállítódás a legvalószínűbb.

12. Melléklet:

1. táblázat A vizsgált dumortieritek oxidos ásványkémiai összetétele (%-ban) összevetve a saját és Varga Miklós (2010) által vizsgált andaluzitokéval, dumortieritével

	DVT-939_dum					DVT-853_dum		WGM-1422_dum		DVT-939_and				
	1	2	3	4	5	1	2	1	2	saját	Varga.1	Varga.2	Varga.and,dum?	
SiO ₂	30,84	30,7	30,13	30,63	30,7	32,78	34,73	31,42	31,73	37,03	36,99	37,11	37,07	34,48
TiO ₂	0,27	2,03	0,38	0,1	0,29	0	0,02	0,42	0,35	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	57,49	56,79	59,24	58,58	58,57	56,12	54,36	57,74	57,42	62,61	61,96	62,37	62,17	57,82
Fe ₂ O ₃	0,62	0,6	0,5	0,45	0,63	0,38	0,54	0,18	0,56	0,36	1,05	0,52	0,76	0,71
MgO	3,78	2,88	2,75	3,24	2,81	3,49	3,35	3,23	2,94	-	-	-	-	-
TOTAL	93	93	93	93	93	93	93	93	93	100	100	100	100	93

2. táblázat A dunavarsánvi (DVTM) és az ausztriai (WGM) mintákban mért olivinek oxidos összetétele tömegszázalékban (első oszlop) és a kationszám

Mérési pont Oxid	DVTM-0321 (1)		DVTM-0321 (2)		DVTM-0322 (1)		DVTM-0322 (2)		WGM-0323/b (1)		WGM-0323/b (2)		WGM-0324/b (1)	
SiO ₂	42,06	1,00	42,28	1,00	42,28	1,00	42,15	1,00	42,22	1,00	42,00	1,00	42,25	1,00
FeO	2,39	0,05	2,33	0,05	2,21	0,04	3,53	0,07	2,11	0,04	2,17	0,04	1,87	0,04
MgO	55,39	1,96	55,15	1,95	55,21	1,95	53,99	1,91	55,30	1,95	55,58	1,96	55,63	1,96
CaO	0,16	0,00	0,24	0,01	0,30	0,01	0,33	0,01	0,13	0,00	-	-	-	-
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	0,00	0,25	0,00	0,25	0,01
TOTAL	100	3	100	3	100	3	100	3	100	3	100	3	100	3

3. táblázat A dunavarsányi (DVTM) és az ausztriai (WGM) mintákban mért spinellek oxidos összetétele tömegszázalékban (első oszlop) és a kationszám (második oszlop)

Mérési pont Oxid	DVTM-0321 (1)		DVTM-0322 (1)		DVTM-0322 (2)		WGM-1323/b (1)		WGM-1323/b (2)		WGM-1324/b (1)	
TiO ₂	0,33	0,01	0,17	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	68,17	1,93	68,55	1,94	68,43	1,94	68,92	1,94	68,86	1,94	69,65	1,96
Fe ₂ O ₃	3,98	0,07	3,52	0,06	3,61	0,07	3,02	0,05	3,21	0,06	2,14	0,04
MgO	27,53	0,99	27,75	0,99	27,96	1,00	28,06	1,00	27,93	1,00	28,21	1,00
TOTAL	100	3	100	3	100	3	100	3	100	3	100	3

4. táblázat A dunavarsányi (DVTM) és az ausztriai (WGM) mintákban mért kloritok oxidos összetétele tömegszázalékban

Mérési pont Oxid	DVTM-0321 (1)	DVTM-0322 (1)	DVTM-0322 (2)	WGM-1323/b (1)	WGM-1324/b (1)
SiO ₂	33,68	31,65	31,86	31,08	28,93
Al ₂ O ₃	18,62	21,58	21,31	20,41	23,71
FeO	1,18	1,23	1,06	1,10	0,61
MgO	36,52	35,54	35,77	37,41	36,76
TOTAL	90	90	90	90	90

5. táblázat A dunavarsányi (DVTM) és az ausztriai (WGM) minták flogopitjainak oxidos összetétele tömegszázalékban

