



**A MISKOLCI AVAS-TŰZKÖVESEN AZONOSÍTOTT TŰZNYOMOK  
ARCHEOMETRIAI VIZSGÁLATA**

PHD ÉRTEKEZÉS

TÓTH ZOLTÁN HENRIK

MISKOLCI EGYETEM, MIKOVINY SÁMUEL FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

A DOKTORI ISKOLA VEZETŐJE: Dr. Habil. DOBRÓKA MIHÁLY, EGYETEMI  
TANÁR

TÉMAVEZETŐ:

Dr. RINGER ÁRPÁD, NYUGALMAZOTT TANSZÉKVEZETŐ EGYETEMI DOCENS,  
MISKOLCI EGYETEM, BÖLCSÉSZETTUDOMÁNYI KAR, TÖRTÉNETTUDOMÁNYI  
INTÉZET, ŐSTÖRTÉNETI- ÉS RÉGÉSZETI TANSZÉK

2018

## EREDETISÉGI NYILATKOZAT

Alulírott Tóth Zoltán Henrik büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában nyilatkozom és aláírással igazolom, hogy a doktori értekezés saját, önálló munkám; az abban hivatkozott szakirodalom felhasználása a forráskezelés szabályai szerint történt.

Tudomásul veszem, hogy doktori értekezés esetén plágiumnak számít:

- szószerinti idézet közlése idézőjel és hivatkozás megjelölése nélkül;
- tartalmi idézet hivatkozás megjelölése nélkül;
- más publikált gondolatainak saját gondolatként való feltüntetése.

Alulírott kijelentem, hogy a plágium fogalmát megismertem és tudomásul veszem, hogy plágium esetén doktori értekezésem visszautasításra kerül.

Kijelentem továbbá, hogy doktori értekezésem nyomtatott és digitális példányai szövegükben és tartalmukban megegyeznek.

Miskolc, 2018. április 26.

Tóth Zoltán Henrik

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném megköszönni mindazoknak a segítségét, akik e dolgozat megírásában segítségemre voltak. Mindenekelőtt köszönöm Dr. Ringer Árpád témavezetőmnek, nyugalmazott tanszékvezető egyetemi docensnek, a Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskola tagjának és a Praehistoria nemzetközi folyóirat főszerkesztőjének, hogy ásatási anyagának feldolgozásában és a dolgozat megírásában javaslataival és iránymutatásaival segítséget nyújtott. Köszönöm a Miskolci Egyetem, Történettudományi Intézet, valamint az Ásványtani-, Földtani Intézet oktatóinak és dolgozóinak, hogy támogatták és folyamatosan segítettek munkámat. Számos archeometriai vizsgálat a Miskolci Egyetem Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet munkatársainak segítségével valósulhatott meg. Külön köszönettel tartozom Dr. Kristály Ferencnek az archeometriai vizsgálatok során nyújtott, pótolhatatlan munkájáért. Köszönöm a Miskolci- és a Kölni Egyetemeknek, hogy a két intézmény közötti együttműködés keretében egy félévet kutatói ösztöndíjjal a Kölni Egyetem Ős- és Koratörténeti Tanszékén tölthettem. Köszönöm a dorogi Baumit Kft-nek, hogy tanulmányaimat az abszolutórium megszerzéséig támogatta. A doktori értekezés alapjául szolgáló Miskolc, Avas-Tűzköves 2002-es ásatási leletanyag tudományos (régészeti és archeometriai-) vizsgálatának elősegítésében a miskolci Herman Ottó Múzeum munkatársainak tartozom köszönettel. Ugyancsak köszönöm a Magyar Nemzeti Múzeum és a Budapesti Történeti Múzeum munkatársainak a dolgozat szempontjából releváns leletanyagok és dokumentációk vizsgálatához nyújtott segítségüket és támogatásukat.

Köszönettel tartozom második témavezetőmnek, Dr. Hartai Éva, címzetes egyetemi tanárnak, Dr. Szakáll Sándornak, Dr. Földessy Jánosnak, Dr. Németh Norbertnek, Dr. Lengyel Györgynek, Dr. T. Biró Katalinnak, Dr. Markó Andrásnak, Dr. Sümegei Pálnak, Szolyák Péternek, Király Ágnesnek, Simán Katalinnak, Szilágyi Katának, Dr. Jürgen Richternek, Dr. Thomas Haucknak, Dr. Daniel Schylenek, Ingrid Kochnak, Wulf Heinnak, Stephan Planitznak, Dr. Robert Grafnak, Kurt Altorfernek, Ivana Iovanovicnak, Renate Hegernek, valamint Hajdú Melindának és Kalászdi Györgynek, a Herman Ottó Múzeum munkatársainak, a kutatómunka és az értekezés írása során nyújtott segítségükért.

Az értekezés nem jöhetett volna létre családom támogatása nélkül. A mindenesem (Édesanyám), a sofőröm (Édesapám) és a titkárnőm (Nővérkém) ebben oroszlánrészt vállalt. Unokaöcsém, sógorommal és ismerőseimmel válllvetve, türelemmel viselték el sok-sok éven át a kutatómunka velejáróit, folyamatosan biztatva annak minél alaposabb végzésére és befejezésére. A felsoroltakon kívül köszönet illeti mindazokat, akik kutatómunkámat az elmúlt években egyéb módon elősegítették.

## TARTALOMJEGYZÉK

EREDETISÉGI NYILATKOZAT .....	I
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS .....	II
1. A KUTATÁS AKTUALITÁSA ÉS CÉLJAI .....	1
2. BEVEZETÉS .....	4
2.1. Óskori kőszköznyersanyag bányák a miskolci Avas-Tűzkövesen.....	4
2.2. A tűzzel való fejtés elmélete és a disszertációban tárgyalt paleolit leletanyag.....	4
2.3. Az avasi limnoszilicit.....	5
2.4. Megválaszolendő kérdések .....	6
3. MÓDSZEREK .....	7
3.1. A Miskolc, Avas-Tűzköves 2002-es ásatási leletanyag.....	7
3.2. Kísérleti régészet terepen és laboratóriumban .....	7
3.3. Archeometriai vizsgálati módszerek alkalmazása és lehetőségei.....	7
3.4. Referenciaminták .....	10
3.5. Nemzetközi kutatási eredmények .....	10
4. RÉGÉSZETI LELETANYAGKEVEREDÉS ÉS -FELDOLGOZÁS AZ AVASON.....	11
4.1. A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett ásatás leletanyaga .....	14
4.1.1. Szilánkok és pengeszerű szilánkok.....	16
4.1.2. Pengék és lamellák .....	16
4.1.3. Magkövek.....	17
4.1.4. Opálos kortextörmelékek és kortexes avasi limnoszilicit-törmelékek .....	18
4.1.5. Eszközök.....	18
4.1.6. Ütőkövek .....	18
4.1.7. Tűzkövek .....	19
4.1.8. A leletanyagban található metariolitok és az „egyetemvárosi nyersanyag” .....	19
4.1.9. Festékek.....	19
4.1.10. „Modern” leletek .....	19
4.1.11. Fő leletek és összeilleszthető leletek .....	20
4.2. A 2002-es ásatási leletanyag kevertségét szemléltető egyes paleolit leletek jellemzése leltári számuk szerint.....	20
4.3. Részösszefoglalás .....	23
5. A BÁNYÁSZAT CÉLJA ÉS FOGALMA .....	25
5.1. A nyersanyag-szelektálás első nyomai .....	25
5.2. Az őskori bányászat nyomai Afrikában.....	26
5.3. Az őskori bányászat nyomai Európában.....	26



5.4.	Az őskori bányászat nyomai Magyarországon .....	27
5.5.	Fejtési stratégiák .....	28
5.6.	A művelési módok időrendje .....	29
5.7.	A kovabányászat szociális és gazdasági háttere .....	29
5.8.	Kovafejtés tűzzel: A sütés.....	30
5.8.1.	Történeti adatok a sütés alkalmazására .....	31
5.8.2.	Kőeszköznyersanyagok fejtése sütés segítségével: a pattintott kőeszköznyersanyagok sütéses fejtésének nyomai .....	31
5.8.3.	A sütés alkalmazási módjai .....	34
5.8.4.	A sütés jelei magyarországi őskori bányákban.....	34
6.	KÍSÉRLETI RÉGÉSZETI ÉS ARCHEOMETRIAI VIZSGÁLATOK .....	36
6.1.	Az avasi limnoszilit és a tűz.....	36
6.1.1.	Kutatástörténet.....	37
6.1.2.	Földtani felépítés .....	38
6.1.3.	A mésztufa és limnoszilit rétegek jellemzése.....	38
6.1.4.	Az avasi limnoszilit sütéses hőkezelésének elmélete .....	39
6.1.5.	A bányanedves limnoszilit – a felső szint összetétele .....	40
6.1.6.	Víztartalom .....	40
6.1.7.	Az avasi limnoszilit-pad darabolásának („hideg fejtési mód”) rekonstrukciója: Kovapad törési kísérlet.....	42
6.1.8.	Hőhatás .....	44
6.1.9.	A tűzhasználat kezdetei .....	46
6.1.10.	A tűzhelyek műszeres vizsgálata.....	48
6.1.11.	Mit tud a tábortűz?.....	48
6.1.12.	Tüzelőanyag- és hőleadás összehasonlító szabadtéri kísérlet.....	49
6.1.13.	Az első nyílttüzes hőkezelési kísérlet.....	49
6.1.14.	A második tüzes kísérlet folyamata.....	51
6.1.15.	Nyomószilárdság-vizsgálat.....	51
6.1.16.	A magas hőmérséklet ásványtani hatásai .....	52
6.1.17.	A termikus feszültség .....	52
6.1.18.	Sütési kísérlet avasi limnosziliten.....	53
6.1.19.	Termikus stigmák .....	54
6.1.20.	Kritikus hőmérséklet .....	56
6.2.	Természetes és nem célzatos tüzek avasi limnoszilitre gyakorolt hatásainak terepi rekonstrukciói .....	57

6.2.1.	Újkori hőhatás rekonstruálása: „Tábortűz kísérlet” .....	57
6.2.2.	Mezőgazdasági hőhatás rekonstruálása: „Venyige” kísérlet .....	58
6.2.3.	Hőkezelési kísérlet „Miskolci-egyetemi-kalcedonon” .....	59
6.3.	Laboratóriumi hőkezelő kemencében végrehajtott hőkezelési kísérletek.....	59
6.3.1.	Az első laboratóriumi hőkezelő kísérlet (28. fotó) .....	59
6.3.2.	„Hőingadozás” laboratóriumi kísérlet .....	60
6.3.3.	Színváltoztatás .....	60
6.3.4.	500 °C-os laboratóriumi hőkezelő kísérlet .....	62
6.4.	A kovás kőzetek szövetszerkezetének homogenizálódása.....	62
6.5.	A három avasi limnoszilicit típus jellemzése a nagyműszeres archeometriai vizsgálatok eredményei alapján .....	64
6.5.1.	A hőkezelés archeometriai vizsgálatának kutatástörténete .....	64
6.5.2.	Az avasi limnoszilicitváltozatok csoportokba sorolása .....	65
6.5.3.	A röntgen pordiffrakciós vizsgálat (XRD) eredményei .....	65
6.5.4.	Termoanalízis (DTA / TG: Differential thermal analysis, Thermogravimetric analysis).....	66
6.5.5.	Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat (SEM) .....	67
6.5.6.	Az avasi limnoszilicit minták felületi, morfológiai vizsgálatának eredményei..	68
6.5.7.	A három típus makroszkópos jellemzőinek összevetése.....	68
6.5.8.	A három típus mikroszkópikus jellemzőinek összevetése .....	69
7.	AZ AVASI LIMNOSZILICITEN VÉGZETT INFRAVÖRÖS SPEKTROSKÓPIÁS VIZSGÁLATOK (FTIR).....	71
7.1.	A módszer kovás kőzetekre történő alkalmazása .....	71
7.1.1.	A minták előkészítése.....	71
7.1.2.	A vizsgálatok leírása.....	71
7.2.	A mérési eredmények kiértékelése .....	71
7.3.	Az I. és a II. avasi limnoszilicit-változat vizsgálati eredményei.....	72
7.4.	A III. típusú avasi limnoszilicit-változat vizsgálati eredményei.....	72
7.5.	A 2001-es és 2002-es ásatási leletanyagok mintáinak, valamint a Szeleta-barlang ásatásaiból és Sajóbáony, Méhész-tető 2014-es réteghitelesítő ásatásáról származó, valószínűleg avasi limnoszilicit paleolitokból vett minták vizsgálati eredményei .....	73
7.6.	Összehasonlító FTIR vizsgálatok más pattintott kőszköznyersanyagokon.....	75
7.6.1.	Metariolit (szeletai üveges kvarcporfir) leletek.....	75
7.6.2.	Az egerbaktai kőszköznyersanyag mérési eredményei .....	76
7.7.	Az avasi limnoszilicit-változatok FTIR mérési eredményeinek kiértékelése:.....	76
7.8.	Következtetések .....	77