Mérési pont Oxid	DVTM-0321 (1)	WGM-1323/b (1)	WGM-1324/b (1)
SiO ₂	44,08	40,37	39,41
TiO ₂	1,06	0,57	0,73
Al ₂ O ₃	14,21	15,17	14,46
FeO	0,97	0,55	0,51
MgO	28,36	28,01	28,24
Na ₂ O	-	4,36	6,05
K ₂ O	9,32	8,98	8,59
TOTAL	98	98	98

6. táblázat A dunavarsányi (DVTM) és ausztriai (WGM) minták ilmenitjeinek oxidos összetétele tömegszázalékban (első sor) és a kationszám (második oszlop)

Mérési pont Oxid	DVTM-0322 (1)		WGM-1324/b (1)	
TiO ₂	56,74	0,99	57,37	0,97
FeO	30,84	0,60	22,17	0,42
MnO	1,50	0,03	3,64	0,07
MgO	10,91	0,38	16,82	0,57
TOTAL	100	2,01	100	2,03

7. táblázat A dunavarsányi (DVTM) és az ausztriai (WGM) minták szerpentinjeinek oxidos összetétele tömegszázalékban

Mérési pont Oxid	DVTM-0321 (1)	DVTM-0322 (1)	WGM-1323/b (1)	WGM-1324/b (2)	WGM-1324/b (2)
SiO ₂	46,24	46,39	37,93	42,79	42,51
Al ₂ O ₃	1,97	1,33	3,98	1,06	2,40
FeO	1,45	1,02	2,01	1,05	3,60
MgO	40,34	41,26	45,88	45,10	41,28
CaO	-	-	0,20	-	0,21
TOTAL	90	90	90	90	90

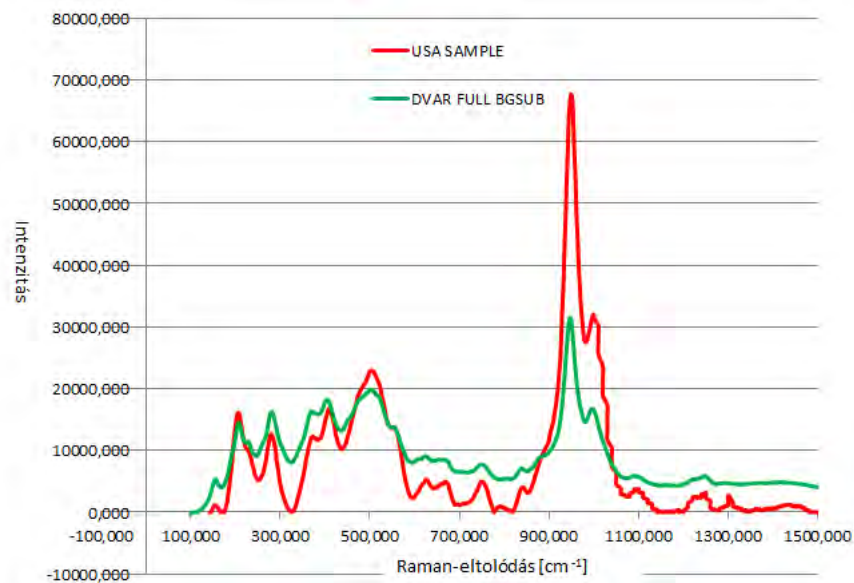
8. táblázat A dunavarsányi (DVTM) és az ausztriai (WGM) minták amfiboljainak oxidos összetétele tömegszázalékban (első oszlop) és a kationszám (második oszlop)