8. AZ AVASI LIMNOSZILICIT MAGAS HŐMÉRSÉKLET HATÁSÁRA BEKÖVETKEZŐ ELVÁLTOZÁSAI.....	79
8.1. A hőkezelt/hőkezelődött nyersanyag színének értékelése .....	79
8.2. A termikus stigmák meghatározásának problémái .....	79
8.3. Különbségek egyes mátrai nyersanyagok és az avasi limnoszilit termikus stigmái között .....	80
8.4. A Miskolc Avas-Tűzköves 2002-es ásatási leletanyag erős termikus hatást mutató darabjai.....	80
9. A SÜTÉS ÉS HŐKEZELÉS ÖSSZEVETÉSE.....	81
9.1. Hőkezelés.....	81
9.1.1. A hőkezelés elkülönítése a természetes tüzeiktől, valamint a véletlen és célzott antropogén eredetű hőhatásoktól; a hőkezelés módszerei.....	81
9.2. Mely régészeti lelőhelyeken találták meg a hőkezelés nyomait? .....	84
9.3. A hőkezelés nyomai Magyarországon .....	87
9.4. Miben tér el egymástól a hőkezelés és a sütés? .....	87
9.5. A sütés lehetséges módja az Avason .....	88
10. ÖSSZEFOGLALÁS .....	91
11. SUMMARY .....	93
TÉZISEK.....	96
A TÉZISEKHEZ KAPCSOLÓDÓ SAJÁT PUBLIKÁCIÓK .....	99
THESES .....	101
IRODALOM.....	105
MELLÉKLETEK .....	120

## 1. A KUTATÁS AKTUALITÁSA ÉS CÉLJAI

A pattintott kőeszközyersanyag-kitermelőhelyek felkutatása és tudományos vizsgálata az őskőkorszak régészet egyik legfontosabb és legnépszerűbb kutatási területe. A különféle kovafajták egyes esetekben fontos korjelzők, geológiai előfordulási helyük ismerete pedig gyakran az egyetlen fogódzó egy őskori táborhely regionális és távolsági kapcsolatrendszerének felvázolásakor.

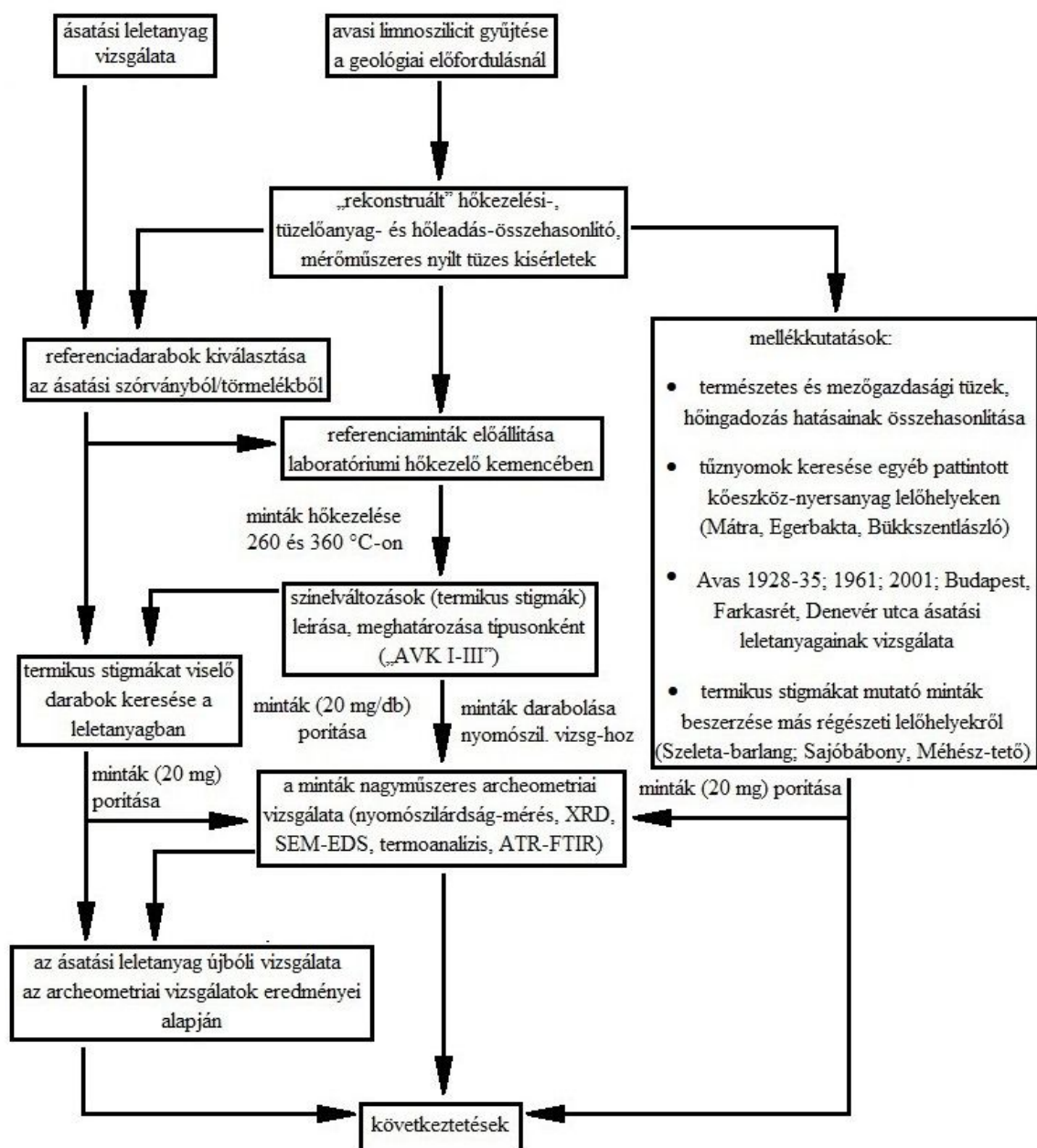
A nyersanyaglelőhelyeken alkalmazott fejtési módok nem jelzik a kitermelők technikai, társadalmi és kulturális fejlettségi szintjét. A bányászok mindig az adott kitermelőhely geológiai viszonyaihoz és a nyersanyag iránti kereslethez alkalmazkodva választották ki az adott fejtési módot. A geológiai viszonyok és a kereslet változása esetén, például, ha keményebb vagy sokkal puhább anyagőzetre, nagyobb méretű, ellenállóbb nyersanyagőztre bukkantak; esetleg az emberek valamilyen okból más méretű kőeszközök használatára tértek át, akkor változhattak a fejtési módok is. Az egyik ilyen a kemény, ellenálló anyagőzet fellazításához és nagyméretű, ellenálló nyersanyagok darabolásához opcionálisan alkalmazott fejtési mód a tűzrakás, más néven „sütés” volt (**5.8. fejezet**). Ennek nyomait már néhány magyarországi őskori bányában is felismerni vélték (**5.8.4. fejezet**). Ahol viszont nincsenek egyértelműen rá utaló nyomok, mint pl. a bányaterületen fellelt, nagy mennyiségű faszén, vagy égett agancs bányászóeszközök, ott a nyersanyaglelőhely geológiai viszonyaiból (pl. kemény anyagőzet; a kézi eszközökkel való gazdaságos feldolgozást megnehezítő, ellenálló nyersanyag) a sütés közben hőkezelődött, ún. termikus stigmákat (**6.1.19. fejezet**) viselő nyersanyagból pattintott kőeszközökből és bányahulladékból lehet következtetni rá. Ebben az esetben az elmélet helyességét archeometriai vizsgálatokkal kell igazolni.

A Miskolc fölé magasodó Avas-hegy Tűzköves nevű területén azonosított őskori kovabányákban végzett ásatások után a helyi limnoszilicit-padok sütéssel való fejtésének elméletét mindössze egy laboratóriumi hőkezelő-kemencében végzett hevítési kísérlet eredménye támasztotta alá. A látszólag termikus stigmákat viselő nyersanyagokból készült paleolitikok okán felmerült az avasi limnoszilicit szándékos hőkezelésének ötlete is (Ringer & Szakáll, 2005). Mivel azt, hogy egy *paleolitot* (a pattintott kőeszköz-készítés folyamatához, az ún. *műveletsor* (Holló et al. 2001) bármely szakaszához köthető, az emberi kéz nyomát magán viselő darabot) ért-e hő és ha igen, mekkora, az infravörös spektroszkópia (FTIR) segítségével gyorsan, egyszerűen és olcsón megállapíthatjuk, legfőbb ideje volt, hogy sor kerüljön a teljes avas-tűzkövesi ásatási leletanyag lényegre törő régészeti és archeometriai vizsgálatára.

A téma összetettségének megfelelően jelen dolgozat három fő részt tárgyal, melyek:

1. A miskolci Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett régészeti ásatás leletanyagának jellemzése és az Avas korabeli szerepének bemutatása, valamint a bányalelőhelyen elméletileg alkalmazott sütés kutatástörténetének, illetve a sütés és hőkezelés összevetésének részletes ismertetése;
2. Az avasi limnoszilit és az avasi ásatási anyagokban megtalálható más kőeszköznyersanyag típusok (pl. egerbaktai nyersanyag, bükkszentlászlói metariolit) ásványtani összetételének archeometriai vizsgálata, ezzel összefüggésben a 2002-es ásatási leletanyagban elkülönített három avasi limnoszilit-típus közötti ásványtani eltérések bemutatása (nyomószilárdságmérés, XRD, SEM, termoanalitikai vizsgálatok). A 2002-es ásatási leletanyagból kiválasztott darabok, a laboratóriumi hőkezelő kísérletsorozatban előállított referenciaminták és más régészeti lelőhelyekről származó minták FTIR vizsgálati eredményeinek ismertetése;
3. A 2. pontban felsorolt nyersanyagok őskori kitermelőhelyein, valamint a nyersanyagokkal rekonstruált körülmények között végzett darabolási, sütési, hőkezelési és megmunkálási kísérletek során tett megfigyelések és tapasztalatok ismertetése.

A dolgozat alapját képező kutatói munka folyamatát és komplexitását folyamatábrán szemléltetem (**1. ábra**). A dolgozatban bemutatott kutatási eredmények segítik árnyalni a tűzzel való fejtés kérdéskörének problematikáját és alapját képezhetik olyan kutatásoknak, ahol alkalom kínálkozik nem csak bányahulladékok és törmelékek, hanem szupportok (pl. magkövek) és kész kőeszközök archeometriai vizsgálatára is. A bükkszentlászlói metariolit nagyműszeres vizsgálatának eredményei terjedelmük miatt külön cikkben kerültek közlésre (Tóth & Kristály, 2017).



1. ábra. A régészeti kutatómunka, a hőkezelési kísérletsorozatok és az archeometriai vizsgálatok folyamatábrája. A rendelkezésemre bocsátott teljes ásatási leletanyagot a kísérleti régészeti és az archeometriai vizsgálatok aktuális eredményeiből leszűrt következtetések alapján többször újra átvizsgáltam.

## **2. BEVEZETÉS**

### **2.1. Óskori kőszköznyersanyag bányák a miskolci Avas-Tűzkövesen**

A Bükk keleti peremén, a hegylábi és alföldi területek találkozásánál fekvő, az emberi megtelepedésre igen alkalmas, a Szinva, a Sajó és a Hejő fölé emelkedő, 234 m magas miskolci Avas a magyarországi paleolit kutatás kiemelkedően fontos területe. Az 1891-ben, az Avas északi lábánál, Bársony József házának építése közben talált híres, metariolitból készült „Bársony-házi szakócák”, a Magyarország területén élt ősember első hiteles bizonyítékainak korszakolása körüli vita indította el a magyar őstörténet-tudomány kibontakozását (Herman, 1893; Halaváts, 1894; Gyenis et al, 2001; Ringer, 2003; 2004). Az Avason és annak lábánál 1891-től 2009-ig folytatott kutatásokról Szolyák Péter és Mester Zsolt közölt időrendi táblázatot, azok pontos helyét pedig műholdas fotón jelölve be (Szolyák & Mester, 2011). A Hillebrand Jenő és Leszih Andor vezetésével 1928 és 1935 között folytatott, a Bársony-házi szakócák nyersanyagának kitermelőhelyét kereső ásatások során előkerült kovabányák művelési ideje a késő neolitikum és a középkor közé helyezhető (Hillebrand, 1928; Simán, 1979/a; /b; 1995). A hegy jellegzetes kőszköznyersanyagát a feltételezések szerint már a középső paleolitikum óta fejtették az őskori bányászok, ezt Ringer Árpád 1989-től 2005-ig folytatott ásatásaival igazolta (Gyenis et al. 2001; Ringer, 2003; 2004; 2011; Ringer & Szakáll, 2005).

### **2.2. A tűzzel való fejtés elmélete és a disszertációban tárgyalt paleolit leletanyag**

Ringer (2003; 2004; 2011) az előkerült ásatási leletanyagok nagyszámú darabján termikus elváltozásokat (pl. elvörösödött szín, termikus kipattanások, zsírfényes felület) figyelt meg. Ezekből arra a következésre jutott, hogy az őskori bányászok a limnoszilit kitermelését a tűz segítségével végezhették: elmélete szerint az Avas őskori bányászai teljesen lebontották a limnoszilit-padot fedő talajrétegeket, csak pár cm vastag homokot hagyva a kortextréteg fölött (Ringer & Szakáll, 2005). Ezen friss csonttal táplált, nagy alapterületű tüzet gyújtottak, amely legalább egy napig égett. A tűz leadott hője lerobbantotta az ütéseknél ellenálló felső, „opálos” kérget, szétégette a limnoszilit-pad rosszabb minőségű részeit, feldarabolta a padot, és egyúttal hőkezelt is a nyersanyagot. Ringer & Szakáll (2005) az elképzelést laboratóriumi hőkezelő kemencében elvégzett kísérlettel és bükki barlangi lelőhelyekről származó, elszíneződött avasi limnoszilit-eszközökről készült fotókkal támasztották alá és rekonstrukciós rajzot is közöltek a technika avasi alkalmazásáról. A leírt módon a 2005. évi ásatás mellett tüzet gyújtottak egy limnoszilit-pad fölött. A művelet során a pad túlhevült, a kísérlet sikertelen volt.

A kovás kőzetek tűz segítségével történő fejtésére és/vagy darabolására akkor volt szükség, ha a nyersanyagból kézi bányászszerszámokkal nem, vagy csak nagy nehézségek árán lehetett az eszközkészítéshez szükséges méretű darabokat kinyerni (Faller et al, 1997). Kovás kőzetek esetén a talajból, vagy az anyakőzetből frissen kibontott vagy kibontandó bányanedves nyersanyag nagy víztartalma miatt a teljes folyamat maximum néhány óráig tart (Akerman, 1979; 2006; Kinnunen, 1993; Weisgerber & Willies, 2001). Ezzel szemben kovás kőzetek hőkezelésekor a nyersanyagból készített, viszonylag száraz és a levegőtől valamilyen szigetelőréteggel elzárt féltermékek pattinthatóságát javították fel, általában izzó parázsrétegek segítségével (Mercieca, 2000; Akerman, 2006; Weiner, 2012/a). Minőségtől, összetételtől - például az avasi limnoszilicit változatainál többek között a vasoxidtartalom variál - és szövetszerkezettől függően a kovás kőzeteket olykor egy napig is eltartó előmelegítést követően kb. 200 és 450 °C közötti hőmérsékletre kell felhevíteni és néhány óra hosszán át hőn tartani (Bordes, 1969/a; Inizan et al. 1976; Tixier & Inizan, 2000). Ezt nagyon lassú, akár több napos lehűtés (megelesztés) követi. Számos kovás kőzet optimális hőkezelési folyamat-leírása (időkeretek, hőmérsékletek) már az interneten is megtalálható (Miller, 2010; Weboldal/a). Mint látható, a sütés és hőkezelés folyamata általában jól elkülöníthető egymástól.

Az Avason valószínűsített tűznyomok, valamint a limnoszilicit lehetséges sütéses fejtésének, illetve hőkezelésének alaposabb vizsgálata és a Ringer Árpád által felállított hipotézis ellenőrzéséhez témavezetőm a Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002 nyarán általa vezetett, az 1992-es ásatási terület mellett végzett ásatás leletanyagának feldolgozását javasolta (**Melléklet II, 2. ábra**). Az ásatás során a 10 m<sup>2</sup> alapterületű, átlagosan 70 cm-ig mélyített, 10 db, 1 x 1 m-es területű négyzetre osztott ásatási szelvényből rendkívül gazdag leletanyag: 9980 db, együttesen 79811 g tömegű lelet került elő. Többségük nyersanyagát helyben bányászhatták. A leletanyag feldolgozása során a teljes ásatási leletszituáció rekonstruálására is szükség volt.

### **2.3. Az avasi limnoszilicit**

Az Avason két limnoszilicit szint található. A bányászati tevékenység, a szőlő- és talajművelés miatt a „felső kovaszint” csak törmelékben található (Ringer 2001; 2003). A jellegzetesen kagylós törésű limnoszilicit rétegek felszínét kb. 5-30 mm vastagságú fehér kéreg (Rottländer, 2012) borítja, mely a röntgendiffrakciós vizsgálat eredményei alapján kalcitnak bizonyult (Hartai & Szakáll, 2005). Mikroszkopikusan a kőzet rendkívül finomszemcsés mikrokristályos kvarc, kevés moganittal és kalcittal. Eszközkészítésre a felső limnoszilicit szint az alkalmasabb.



Ennek a nyersanyagnak több tucatnyi színváltozata ismert, melyeket a feldolgozás megkönnyítése érdekében három nagy csoportba (AVK I.: áttetsző, színtelen; AVK II.: fehér-barna sávozott; AVK III.: barna színű) soroltam be (**Melléklet II, jelenleg 44. ábra (XRD+FTIR)**). Az avasi limnoszilicit más, hasonló eredetű, (pl. a Mátrában előforduló) nyersanyagokhoz képest viszonylag jól pattintható. 260-360 °C-os hő hatására egyes változatain (AVK. II.) jellegzetes elváltozások figyelhetők meg, de a hőkezelés után pattintott nyersanyagok tipikus makroszkopikus jellemzője, a zsírfényes felület a nyers avasi limnoszilicit kéreggel határos részein is megfigyelhető. Ezért nem minden avasi nyersanyag típus alkalmas a sütéssel és hőkezeléssel kapcsolatos vizsgálatokra. A kovás kőzetekben 200 °C fölött bekövetkező termikus metamorfózis (Hartai, 2009) kimutatására a legmegbízhatóbb archeometriai vizsgálati módszer az infravörös spektroszkópia (FTIR). A módszer alkalmazásának ötlete már 1992 is felmerült, 2011-től pedig Schmidt és munkatársai használták sikerrel (Domanski és Webb, 1992; Schmidt et al. 2012/a; 2012/b; 2013; 2015; 2016). Ezért kutatásaim során én is a FTIR vizsgálati módszer eredményeire támaszkodtam.

#### **2.4. Megválaszolendő kérdések**

A dolgozatban tárgyalt legalapvetőbb problémakör, hogy bizonyítható-e a sütés technikájának alkalmazása Miskolc, Avas-Tűzköves paleolit bányáiban (Gyenis et al, 2001; Ringer, 2004; Ringer-Szakáll, 2005; Tóth, 2011; Tóth, 2016) és, hogy ennek milyen nyomai vannak a 2002-es ásatási leletanyagban? Azt is meg kellett határozni, hogy ezek a nyomok a Ringer Árpád által leírt nagy tüzes módszerre, vagy a nemzetközi szakirodalomból ismert, egy átlagos tábortűz méretű tüzet szükségeltető módszer alkalmazására utalnak-e (többek között Agricola, 1556; Akerman, 1979; 2006; Faller et. al, 1997; Ringer & Szakáll, 2005). Ehhez szükség volt a tágabb régió őskori kőszköznyersanyag bányáinak és néhány más ősköri régészeti lelőhelyen előkerült leletanyag vizsgálatára is, hiszen a pozitív példák azonosítása a sütéses fejtési módszer avasi használatát is megerősítheti (Tóth, 2016; Tóth & Kristály, 2017).

Egy másik fontos kérdéskör, hogy a makroszkópiusan megfigyelhető termikus stigmák eredete alátámasztható-e az archeometria és a kísérleti régészet módszereivel? Létezik-e olyan avasi limnoszilicit változat, amelyről egyértelműen megállapítható, hogy a nyersanyag hőkezelődéséhez szükséges mértékű hőhatás érte, és ha igen, miben különbözik a többitől? Mikor tekinthető egy termikus stigmákat mutató nyersanyag sültnek és mikor hőkezeltnek?

A problémacsoportok vizsgálata során szem előtt tartottam, hogy a vizsgálati folyamatok könnyen követhetőek és másolhatóak legyenek, valamint, hogy az eredmények a témakör további kutatási projektjeinek alapjául szolgálhassanak.

### **3. MÓDSZEREK**

A problémakör lehető legteljesebb körű vizsgálatát csak több szakterület bevonásával lehetett kielégítően elvégezni. A dolgozat alapjául szolgáló tudományos munka összetettségét folyamatábra szemlélteti (**1. ábra**).

#### **3.1. A Miskolc, Avas-Tűzköves 2002-es ásatási leletanyag**

A 2002-es ásatási leletanyag tudományos feldolgozása és a tágabb régió őskori köeszköznyersanyag bányáinak, valamint néhány más ősköri régészeti lelőhelyen előkerült leletanyag vizsgálata a kutatások kezdetétől a többi szakterületen elért eredmény és részeredmény figyelembevételével folyamatosan zajlott (Tóth, 2016; Tóth & Kristály, 2017; Tóth in Press). A leletanyagot egy-egy új archeometriai eredményből levont következtetés szerint többször is át kellett vizsgálni. A leletanyag tudományos leírását, valamint a szűkebb és tágabb lelőhely (Avas-hegy) és a leletsituáció értékelését újabb és újabb aspektusok alapján kellett megváltoztatni. Ezen kívül nagy szerep jutott a kísérleti régészetnek is.

#### **3.2. Kísérleti régészet terepen és laboratóriumban**

A különböző tüzelőanyagokkal táplált tüzek hőleadó képességét, valamint a különféle kovás kőzetek és az avasi limnoszilit első rekonstruált szabadtéri hőkezeléseit a mérőműszerekkel ellenőrzött (idő-hőmérsékletváltozás függvényében) körülmények között végeztem el (Tóth, 2011; 2016; Tóth & Kristály 2017). A kísérleti és mérési eredmények jelentették az alapját a további terepi rekonstrukciós égetéseknek, melyekkel a természetes- és mezőgazdasági tüzek hatásait, valamint a sütés és hőkezelés különböző módjainak hatékonyságát vizsgáltam meg többféle kovás kőzeten.

A kísérleti régészeti eredmények alapján Kristály Ferencsel (Miskolci Egyetem, Ásvány- és Kőzettani Tanszék) hőkezeltük laboratóriumi hőkezelő kemencében az avasi limnoszilit mintáimat a további összehasonlító archeometriai vizsgálatokhoz és végeztünk egyéb laboratóriumi hőkezelési és termikus kísérleteket avasi és bükki nyersanyagokon. A különböző nyers és hőkezelt mintákat archeometriai vizsgálatoknak vetettük alá.