Mérési pont Oxid	DVTM-0321 (1)		DVTM-0322 (1)		DVTM-0322 (2)		DVTM-0322 (3)		WGM- 1323/b (1)		WGM- 1323/b (2)		WGM- 1323/b (3)		WGM- 1324/b (1)		WGM- 1324/b (2)		WGM- 1324/b (3)	
SiO ₂	59,84	7,99	59,31	7,93	56,90	7,64	58,47	7,83	44,64	6,24	60,02	8,01	48,36	6,70	46,57	6,47	52,60	7,23	59,84	8,00
TiO ₂	-	-	-	-	0,57	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	0,43	0,05	0,18	0,02	-	-
Al ₂ O ₃	2,13	0,34	2,37	0,37	4,76	0,75	2,86	0,45	13,72	2,26	-	-	9,90	1,62	11,96	1,96	5,23	0,85	-	-
FeO	0,49	0,06	0,45	0,05	0,77	0,09	0,58	0,06	0,83	0,10	0,25	0,03	0,71	0,08	0,67	0,08	0,57	0,07	0,29	0,03
MgO	22,30	4,43	22,22	4,43	21,63	4,33	23,00	4,59	20,17	4,20	25,35	5,04	21,20	4,38	20,59	4,26	22,69	4,64	25,16	5,01
CaO	14,23	2,03	14,64	2,10	14,26	2,05	14,09	2,02	13,45	2,01	13,38	1,91	13,19	1,96	13,31	1,98	12,97	1,91	13,71	1,96
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	6,04	1,63	-	-	5,28	1,42	5,26	1,41	4,61	1,23	-	-
K ₂ O	-	-	-	-	0,12	0,02	-	-	0,15	0,03	-	-	0,24	0,04	0,20	0,04	0,14	0,03	-	-
TOTAL	99	14,84	99	14,88	99	14,94	99	14,96	99	16,46	99	14,99	99	16,21	99	16,24	99	15,96	99	15,00

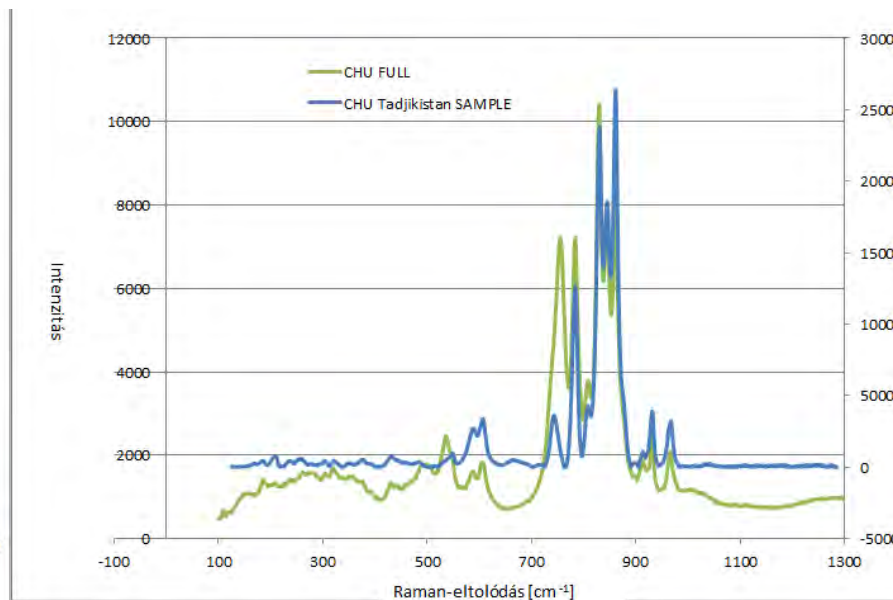
9. táblázat A dolgozatban taglalt ásványok rövidítése

amp=amfibol	grt=gránát	prh=pirrhotin
ap=apatit	ilm=ilmenit	py=pirit
bt=biotit	kfs=káli-földpát	q=kvarc
cc=kalcit	ky=kianit	rff=ritkaföldfém tartalmú ásvány
chu=klinohumit	micr=mikroklin	ru=rutil
chl=klorit	ms, mu=muszkovit	sp=spinell
crd=cordierit	ol=olivin	srp=szerpentinit
dol=dolomit	phl=flogopit	trm=tremolit
dum=dumortierit	pl=plagioklász	

1.