#### **3.3. Archeometriai vizsgálati módszerek alkalmazása és lehetőségei**

A pattintott köeszköznyersanyagokat ért hőhatást (sütés, hőkezelés stb), a makroszkópos, szemrevételezéssel történő vizsgálatok mellett különféle természettudományos vizsgálati módszerekkel próbálják bizonyítani, vagy kizárni (Weiner, 2012/a). Ehhez szükség volt az avasi limnoszilit átfogó vizsgálatára, különösen pedig a három elkülönített típus közötti különbségek meghatározására is. A módszerek gyakorlati alkalmazásának korlátot szab, hogy többségük lassú, drága és a leletek károsodásával jár. (Schmidt et al. 2012/b). A kiválasztott

régészeti leleteket általában referenciamintákkal vetik össze (Rowney & White, 1997; Zhou et al. 2013).

– ***Paleomágneses kormeghatározás***

A természetes vagy mesterséges hőnek kitett kristályos anyagok a lehűlést követően mindig felveszik és megőrzik a pillanatnyi és helyileg ható mágneses térrel azonos mágnesességet (Sümegei, 2001). Mivel a földi mágneses tér évszázados sebességgel változik, a mérési eredmények és a paleomágneses időskála összevetésével következtetni lehet arra, hogy egy adott leletet ért-e hő (Sümegei, 2001), tehát segítségével elméletileg a hőhatás tényét és korát is meg lehet állapítani. Sajnos ez a jelentős költségekkel járó vizsgálati módszer a hőkezelődés-gyanús kovás kőzetek esetében az eddigi tapasztalatok alapján nem szolgált kielégítő eredményekkel (Domanski & Webb 1992; Cochrane et al. 2012).

– ***Termolumineszcens, vagy TL keltezésen alapuló vizsgálat.***

Ez a költséges kormeghatározó és az Avas-Tűzkövesen egyszer már sikertelenül alkalmazott (Davis & Richter, 2005) vizsgálati módszer csak olyan kovás kőzetek esetében használható, melyeket legalább 500 °C-os hőhatás ért (Renfrew & Bahn, 1999). Bár az Avas-tűzkövesi kovabányák vizsgálata során nagyon hasznos lenne, a TL keltezés hőkezelődés-gyanús limnoszilit-paleolitik kormeghatározására az alacsony minimum-hőmérséklet miatt alkalmatlan (Akridge, & Benoit, 2001; Feathers, 2003; Davis & Richter, 2005, Guibert et al, 2005; Godfrey-Smith et al, 2005; Richter & Temming, 2006; Richter et al. 2011). A dolgozatban később bemutatott tüzes és sütési kísérletek során kiderült, hogy az átlagos tábortűz által az alatta lévő területre leadott hő nem éri el az 500 °C-ot; és az avasi limnoszilit a nyílt tűz okozta közvetlen, hirtelen és nagyfokú hő hatására már pár percen belül szétrobbanhat. Ezek alapján a Tűzkövesen TL keltezésre alkalmas mintákat tartalmazó terület megtalálása szinte lehetetlen, a módszer pedig a paleolitikot ért esetleges hőhatás mértékének megállapítására egyébként sem alkalmas.

– ***Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat (SEM)***

Amikor az elektronmikroszkópban előállított kontrollált, folyamatos elektronnyaláb felgyorsított elektronjai a vizsgálandó mintába csapódnak, a minta geometriai, kémiai összetételi és szerkezeti tulajdonságaitól függően áthaladnak azon, visszaszóródnak róla vagy másodlagos részecskéket váltanak ki belőle. A mintát elhagyó részecskék intenzitásának és energia-eloszlásának a mérésével következtetünk a minta elemi összetételére, valamint belső szerkezeti és morfológiai részleteire (Hegman et al., 2011).

Minden kovás kőzetnek más a minimum kritikus hőkezelődési hőmérséklete (Mercieca & Hiscock, 2008), és az ehhez átlagosan szükséges 200-350 °C közötti hőhatás okozta szerkezeti elváltozás sokszor elenyésző, így azt SEM alkalmazásával nem lehet kellő biztonsággal

megállapítani (Delage & Sunseri 2005; Sunseri & Delage, 2016). A hőkezelés előtti és utáni referenciaminták összetéveszthetőek (Rowney & White, 1997; Miller, Weboldal(a)). Látható és statisztikailag értékelhető morfológiai elváltozásokat – a nyersanyagban található folyadék gőzzé válásakor roncsolódott zárványokat - sütéssel fejtett „kvarc”-ban egyedül a finn Kinnunen tudott kimutatni (Kinnunen, 1993).

– ***Termoanalízis (DTA / TG: Differential thermal analysis, Thermogravimetric analysis)***

A termoanalitikai vizsgálat során a minták valamely fizikai tulajdonságának (pl. tömegének) változását mérjük a hőmérséklet és az idő függvényében, azon pontokat keresve, ahol a minták kémiai formája, kristályszerkezete vagy halmazállapota megváltozik. Ezt a vizsgálati módszert a háromféle avasi limnoszilicít-típus kémiai elkülönítéséhez használtuk fel (**Melléklet III, 1. a-h. táblázat**).

– ***Röntgen-pordiffraktometria.***

Ezzel a vizsgálati módszerrel azonosíthatóak a mintát alkotó fázisok, azok kristályszerkezetére vonatkozó részletek, a krisztallitok méretére és alakjára vonatkozó statisztikus adatok is meghatározhatók (Hegman et al. 2011). A röntgen pordiffrakciós vizsgálat során a röntgensugarak szilárd anyaggal való kölcsönhatásuk során úgy szóródnak, hogy abból következtetünk az anyag kémiai összetételére, szerkezetére, sőt egyéb fizikai tulajdonságaira is. Ezzel a vizsgálati módszerrel hasonlítottuk össze az avasi limnoszilicít és más pattintott kőeszköznyersanyagok, illetve a három avasi limnoszilicít-típus (AVK I-III.) ásványtani jellemzőit is.

– ***Nyomószilárdság-vizsgálat***

A vizsgálat során: „*állandó sebességű keresztfej-elmozdulás mellett mértük az erőt és az elmozdulást*” (Mikó Tamás). A hőkezelt kovás kőzetek könnyebben pattannak a hőkezeletleneknél, tehát nyomószilárdságuk csökken. Ezzel a vizsgálati módszerrel kideríthető, hogy egy hőkezelési kísérlet után színváltozást mutató kova valóban hőkezelődött-e.

– ***Infravörös-spektroszkópia***

Az infravörös spektroszkópia (a továbbiakban: FTIR) a rezgési spektroszkópia egyik formája, az analitikai kémia egy elemzési módszere, a színképelemzés (spektroszkópia) tárgykörébe tartozik. A módszer lényege, hogy a vizsgálandó mintát besugározzuk az infravörös sugárzás tartományába eső elektromágneses sugárzással, és a mintán áteső vagy a mintáról visszaverődő, a minta molekuláris tulajdonságai által módosított sugárzás változását mérjük. Hőkezelés-nyanús kovás kőzetek archeometriai vizsgálata során az FTIR az egyik leggyakrabban használt analitikai módszer kőzetek szerkezetének azonosítására, részfolyamatok nyomon követésére (Domansky & Webb, 1992; Schmidt et al. 2011; 2012/a, /b, 2015). Pattintott

kőszekőnyersanyagok esetében a minták felszínén elhelyezkedő szilanol csoportokban és a minták nyitott pórusaiban lévő vízmolekulák közötti H kötések erőssége alapján ezzel a gyors és olcsó módszerrel még a pontos hőkezelési hőmérséklet is kideríthető (Schmidt et al, 2012/a).

### **3.4. Referenciaminták**

Az archeometriai vizsgálatok alá vetett 40 db minta, illetve azok mérési eredményeinek (Melléklet III, 1. táblázat) fele képezi részét a dolgozatnak. Ezek részben nyers és laboratóriumi hőkezelő kemencében hőkezelt avasi limnosziliticitek (AVK I-III., „referenciaminták”), melyek vizsgálati eredményeit összevethettük a 2002-es ásatási leletanyagból és más régészeti lelőhelyek ásatásai során előkerült, termikus stigmákat hordozó leletekből vett minták vizsgálati eredményeivel. A minták másik felének vizsgálatai részben még zajlanak, részben külön cikkben kerültek közlésre az eredmények (Tóth & Kristály, 2017).

### **3.5. Nemzetközi kutatási eredmények**

A kovás kőzetek sütéses fejtésével foglalkozó szakirodalom a hőkezelési módszereket, illetve a hőkezelt kovás kőzetek archeometriai vizsgálatát tárgyaló szakirodalomnak alig tized részét teszi ki. Ennek oka a nehezen fejthető, darabolható kovás kőzetek viszonylagos ritkasága, vagy éppen ellenkezőleg, a kovabányászat során előbukkanó, váltakozó minőségű és kiterjedésű, alakú és kéregvastagságú nyersanyag fejtésére nagyrészt opcionálisan bevetett sütés nyomainak fel nem ismerése lehet (Weisgerber & Willies, 2001). Itt kell megemlítenem Bordes (1969/a; /b) felvetését, miszerint már a hőkezelés alkalmazásának nyomait is nehezen ismeri fel az avatatlan régész. Ha nem hőkezelő kemencében történik a nyersanyag átmelegítése, ahol a hőmérséklet mindenhol ugyanakkora, a kovadarabok nem hevülnek át azonos mértékben. Számos nyersanyagtípusban nincs elég vasoxid az elszíneződéshez, míg más nyersanyagok finomabb minőségű változatai jobban elszíneződnek a durvább változatoknál. Részleges elszíneződés esetén a munkadarab megmunkálása során az elszíneződött részek le is pattinthatók. A fentebb említett okok miatt is nehéz a módszer nyomait felismerni.

A témakörrel foglalkozó korai és legújabb nemzetközi kutatási eredmények is nagyszerű kiindulópontot és fogódzót jelentettek kutatásaim során, megkönnyítve az archeometriai vizsgálatok elvégzését, valamint a sütés és hőkezelés módszerének, alkalmazásának és jellemzőinek pontos elkülönítését.

#### 4. RÉGÉSZETI LELETANYAGKEVEREDÉS ÉS -FELDOLGOZÁS AZ AVASON

Az Avason előkerült kőkori leletanyagok egy része a legkülönbözőbb természeti és emberi hatások következtében erősen átforgatott és keveredett (például Avas, Tréky-Török szőlő, **Melléklet II, 3. ábra**) (Vértes, 1965; Tóth, 1975; Simán, 1979/a, /b, 1986, Tóth in press). Ez alól például az avas-alsószentgyörgyi őskori település-leletanyagok képeznek kivételt, ahol a többnyire sértetlen rétegsorokban talált leletek viszonylag könnyen osztályozhatóak (**Melléklet II, 4-5. ábra**) (Simán, 1986; Nagy, 2013; Tóth, in press). Mikor és miért történt ez a keveredés? A válaszokat időrendben visszafelé haladva adom meg: az Avas talajszerkezete és meredek lejtői mindig jelentős lejtőmozgások kiváltó okai lehettek (**Melléklet II, 6. ábra**) (Hartai & Szakáll, 2005). A mezőgazdasági művelés, ti. a XX. század eleji tereprendezés és mélyszántások miatt (Papp, 1908; Simán, 1995/b; Tóth, in press) az addig még ép régészeti rétegek rongálódásával számolhatunk. Az ezt megelőző leletanyag-keveredési ok az Avas-tetőn folyó őskori mélyszíni bányászat lehetett (**Melléklet II, 7-9. ábra**).

A keveredés dacára Avas-Tűzkövesen a középső- és felső paleolitikum emberének fejtési tevékenysége ásatással igazolt (Gyenis et al. 2001; Ringer, 2004; Ringer & Szakáll, 2005). Simán Katalin (1979/a; /b; 1995/b) a Hillebrand Jenő és Leszih Andor vezetésével 1928 és 1935 között folytatott ásatások során előkerült kovabánya művelési idejét a késő neolitikum és a középkor közé helyezte (Hillebrand, 1928). A Seemayer Miklós javaslatára végzett ásatások során (Seemayer, 1929; Ringer, 2004) előkerült kutatógödrök, aknák, tárnák és folyosók, valamint a kísérő leletek, t.i. csiszolt kőbalta-töredék, háziasított kecske szarvcsapja, lombhullató fák faszénmaradványai alapján a datálás valószínűleg helyes.

Mivel azonban a pattintott kőszköznyersanyag bányák művelési módjait elsősorban a lelőhely geológiája határozta meg, a Pergola helyén talált mélyszíni avasi limnoszilit fejtőket akár már a paleolitikum idején is nyithatták (Gayck, 2000). Kevésbé kötött fedőtalajú kovabányáknál a munkálatok balesetmentes elvégzése érdekében ezeket a földrétegeket eltávolíthatták (Gayck, 2000; Schyle, 2010), a bányaterület vándorlása, új gödrök nyitása alkalmával pedig ezeket a földtömegeket az időközben keletkezett bányameddővel együtt a kimerült részekbe tölthették, illetve áthelyezhették. (Schyle, 2010). Az Avas esetében részben ezzel tölthették fel a felhagyott aknákat, illetve egyszerűen letolhatták a hegyoldalakon.

A hegy lejtőin a XX. század során előkerült – válogatva felgyűjtött – szórványleletek (Vértes, 1965; Tóth, 1975; Tóth, in press); illetve az 1928 és 1935 közötti ásatások során a Hillebrand által korhatározónak tartott paleolit (Simán, 1979/a; 1995/b) alapján feltételezhető, hogy a mélyszíni művelésű limnoszilit bányászat és a későbbi természeti és emberi eredetű talajmozgások az Avas tetőn középső- és felső paleolit településnyomokat pusztítottak el. Az

innen elmozdított paleolitikus részben az Avas-Tűzköves paleolitikus bányaterületeire kerülhettek és műhelylelőhelyeinek leletanyagaival is keveredhettek (**Melléklet II, 6. ábra**).

Az 1989-es ásatás során Ringer Árpád az ásatási szelvény délnyugati sarkában egy 1, 8 m mély (1 méterrel a kovapad alá érő), a kísérőleletek alapján középső paleolitikus beásást figyelt meg, amivel a neander-völgyi bányászok mélyebben fekvő kovapadot kereshettek (Vermeersch et al., 1984; Vermeersch et al., 1995; Vermeersch & Paulissen, 1997; Ringer & Szakáll, 2005). Ennek igazolása megerősítené a terület európai viszonylatban is kiemelkedő fontosságát. Bányaterületen található kő leletanyag alapján általában nem lehet relatív kormeghatározást végezni, tehát sem a terület használatának korát, sem a használók kulturális besorolását nem lehet megállapítani, mivel más telepekhez vagy temetőkhöz képest itt főleg félkész vagy nem specifikus leletanyag kerül elő (Gayck, 2000).

A Tűzköves paleolitikus bányái, műhelyei és táborai látó- és hallótávolságban lehettek egymástól. A limnoszilit rétegek elhelyezkedéséből fakadóan (Hartai & Szakáll 2005; Ringer & Szakáll, 2005; Kozák et al., 2014) a természetes erózió, illetve a Gábori Csánk (1990) által ásott farkasréti szarukőbányához többé-kevésbé hasonló teraszos, több lépcsős fejtési mód miatt viszont sajnos ezek a leletanyagok is nagyrészt kevertek. Mivel az elsődleges feldolgozó telepek (Holló et al. 2001; 2002; 2004) a bányával együtt vándoroltak (Vermeersch, 2005), a meddőt és a gyártási hulladékot pedig valószínűleg a műhelyterületek (műhelyszintek) peremére helyezték, az erózió és a több szinten folyó fejtés miatt szintén nagyfokú keveredéssel számolhatunk. Ez a keveredés attól függően lett kisebb vagy nagyobb mértékű, hogy az egymás fölötti szinteken azonos, vagy különböző korokban fejtették a limnoszilitet.

Ha a paleolitikus leletanyag-keveredéshez hozzávesszük a későbbi korokban bekövetkezett keveredést, illetve a gyártási- és bányahulladék (törmelékek, töredékek, elrontott szupportok) túlnyomó arányát, nem okoznak meglepetést az olyan leletanyag-értékelések, miszerint a leletanyag kevés és atipikus (Tóth, 1975). Az Avason lévő szabad telepek anyaga sokrétű kevert korú leletanyag, ami a nyersanyagforrás korokon és korszakokon átívelő ismeretére és használatára utal (Tóth, 1975). A leletek többsége kőszilánk vagy tömb, elvéve eszköz. A legtöbb a nyersanyag-tömb, jelentős még a magkő és a magkőről az előkészítés során lepattintott szilánkok és durva pengék aránya, valamint a szintén gyártási hulladék jellegű kéregdarab (Simán, 1979/a). *„A fent említett ötszáz darab kova 1 % -a eszköz, főleg retusált szilánk, de előfordul néhány vakaró és véső is. Tipológiai vonásaik nem annyira karakteresek, hogy közelebbi meghatározást tennének lehetővé”* (Szolyák & Mester, 2011). Ezért különösen fontosak egyrészt az avas-alsószentgyörgyi ásatási leletanyagok, ahol a 30-40 cm mélységben átforgatott talajtakaró alatt mind a középső-, mind a felső paleolitikus kultúrrétegeket megtalálták, illetve egy azonos korú, kulturálisan viszont mindkét időszakra besorolható kevert leletanyag

is előkerült (Simán, 1986; Nagy, 2013; Tóth, in press), másrészt az Avas-Tűzköves 1988 és 2005 között megásott lelőhelyeinek leletanyagai.

„1988-ban útépítés alkalmával a Tűzkövesen egy középső őskőkori, a neander-völgyi ember korából származó lelőhely került elő, amely két részből: egy településhelyből és egy hozzá tartozó kovakitermelő- és bányahelyből állt. A lelőhely lakórészén az ún. „Levalloiso-Moustérien” típusos kőszerszámai, a bánya- és műhelyrészben pedig a kifejtett kovatörmelék mellett az eszközkészítés jellegzetes félgyártmányai és készeszközök kerültek elő” (...) A 2001-es ásatáson végérvényesen tisztázódott, hogy a Levalloiso-Moustérien mellett a neander-völgyiek egy másik népessége is fejtette itt a kovakövet, akik valóságos mesterei voltak a bányászkodásnak. Kultúrájuk a Szeleta-barlangból ismertté vált Moustérien II” (Ringer in Gyenis et al., 2001). Az 1992-es ásatáson szintén a Levallois és az átmeneti kor *Denticule Moustérien* leletei kerültek elő; a 2001-2002-es ásatások során pedig a Gaál és Huszár szőlőkben, az 1989-es ásatási területtől nem messze, 0,9 méteres mélységben került elő a jellegzetes, őskori bányahulladékos réteg (Ringer & Szakáll, 2005). A 2004-2005-ben Ringer Árpád vezetésével végzett ásatásokon a középső paleolit és átmeneti-kori moustérien leletek mellett a közép-európai *Micoquien* kultúra eszközei is előkerültek (Ringer & Szakáll, 2005). A leletanyagok állandó darabjai a különböző felső paleolit magkövek is.

A pontosabb kormeghatározás érdekében Ringer (1993) kandidátusi értekezésében az Avas keleti lejtőjén, 180 m tszf. magasságban található szelvény talajmintáit korrelálta a bükki barlangok paleotalajaival:

„0,7 m mélységig: kb. 1, 29 % humusztartalmú, löszös-homokos agyag. 4,3 %  $\text{CaCO}_3$  komponensű, 7, 6 pH-jú szubaerikus üledék. Színe sárgásbarna. "Ásványtani összetételében a kvarc (28 %) és a csillám + hidrocillám (20 %) dominál. A mésztartalomhoz hasonló mértékű kalcit viszonylag magas aránya (4 %) a montmorillonit és a klorit szintén jelentős 15-15 %-os előfordulásával arra utal, hogy a réteg a felőle lepusztult talaj felhalmozódási szintje volt. (...) 0,7-1,0 m: 2,05 % humusztartalmú, löszös-homokos agyag. pH: 7. "Pseudomicéliumos, szürke színű, morzsalékos szerkezetű paleo sztyeppet talaj. (...) Ez a fosszilis talajképződmény az alatta 0,5 m-rel mélyebben fekvővel együtt jellegzetes "kettős" paleotalaj együttes, amelyeket az északkelet-magyarországi felső-pleisztocén kronosztratigráfiájában MA1 (Miskolc Avas-Tűzköves 1) és MA2 (Miskolc Avas-Tűzköves 2) jelzéssel láthatjuk el." Ezek valószínűleg az Oerel-Glinde kettős felmelegedéssel hozhatóak összefüggésbe a 4. oxigén-izotópos stádiumon belül (Suba-lyuk barlang S6-S7 rétegei)".

Az avasi limnoszilit bányák művelési idejére a régió más őskori – barlangi és nyílt színi lelőhelyein előkerült avasi nyersanyagból készült, régészetiileg egyértelműen besorolható paleolitok alapján is következtethetünk. A Miskolc környéki nyíltszíni lelőhelyeken található,



az avasival rokon leletanyagokról már Tóth Lajos beszámol (Tóth, 1975). A középső paleolit Bábonyien kultúra névadó lelőhelyén is szép számmal kerültek elő avasi limnoszilit paleolitok (Ringer, 1983). A Suba-lyuk moustérien kultúrái szintén használták ezt a nyersanyagot is (Mester, 1989; 2005; 2008; Ringer, 2004). A régióban a középső paleolitikumhoz képest jelentősen megnőtt az avasi nyersanyag használata a felső paleolitikum idején (Mester, 2005).

A Szeleta-barlang túlnyomó részt avasi limnoszilitből készült paleolitokat tartalmazó rétegeinek (5-6. réteg, "Fejlett Szeleta"; 3. réteg felső része, „Korai Szeleta”) kora 38-22 ezer év (Ringer & Szakáll 2005), a legújabb vizsgálati eredmények szerint pedig 44 ezer és 41 ezer év (Hauck et al, 2016). Ezekre a paleolit anyagokra jellemzőek az eszközökké átalakított elhasznált magkövek, fogazott és egyszerű, folytonos élretusú szilánkok és pengék, valamint a felső paleolit jellegű vakarók és vésők (Ringer & Mester, 2000). Ringer Árpád és Mester Zsolt 2005-ben külön-külön cikkben mutatták be a bükki barlangokban előkerült jellegzetes avasi limnoszilit leleteket: Szeleta-barlang, 3. réteg; Suba-lyuk, 11. réteg; Suba-lyuk, 6. réteg; Szeleta-barlang, 6. réteg; Herman Ottó-barlang, 2. réteg (Mester, 2005; Ringer & Szakáll, 2005). A Herman Ottó-barlang felső paleolit leletanyagában szintén jelentős számú avasi nyersanyagból készült paleolit került elő (Szolyák, 2009/a, /b). Az avasi limnoszilit a felső paleolitikum során egészen a Heves megyei Andornaktálya-Zúgó-dűlő, fiatal aurignacien korú lelőhelyéig eljutott (Mester, 2010; Mester & Kozłowski, 2012). Az Avas lábánál folytatott Molotov utcai ásatások (Papszer u. 42, 1958), során talált csonkolt pengék és *diédre* vésők a gravetti kultúrára utalnak (Ringer & Szakáll, 2005). A velük együtt talált, nagyméretű pengemagkövek zömében nagyon jó minőségű nyersanyagból készültek. Feltűnnek a Lengyel (2016) által kelet-közép-európai késő-gravettinek (i.e. 26-21 ezer év) meghatározott Sajószentpéter, Margit-kapu-dűlő, valamint a felső paleolitikum végére tehető Miskolc, Rózsás-hegy, és Miskolc, Harsányi úti elágazás lelőhelyek leletanyagában is (Ringer & Holló, 2001; Ringer & Lengyel, 2001; Szolyák, 2009/a). A nyersanyagot Kompolt-Kistér neolitik leletanyagában is azonosították (T. Biró, 1999).