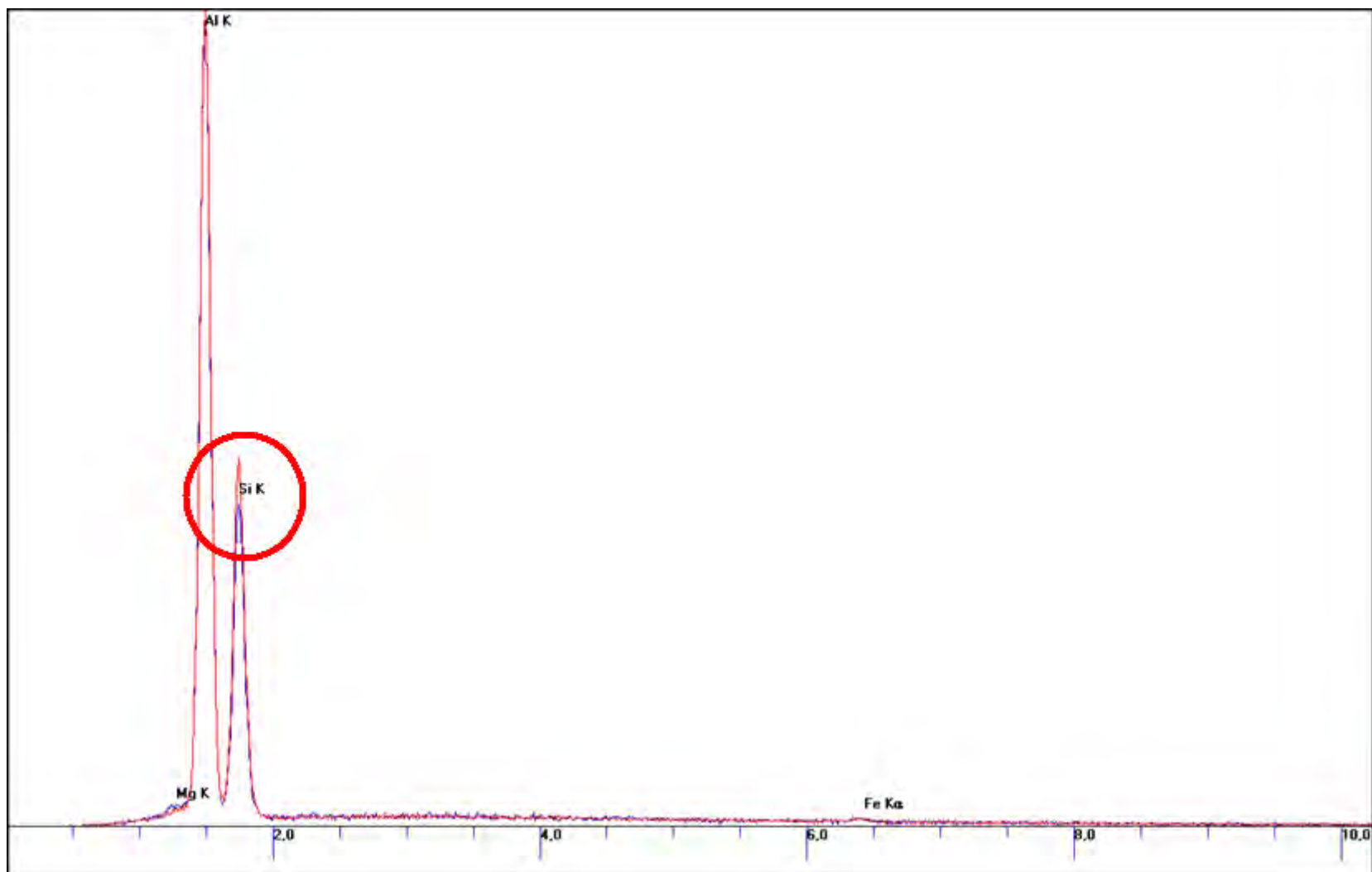


2.

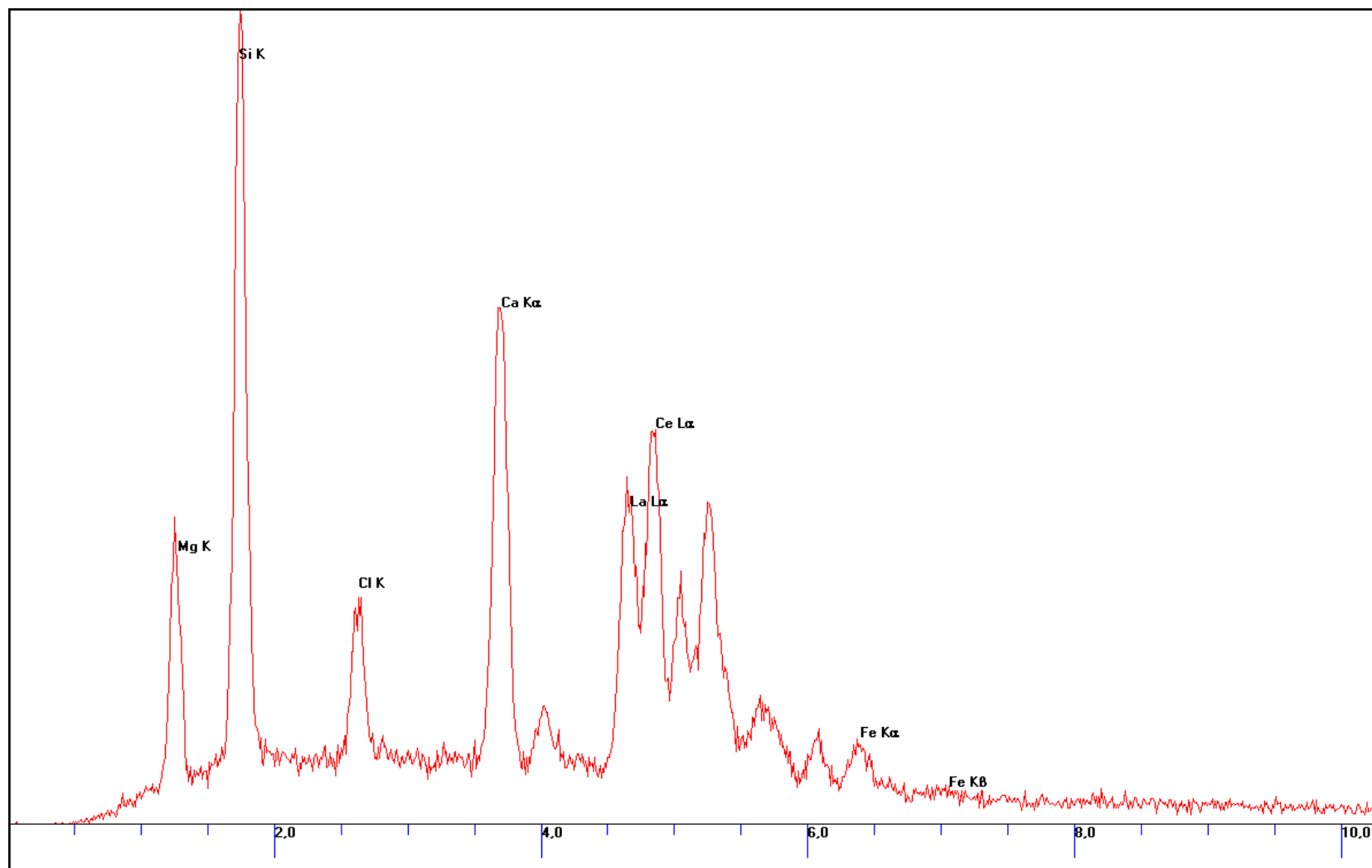


1. diagram A DVT-939-es kőzetminta polírozott felszínén található dumortierit Raman-spektruma azonos lefutású a Fallbrook, San Diego County, California, USA lelőhelyen talált dumortieritével (a mérés az ELTE TTK Ásványtani Tanszékén készült)