#### **4.1. A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett ásatás leletanyaga**

A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002 nyarán Ringer Árpád vezetésével végzett ásatás (Melléklet II, 2. ábra) során a 10 m<sup>2</sup> alapterületű ásatási szelvényből rendkívül gazdag leletanyag: 9980 db, együttesen 79811 g tömegű lelet került elő. Ezek egy része helyileg beazonosíthatatlan felszíni szórvány - eszközök, szupportok, pattinték és törmelék -, amely a szelvény helyének megtisztítása során került begyűjtésre. A leletanyagnak ez a 3304 darabot számláló, 11752 g súlyú része kimaradt az értékelésből, ám a táblázatban található termikus

hatást mutató leletek aránya a teljes leletanyag alapján lett kiszámolva (**8.4. fejezet**). Pontos helyük ismerete valószínűleg nem változtatott volna jelentősen a kapott eredményeken (**Melléklet III, 2. táblázat**).

A leletanyag feldolgozása során a pontatlan dokumentáció mellett nehézséget okozott a leletek nehéz visszaazonosítása is. A leleteket tartalmazó zsákok egy része hibásan lett feliratozva, sok esetben például a szelvényfalaktól mért távolságok metszéspontja nem egyezett az ásatási négyzet számával; hiányzott a pontos mélység vagy a pontos ásatási négyzet megnevezése. Ezen kívül nagyon szép leletek kerültek a beazonosíthatatlan szórványok nagy zsákjaiba, míg a majd tízezres darabszámú leletanyag alig köbcenti méretű kéregtörédei tömegével lettek pontosan bemérve és egyesével nagy papírtasakba csomagolva, nagymértékben lassítva a teljes leletsituáció rekonstrukcióját. Az ásatás során feltárt régészeti rétegekkel nem állt módomban behatóan foglalkozni - a pár fotó alapján ezt nem is tehettem volna meg -, de a leletanyag nagyfokú keveredése az előző fejezetben említett okokból valószínűleg az ásatási rétegsort is jellemzi.

A leletanyag felosztásában fontos szerepet tulajdonítottam a leletek tömegének, hiszen például a kortextörmeléket, a kortexes avasi kovatörmeléket, a faszénmaradványt és az okkert/festéket - éppen töredék és törmelék voltuk, porózus szerkezetük miatt - érdekesebb grammban, mint darabban mérni és kezelni. A különböző darabok és leletcsoportok tömegének megadása a később tárgyalandó töréstesztekkel összefüggésben szintén megkerülhetetlen; ez egy bányalelőhelynél és másod-, illetve harmadlagosan áthelyezett leletanyag esetében egyébként is előtérbe helyezendő. Ezzel ellentétben a különböző palaeolit típuscsoportok jellemzésekor röviden ismertetem azok darabszámát, átlagméreteit, valamint főbb tipológiai jellemzőit is.

Az ásatási szelvény felszínétől számított 40 cm-es mélységig, az igen átforgatott felső rétegben került elő a leletanyag nagy része (**Melléklet II, 10. ábra**). A kavicsokat és vasdarabokat leszámítva az itt előkerült, számításaim szerint 4970 db lelet 49 838 g-ot nyomott. A 40-60 cm közötti mélységben már csak 1303 db, 12 804 g összsúlyú lelet volt található. 60 cm-nél mélyebbről pedig csak 347 db (5055 g) lelet került napvilágra. A leletek szóródása szinte minden alcsoportban hasonló az összképhez: a felső zónában a szelvény északi és déli végében található két-két négyzet közelében koncentrálódik a leletek többsége, különösen a 3. és 8. négyzet leletszegény. A második zónában ismét a közepén található négyzetek a leginkább leletszegények, míg ez a harmadik zóna minden négyzetére jellemző, az északi szélen található kisebb leletkoncentrációt kivéve. A harmadik zóna alján az ásatók egy elbányászott kovapad alsó kortextrétegét bontották ki (az avasi limnoszilit kortextrétege többnyire nagyon nehezen válik el a köeszköznyersanyagtól, hő hatására is csak darabosan). A szelvény középső sávjának

a széleihez képest viszonylagos lelethiányát valószínűleg vagy a területen korábban folyt mezőgazdasági művelés, vagy földcsuszamlás, esetleg időszakos vízfolyás okozhatta. A leletek mélységi zónánként való aránytalan eloszlása szintén ismeretlen idejű emberi tevékenységhez köthető (Lanzinger, 1986). Akár már a paleolit kovabánya művelői is a keveredés okozói lehettek.

#### 4.1.1. Szilánkok és pengeszerű szilánkok

A leletanyag szilánkjainak és pengeszerű szilánkjainak (330 db szilánk, 45 db pengeszerű szilánk) többsége igen kisméretű; az átlagméretük 10,8 x 34,23 x 38,18 mm. Többségük 40 cm mélység fölött került elő. Zónánkénti megoszlásuk egyezik a teljes leletanyag elhelyezkedésével kapcsolatban leírtakkal. A pengeszerű szilánkok a kilencszer több szilánk között egyenletesen oszlottak el, nyersanyaguk viszont túlnyomó többségben egy fehér színű, homogén avasi limnoszilit-változat. Műhelyelőhelyre utalhat a facettált talonú szilánkok és pengeszerű szilánkok viszonylag magas száma (9 % és 6 %). A szilánkok bulbusa többnyire széles és domború, de előfordul a teljesen sík bulbus is. A szilánkok leválasztási szöge 80° és 95° között, a pengeszerű szilánkoké pedig 75° és 90° között váltakozik. Mind a bifaciális megmunkálás, mind a pengemagkő-kialakítás során keletkező szilánkok megtalálhatóak a leletanyagban. A szilánktöredékek száma is jelentős; ennek oka, hogy főleg a durva kristályos nyersanyagoknál gyakran jelentkező leválasztási hibák, zárványok stb. az ütés impulzusát olyan mértékben vissza tudják dobni, amely interferenciákat okoz, amik a leválasztandó szilánkot még az ütés/leválasztás pillanatában több darabra törik szét. Gyakran előfordul az is, hogy kis repedések vagy gyengébb belső szövethatárok miatt/mentén egy keményütős ütéstől egyszerre több szilánk is leválik és – főleg durvakristályos szerkezetű nyersanyagoknál – előfordul, hogy a bulbus közepén törnek el (*Sirét* törés) a keményütővel leválasztott szilánkok (Vollbrecht, 1997; Holló et al. 2004; Jöris, 2008).

#### 4.1.2. Pengék és lamellák

Összesen 118 db penge és pengetöredék került elő a korábban már bemutatott zónánkénti és négyzetenkénti eloszlásban. A 2 db gerincpenge a felső 40 cm-es mélységből került elő a két legdélebbi négyzetben. A 3 db perempenge a szelvény másik végében került elő 40-60 cm közötti mélységben. A nyolc előkerült lamella (és lamellatöredék) közül hét a legfelső zónában, míg egy a 60 cm alatti, északi leletkoncentrációban került elő. A felső zónában előkerült lamellák közül kettő egy ugyanott talált felső palaeolit, barna színű radiolaritkavicsból készült lamellamagkőhöz köthető, de sajnos nem összeilleszthetőek. A különböző zónákban Levallois pengék is előkerültek; többségük a 40 cm fölötti rétegekből, ami szintén a leletanyag nagyfokú keveredését mutatja. A leletek 81 %-a háromszög, a maradék pedig trapéz, ill. öt-, hatszög

keresztmetszetű. A meglévő talonok 67 % facettált (sokkal magasabb arány, mint a szilánkok esetében), 15 % rendelkezik pontszerű, 9 % kétlapú, 3 % vonalszerű talonnal. A sima talon aránya mindössze 6 %. A bulbus többnyire lapos, a leválasztás szöge 75°-nál nagyobb. A pengék és pengetöredékek átlagos mérete 8,56 x 21,2 x 40,87 mm. A pengék közül három levallois penge, kettő gerincpenge, három perempenge, öt *refléchi* („beletörött”) penge és egy *outrépassé* („túlfutott”) penge. Az avasi limnoszilicit jellege miatt a pengék és pengetöredékek egy részének az egyik oldala kortexszel borított. Gyakori előfordulásuk fő oka minden bizonnyal az avasi limnoszilicit-padok feldarabolásakor keletkezett hasáb alakú, két oldalukon kortextréggel borított kiindulási darabok lehetnek. A pattintók a nyersanyagdarab természetes élet használhatták vezetőbordának. Nyelv alakú törés 30 esetben volt megfigyelhető. Belga, brit, német és lengyel lelőhelyeken igen korai, Levallois technológiájú paleolitokkal kevert középső paleolit penge- sőt, lamellai parok nyomaira bukkantak (Bosinski, 1986; Conard, 2012; Weiner, 2012/c). Ilyen lelőhelyek pl. Korschebroich-Kleinenbroich; Buhlen késői középső paleolit I-II/4. rétege; Rissori, Crayford, Tönchesberg, Piekary vagy a G. Bosinski által ásott, Rheindahlen, Ziegeleigrube Dreesen lelőhely fakó színű, pengetechnológiás rétege, ami az Eem talaj és a Würm-löss között helyezkedett el (Fiedler, 1983; Bosinski, 1986; Conard, 2012; Baales & Pollmann & Stapel, 2013). Ebben a kutatási irányban a keveredés miatt nem tudtam elindulni. Az avasi limnoszilicit tulajdonságaiból adódóan a hasáb alakú nyersanyagtömbök szilánkolását az egyik élük eltávolításával lehet a legkönnyebben megkezdeni, ami többnyire egy háromszög keresztmetszetű pengét vagy pengeszerű szilánkot eredményez. A környező régészeti lelőhelyek leletanyagai alapján a pengék többsége felső paleolit-, vagy még fiatalabb korú lehet. A Miskolc-Avas-Tűzköves 2002-es ásatási leletanyagában egy olyan gerincpenge található (Ltsz. 2003. 6. 551.), melynek bordáját valószínűleg 2, arra merőleges levallois leválasztás negatívja alkotja. Az is elképzelhető, hogy egy szemidiszteroid magkő lett átalakítva pengemagkővé. Hogy ezt még a középső paleolitikum idején készítették, vagy a modern ember használt fel egy felhagyott Levallois magkövet, nem lehet megállapítani (Richter, 2012).

#### 4.1.3. Magkövek

Az ásatáson 72 db magkő került elő. Ezek többsége szilánkmagkő, de ezek mindenhol keverve fordulnak elő, főleg erősen ledolgozott egy- és több leválasztási irányú pengemagkövek, valamint hat darab lamellamagkő mellett (**Melléklet II, 20. ábra, 1-3.**). Az ásatási rétegekben való megoszlásukat a 11. ábra mutatja (**Melléklet II, 11. ábra**). Egy szürkés, áttetsző avasi kovaváloztatból készült, mikrorepedésekkel átszőtt, kortexes, plaketszerű szilánkmagkövet azért emelek ki, mert két ezzel megegyező darab a 2001-ben végzett avas-tűzkövesi ásatáson is előkerült (Ringer & Szakáll, 2005; Fiedler, 2012). Ezt az avasi

limnoszilicítváltózatot főleg a levallois technológiát használó népesség fejtette, de a diszkoid magköves redukciós stratégiát egészen a neolitikumig alkalmazták (Fiedler, 2012). Ezek a darabok minden bizonnyal a talajmozgással kerülhettek különböző helyekre.

#### 4.1.4. **Opálos kortextörmelékek és kortexes avasi limnoszilicít-törmelékek**

A leletanyag legnagyobb részét (45 870 g-ot) ez a két csoport teszi ki. Eloszlásuk az ásatási szelvényben és a három zónában igazodik a leletanyag többi részéhez. Egyértelműen az avasi kova fejtésének maradványai, amik részben az Avas lejtőinek különböző szintjein nyitott fejtőkől kerülhettek a szelvény területére a különböző korokban (**Melléklet II, 12-13. ábra**).

#### 4.1.5. **Eszközök**

A 136 db eszköz a leletanyag 2,06 %-át teszi ki. Az eszközök túlnyomórészt a felhasznált nyersanyagok (az avasi kova változatai és a kovás metariolit) különösen gyenge minőségű változataiból készültek, vagy éppen - a lelőhelyre jellemző módon - változatos alakú törmelékeken és szilánkokon alakították ki őket. Így nehezen ismerhetőek fel és nehezen határozhatóak meg, különösen a kombinált eszközök. Csak néhány, a legkülönbözőbb kultúrákba tartozó eszköz típusos kidolgozású. Elmondható, hogy a kaparók túlsúlyban vannak. Az eszközök térbeli eloszlása is igazodik a leletanyag többi részéhez.