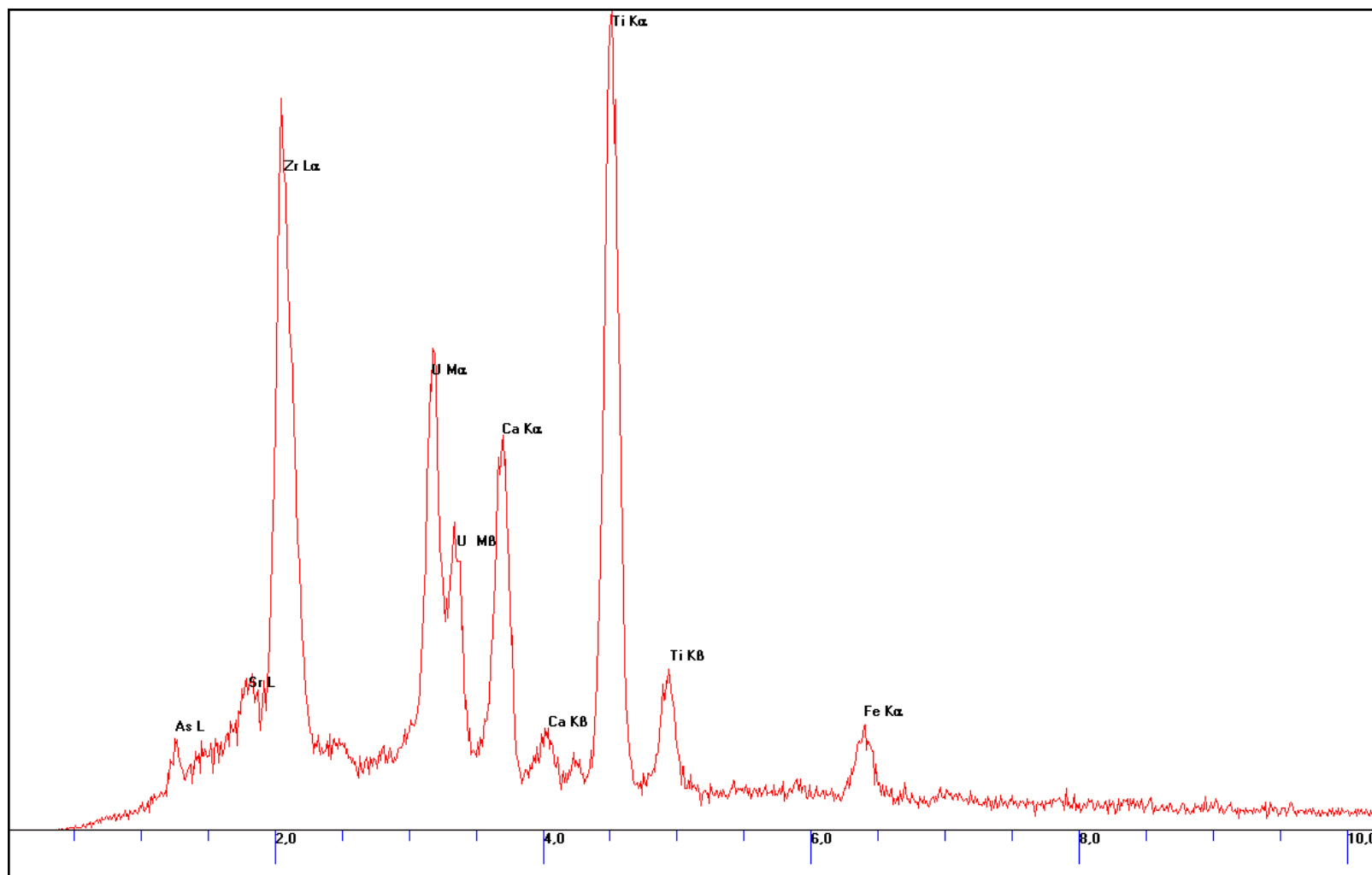
2. diagram a DVTM-1322 polírozott csiszolaton található klinohumit szemcse Raman- spektruma összevetve a Gemological Institute of America tadzsikisztáni mintájával (a mérés az ELTE TTK Ásványtani Tanszékén készült)



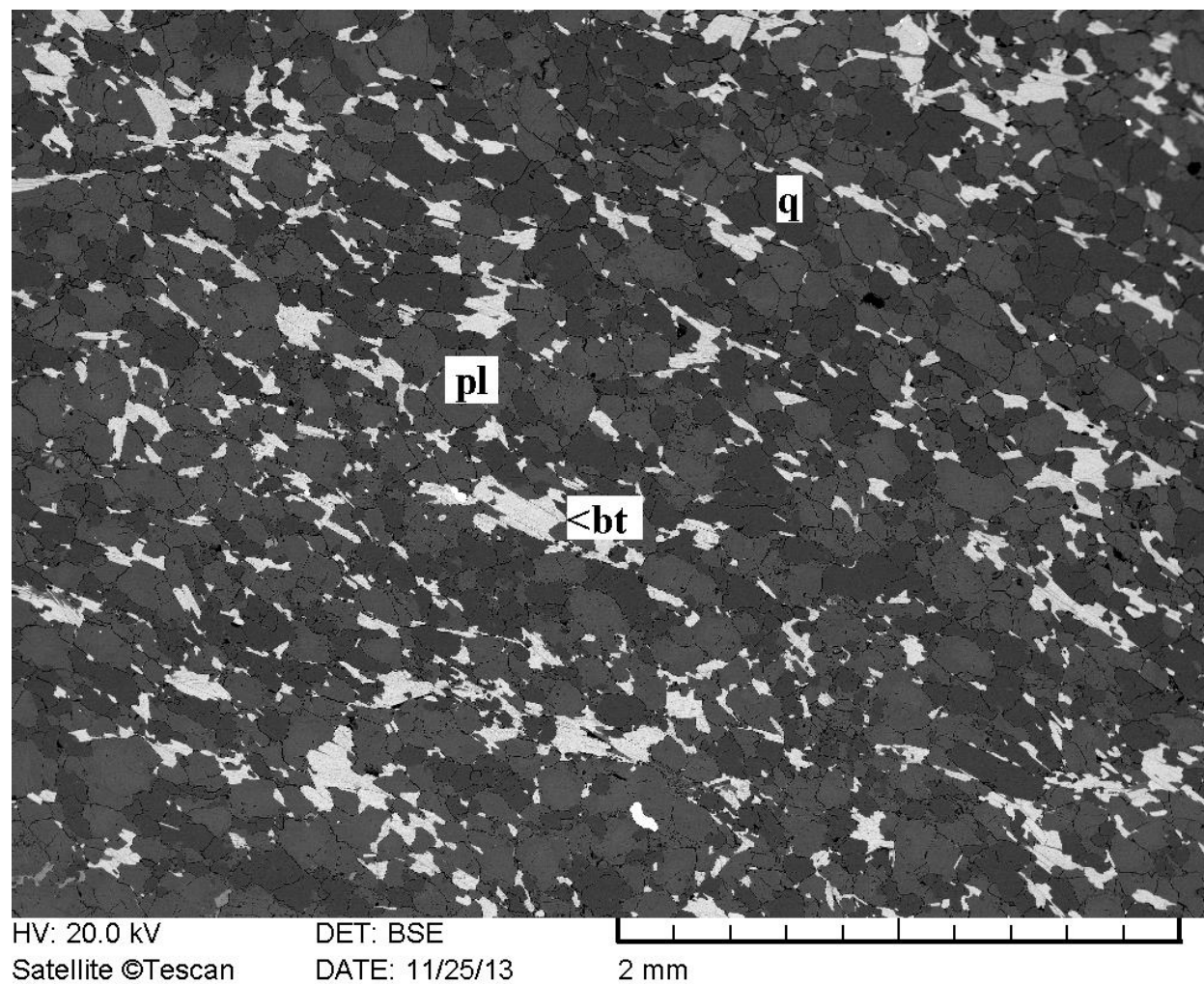
3. diagram A DVT-939-es minta (Dunavarsány) dumortieritjének (kék) és andaluzitjának (piros) SEM EDS-spketruma: az andaluzit Si csúcsa kimutathatóan magasabb (az ezekből számolt összetételi értékeket lsd. Melléklet 1. táblázat)



4. diagram A DVTM-0322 mintában talált ritkaföldfémekben gazdag ásvány SEM EDS spektruma



5. diagram A DVTM-0322 mintában talált Ti-Zr-U tartalmú ásvány SEM EDS spektruma



1. ábra A DVT-853-as kőzet (Dunavarsány) uralkodó részét kitevő finomszemcsés részből készített BSE-kép