#### 4.1.6. **Ütőkövek**

A 7 ütőkő közül egy sem került elő 60 cm-nél mélyebbről, ennek kivételével térbeli eloszlásuk a szokásos képet mutatja (**Melléklet II, 14. ábra**) (Weiner, 2012/b). A kis tömegű, valószínűleg a debitázshoz és a faszonázshoz használt, öklömnyi és tyúktojásnyi nagyságú kvarc ütőkövek és ütőkő-töredékek mellett a kovabányászat szempontjából a 4500 g súlyú, sárgás színű átkováódott kőzetből készült hosszúkás ütőkő a legfontosabb lelet (**Melléklet I, 1. fotó**) (Weiner, 2012/b). Hosszanti végein nagy erejű becsapódások nyomait viseli. Hasonló súlyú ütőkő az Avason az „Arborétum” területén jelenleg is látható. A leletanyag legnagyobb ütőkövének különösen fontos ismertetőjegye, hogy egyik csúcsa több száz °C-os hő hatására harántirányban vörösre színeződött (tehát a kő csúcsa enyhén megdőlvén kiállhatott a földből, vagy legalábbis csak pár centiméternyire lehetett a föld felszínétől). Amennyiben a hőhatás nem természetes eredetű volt, nem tekinthető valószínűnek, hogy az ütőkövet (és csak a csúcsát) szándékosan hevítették át. Nagy súlya és rendeltetése miatt nem szerepel a termikus hatásnak kitett kovaleletek vizsgálatában. A Simán Katalin által említett, az 1928-35-ös ásatások leletanyagából és Lábatlan-Pisznice-tetőről származó kvarcít „*chopper-like hammerstones*” nem találhatóak meg a leletanyagban (Simán, 1979/a; 1995/b.) A jelen dolgozatban bemutatott avasi limnoszilicít törésszethez használt ütőkövekből keletkeztek hasonló jellegű darabok.

#### 4.1.7. **Tűzkövek**

A miskolci Avas egy része is a „tűzkövekről” az őskori, ókori, középkori és újkori tűzkészég fontos darabjairól kapta a nevét (Simán, 1979/a; /b; Hála, 1986; Garam, 2011) A legidősebb tűzkészég a Vogelherd barlang egyik aurignacien rétegéből került elő (Weiner, 2012/d; /e). Az ő- és ókorban nem igazán léteztek külön meghatározható tűzkőformák. Ezek lehetnek lapos kovagumók, szilánkok, pengék, eszközök. Mivel ezeket nem könnyű a paleolit leletektől elkülöníteni, erre nem is tettem kísérletet. A leletanyag puskakovát és puskakova töredéket (Weiner, 2012/e) nem tartalmazott.

#### 4.1.8. **A leletanyagban található metariolitok és az „egyetemvárosi nyersanyag”**

A nem avasi kova nyersanyagú palaeolitok legnagyobb része (105 db) metariolítból készült (**Melléklet II, 15. ábra**). Többségük egyszerű szilánk vagy pengetőredék. A metariolit leletek térbeli elhelyezkedése valamivel különbözik a többi nyersanyagétól: 40-60 cm közötti mélységben a szelvény egyébként régészetileg szegényes közepén található egy nagy koncentráció (29 db). Ezek közül 6 db fehérre égett. Az egyetemvárosi nyersanyag forrása az Avastól alig egy kilométerre található, az egyetem B/2 épülete mögött. Ennek ellenére mindössze 13 db (csak törmelékek) található a leletanyagban.

#### 4.1.9. **Festékek**

Az ásatás során 201 g sárgás és téglavörös színű okker került elő (**Melléklet II, 16. ábra**). Ez a porózus anyag intenzív hőhatásra akár percek alatt is elszíneződhet. Az égett darabok két ásatási szinthez köthetők. 2 db a felső 40 cm-es zónában került elő, egy az ásatási szelvény északi, egy pedig a déli szélén. A másik két égett vörös színű festékdarabra pedig az északi 1. négyzet leletkoncentrációjában, 71 és 73 cm mélységben bukkantak.

#### 4.1.10. **„Modern” leletek**

Összesen 26 db, egyértelműen nem a palaeolitikum korához tartozó (és csont) lelet került elő az ásatás során (**Melléklet II, 17. ábra**). Ezek elhelyezkedéséből következtetések vonhatóak le a talajmozgást és a leletanyag keveredését illetően. A többségében zöld és sárga mázas kerámiatöredékek az 1. számú négyzet (3 db) kivételével az ásatási szelvény déli felében (3-4-5, 8, 10 négyzet) kerültek elő. 11 db kerámiatöredék 40 cm feletti zónából származik. A 40-60 cm közötti mélységből 2 db került elő a 4. és 10. négyzet területén. Tehát elmondható, hogy a kerámiatöredékek a szelvény déli részén, kis mélységben csoportosulnak. Ugyanezen a területen és hasonló eloszlásban került elő a 6 db csontlelet is. Egy ólomlövedék ugyanitt, a 10. négyzetből került elő, 42 cm mélységben. Elmondható, hogy a szelvény déli felében a „modern” leletek elég mélyre lejutottak, de a 60 cm-nél mélyebb terület tisztának mondható. Mivel ott a

paleolitik is különböző korúak (pl. *denticules* eszközök és lamellamagkövek fordulnak elő együtt), a leletanyag nagyon korai keveredése, míg a szelvény déli felében a korai keveredés mellett a modern keveredés (mezőgazdasági művelés) is feltételezhető. Ennek nyomán kerülhettek túlnyomóan az ásatási szelvény felső szintjébe az olyan világosszürke színű, sárgás sávózású avasi kovaváltozatból készült levallois és levallois jellegű pengék és szilánkok, mint amilyenek az Avas-Tűzköves 1988-89-es ásatása során a 60 ezer évnél is idősebbre becsült leletegyüttes nagy részét alkották (Gyenis et al, 2001; Ringer, 2003).

#### 4.1.11. Fő leletek és összeilleszthető leletek

Az összesen két összeilleszthető lelet a 6. négyzetben 75 cm mélyen egymástól alig 15 cm távolságra előkerült két -barna színű avasi kova nyersanyagú-szilánktöredék (2003.6.211 és 2003.6.222). Alakjuk miatt a termikus hatás érte darabok közé soroltam, majd a Herman Ottó Múzeum jóvoltából a laboratóriumi kísérletsorozat mintái közé vehettük őket.

A következő, igaz, nem összeilleszthető, de nyersanyaguknál (valószínűleg a Sajóból származó radiolarit kavics) fogva összetartozó 3 lelet kivétel nélkül 10-től 40 cm mélységig került elő egymástól 60, ill. 250 cm távolságra. Szóródásuk igazolhatja azt a felvetést, hogy a kis mélységben előkerült leletanyag két részletben csúszhatott le a lelőhelyre a hegyoldal felsőbb részeiről, és vagy egy földcsuszamlás, vagy egy újkori szántás a szelvény közepéből elhúzta a leletanyag egy részét. A három lelet egyike egy felső paleolitik lamellamagkő a 2. négyzetből (Ltsz. 2003.6.98); a következő feltehetőleg ugyanerről a magkőről lepattintott lamella az 5. négyzetből (Ltsz. 2003.6.130); a harmadik lelet egy csúcsos kaparó töredéke, szintén barna radiolaritból (8. négyzet, Ltsz. 2003.6.462). Több összeilleszthető lelet nem található a leletanyagban. Ennek a bányák teraszos művelési módja, meddőkezelése és a természetes erózió lehet az oka.

Az ásatás során előkerült két legszebb lelet szeletai üveges kvarcporfirból készült; ezek valószínűleg magasabban fekvő táborhelyekről kerülhettek az ásatási szelvény területére (Lanzinger, 1986). Ennek a két eszköznek a korát a középső paleolitikum idejére helyezhetjük (**Melléklet II, 18. ábra**).

## 4.2. A 2002-es ásatási leletanyag kevertségét szemléltető egyes paleolitik leletek jellemzése leltári számuk szerint

### 2003. 6. 55.

A szeletai üveges kvarcporfir, újabb nevén metariolit sötétszürke változatából készült, ovális alakú szilánkon kidolgozott plankovex levélkaparó (**Melléklet II, 19. ábra**). A bázis teljes, a bulbus sekély. A ventrális oldal enyhén csavart, a dorzális oldalon pedig néhány

szilánknegatív magkő-munkafelületre utal. Mindkét él retusált. A dorzális bal élen csapott retusnegatívok sorakoznak félhossztól egészen a disztális végig. A jobb élen ugyanitt meredek, tompító jellegű retusálás található. Mindkét él ívelt, de a bal kevésbé. Ez lehetett a késnek felfogható eszköz munkaéle. A jobb szél meredek retusa az eszköz biztos fogását vagy nyélbe foglalását szolgálhatta, csakúgy, mint a ventrális oldalon a bal él retusa a proximális végtől középhosszig, illetve ugyanezen a szakaszon a jobb él retusa a dorzális oldalon. Az eszköz hegyén talán atipikus fúrót dolgoztak ki. Méretei: 10 x 34 x 50 mm. Előkerülési helye: 4. négyzet, 48 cm mélységből.

**2003. 6. 58.**

Világosszürke színű, sárgás sávozású avasi limnoszilic-it-változatból készült, *dièdre*/kétlapú talonú, levallois jellegű penge (**Melléklet II, 19. ábra**). Alakilag hasonlóságot mutat a háromszög alakú levallois hegyekkel. Bázisa teljes. Időrendileg az Avas első, levallois iparához tartozhat. Disztális végén atipikus véső/fúró kombinációjú kiképzés található. A dorzális oldalon bipoláris leválasztások negatívjai figyelhetőek meg. Méretei: 9 x 33 x 74 mm. Előkerülési helye: 4. négyzet, 10-40 cm mélységből.

**2003. 6. 78.**

Barna színű avasi limnoszilic-it-változatból készült, hiányzó bázisú, dorzális bal felén kortexes, csavarodott perempenge-töredék (**Melléklet II, 20. ábra**). Méretei: 18 x 23 x 104,5 mm. Előkerülési helye: 4. négyzet, 10-40 cm mélységből.

**2003. 6. 140.**

Egyenlő arányban barna és fehér sávos avasi limnoszilic-it-változatból készült, aurignacien jellegű talpas kaparó, melyen sávokban bordó elszíneződések figyelhetőek meg, amelyek akár hő hatására is kialakulhattak (**Melléklet II, 21. ábra**; Infravörös spektroszkópiás fejezet). Az eszköz disztális vége retusált, illetve *crête* található rajta, melyhez a darab ventrális oldalán talp kapcsolódik. A proximális vég felőli szakaszon kaparóretus és használati nyomok figyelhetőek meg. Hasonló darabok találhatóak meg a Szeleta-barlang (a fő folyosó/oldalsó folyosó csatlakozásánál), a Herman Ottó-barlang, a Harsányi elágazás és a Molotov utcai lelőhelyek leletanyagában is. Méretei: 22 x 47 x 72 mm. Előkerülési helye: 5. négyzet, 20-30 cm mélységből.

**2003. 6. 178.**

Enyhén trapezoid alakú, kortexes pengeszerű szilánkból készült, aszimmetrikus kidolgozású vakaró-kaparó kombinációjú eszköz, mely aurignacien jellegzetességeket mutat (**Melléklet II, 21. ábra**). Nyersanyaga az avasi limnoszilic-it áttetsző, szintelen változata. Ventrális oldala hajlott, a bázis teljes, a talon kortexszes, a bulbus erőteljesen kiemelkedő. A darab disztális végén aszimmetrikus ívelésű vakaróélt dolgoztak ki, részben jellegzetes, felső-



paleolit legyezőretussal, részben középső-paleolit lépcsős retussal. A bal szélén egyenes, a jobboldalon ívelt kaparóél figyelhető meg. A retusálás teljesen felfut a dorzális oldalon, amely a lépcsős retussal együtt a felső-paleolitikum előtti kultúrákra utal, viszont az eszköz a hajógerinc-vakarók jellegzetes hosszmetsetével bír. Méretei: 20,5 x 41 x 46 mm. Előkerülési helye: 6. négyzet, 40-60 cm mélységből. Hasonló darab ismert Miskolc, Rózsás-hegy késő-paleolit (epiaurignacien) telepről (Lengyel, 2004. 3. tábla 1-2).

#### **2003. 6. 202.**

*Hachereau*-szerű, trapéz formájú, vastkos, pengeszerű szilánkon kidolgozott, valószínűleg balta funkciójú eszköz (**Melléklet II, 22. ábra**). Nyersanyaga szeletai üveges kvarcporfir, újabb nevén metariolit. A bázis teljes, a talon vastag és facettált, a bulbust részlegesen eltávolították. A ventrális oldal disztális végén jól látszik, hogy „*reflechi*”, azaz csapott leválasztású szupportról van szó. A disztális keresztélt lépcsős és *denticules* retus kombinációjával dolgozták ki. Az oldalélek közül a baloldalin részleges, meredek/tompa retus figyelhető meg. A jobb élen hasonló, részleges retust találunk a ventrális oldalon. Méretei: 21,6 x 47,2 x 65 mm. Előkerülési helye: 6. négyzet, 10-40 cm mélységből.

#### **2003. 6. 205.**

Részlegesen kihasznált szeletai üveges kvarcporfir (újabb nevén metariolit) kavicsból készült magkő (**Melléklet II, 20. ábra**). A disztális végén látható kopásnyomok alapján ütőkőként is használhatták. A proximális végén néhány leválasztással alakították ki az enyhén hajló leválasztási felszínt. Ebből az irányból mindössze öt pengét próbáltak meg leválasztani: a negyedik és ötödik hiányos leválasztású, a legelső negatívja pedig jellegzetesen trapéz alakú, tehát már aurignacien formafelfogást tükröz. A magkő nagy részén még az eredeti, mállott kavicskéreg figyelhető meg. Méretei: 47,7 x 41 x 68,8 mm. Előkerülési helye: 6. négyzet, 30-40 cm. Méretében, jellegében és kialakításában hasonlít 2003. 6. 553. leltári számú magkőre (**Melléklet II, 20. ábra/3**).

#### **2003. 6. 251.**

Barna színű avasi limnoszilit változatból készített *denticules* eszköz (**Melléklet I, 2/8. fotó; Melléklet II, 21. ábra**). A darab dorzális oldalán termikus kipattanás negatívja található, mely az eszköz fogását nagyban megkönnyítette. A barna felületen foltokban vöröses elszíneződés figyelhető meg, amely hőhatásra utal. Méretei: 11 x 30 x 28,3 mm. Előkerülési helye: 5-10. négyzet, 10-20 cm mélységből.

#### **2003. 6. 551.**

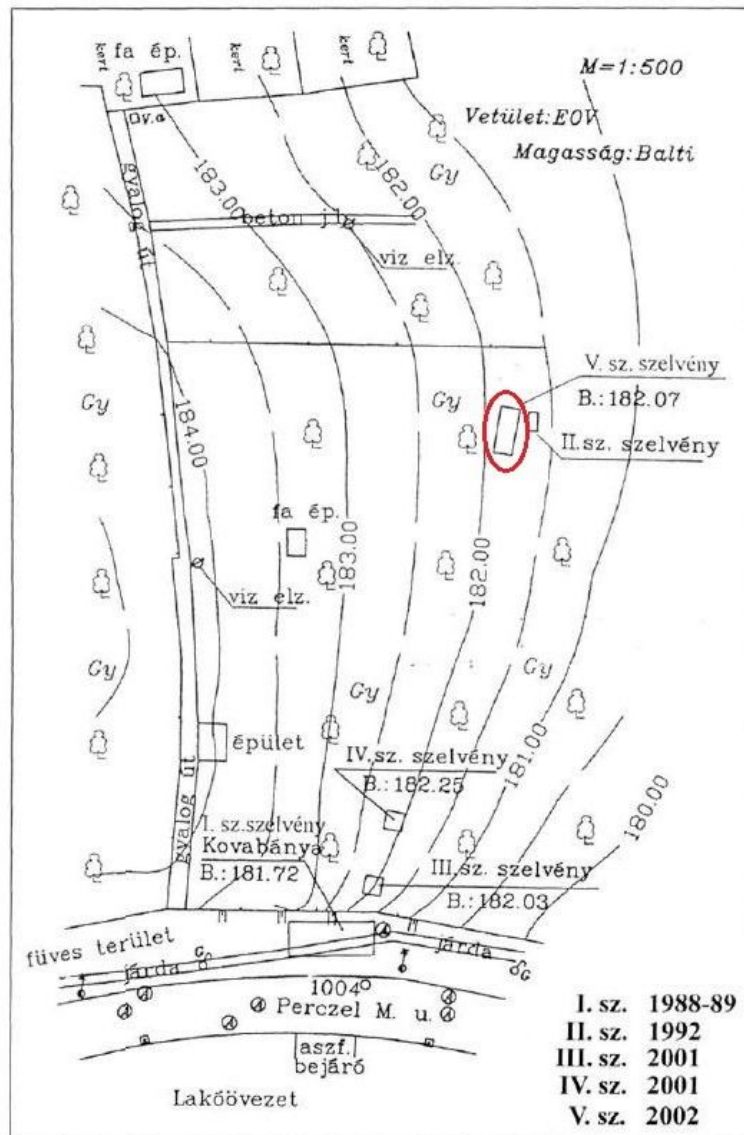
Barna színű avasi limnoszilit változatból készült *gerinc*penge (**Melléklet II, 20. ábra**). Levallois magkő preparációs peremének leválasztásával keletkezett, tehát a gerinc megmunkálása után (valamikor) a pattintó 90°-kal elfordította a magkövet és pengéket kezdett

el leválasztani róla. A penge bázisa teljes, a facettált talon vastag, a bulbus enyhén kiemelkedő. A ventrális oldal csavart, a dorzális oldalon a bal él mentén taréj fut végig, mely eredetileg egy levallois magkő preparált pereme volt. Az egyik, a *crête*-en található preparáció levallois szilánk leválasztásához kapcsolódott, a másik negatív nincs preparálva. Méretei: 13 x 25 x 79,4 mm. Előkerülési helye: 9. négyzet, 20-30 cm mélységből. Egy, a Miskolc, Avas-Tűzkövesen begyűjtött, az 551-es darabbal megegyező –csak jóval nagyobb – szórvány a Miskolci Egyetem Őstörténeti és Régészeti Tanszékén található.

### 4.3. Részösszefoglalás

Már a korai középső-paleolitikumtól keletkeztek Európa szerte olyan leletanyagok, melyeknek közös jellemzője a szilánkok, féltermékek, illetve félkész vagy elrontott eszközök különösen nagy száma, valamint kisszámú kész eszköz. Ezek az úgynevezett műhely-lelőhelyek (Gayck, 2000). Egy pattintott kőeszköznyersanyag bánya művelési idejének egyértelmű meghatározása a tipikus bányalelőhely kőleletanyag „anonimitása” miatt lehetetlen. A bányaterületen található kova leletanyag alapján általában nem lehet relatív kormeghatározást végezni, tehát sem a terület használatának korát, sem a használók kulturális besorolását nem lehet megállapítani, mivel más telepekhez vagy temetőkhöz képest itt főleg félkész, vagy nem specifikus leletanyag kerül elő (Gayck, 2000). Ezért különösen szerencsés Miskolc, Avas-Tűzköves esete, hiszen a sok eszköz és az idegen nyersanyagok viszonylag nagy száma egyértelművé teszi, hogy a bányák fejtőinek táborhelyei a lelőhely közvetlen közelében lehettek (**Melléklet II, 23. ábra**) (Lanzinger, 1986). A jelentősen kevert leletanyag rokonságot mutat a Szeleta-barlang főfolyosójának és mellékágának találkozásánál a 2-3. szintekből előkerült aurignacien jellegű leleteivel (Ringer & Mester, 2000). Ezen kívül jelentős benne a szilánkon kialakított kaparók aránya.

A leletanyag 15, sárgás sávós, színtelen és áttetsző avasi limnoszilit változatból készült darabja az 1988-89-ben végzett ásatások levallois leletanyagával rokon; ezek a leletek két kivétellel felszíni szórványok, illetve 40 cm-es mélységnél feljebb kerültek elő (**Melléklet II, 12, 18. ábra**) (Gyenis et al, 2001). Előkerülési helyük a teljes leletanyag szóródásával egyező képet mutat, tehát nagyjából az ásatási szelvény bal- és jobbszélső felén bukkantak rájuk. Ezek alapján arra is következtethetnénk, hogy a 2002-es ásatási szelvény helyén fejtett bányánál korábban művelték az 1988-89-ben kiásott bányahelyet (**2. ábra**). A keveredett: levallois, mousterien II és felső paleolit leletanyag tisztán régészeti besorolása jelentős újdonsággal nem szolgál, megfelel az eddigi kutatási eredményeknek.



2. ábra. Miskolc-Avas Tűzköves. A 2002-ben végzett régészeti feltárás helyét piros karikával jelöltük. (Ringer, 2003 alapján.)

## 5. A BÁNYÁSZAT CÉLJA ÉS FOGALMA

Az emberi faj technológiai és intellektuális fejlődésének egyik fontos mérföldköve volt, mikor a hominidák felismerték, hogy jó eszközöket készíteni legkönnyebben jó nyersanyagból lehet (Verri et al. 2004). A legjobb minőségű nyersanyagokat az elsődleges (geológiai) előfordulásuknál szerezhették be, vagy olyan szekunder előfordulásoknál, ahol a nyersanyagok beágyazódva vagy betemetődve (üledék- vagy talajrétegekben) voltak megtalálhatóak (Mester, 2013). Az eszközkészítésre használható nyersanyagok lelőhelyeinek ismerete létfontosságú volt a vadászó-gyűjtögető csoportok számára. Az eszközkészítés és ~használat ún. művelési sorának elején a célnak megfelelő nyersanyag beszerzése: a bányászat áll (Holló et al. 2001; 2002).

A bányászat gyűjtőfogalmába minden olyan tervezett tevékenység beletartozik, mint a lelőhelyen található pattintott kőeszköznyersanyag megkeresése, kinyerése, kitermelése és a további feldolgozásra történő előkészítése; a folyami hordalékból, vízfolyásokból történő céltudatos válogatástól egy szikla feldarabolásán át a mélyszíni fejtésig (Fober & Weissberger, 1980). Egyetlen különbség a külszíni és a mélyszíni bányászat között van. A felszín közelében található, elsődleges vagy másodlagos helyzetű nyersanyag-lelőhelyektől eltérően a sokszor jelentős mélységben található, érintetlen, elsődleges előfordulásokat nagyléptékű mélyszíni fejtési módszerekkel termelték ki (Gayck, 2000). A kőeszköznyersanyag bányák közelében gyakran ún. műhelylelőhelyek találhatóak, ahol az őskori bányászok elvégezték a kibányászott nyersanyag szelektálását és féltermékekké alakítását (többek között Vermeersch & Paulissen 1997; Schyle, 2010). Ezek a műhelytelepek követték a bánya fejtési területének mozgását (Vermeersch & Paulissen 1997; Gayck, 2000).

### 5.1. A nyersanyag-szelektálás első nyomai

Az izraeli Tabun- és Qesem-barlangokban talált alsó paleolit kovaleletek (400-200 ezer éves) nyersanyagát  $^{10}\text{Be}$  izotópos vizsgálatnak vetették alá (Verri et al. 2004). Ezzel a módszerrel a kőzetek oxigénatomjainak a kozmikus sugárzással való interakciója során keletkező  $^{10}\text{Be}$  izotóp mennyiségét mérik. A vizsgálatok eredményei alapján a kőeszköznyersanyag egy része kb. 2 méter mélységben helyezkedett el, mielőtt kőeszközüket készítettek belőlük (Porat & Ronen, 2002; Verri et al. 2004). Amennyiben ezek nem leszakadt, erodálódott, kipergett kovák voltak, akkor ez a mélyítési fejtés legkorábbi bizonyítéka (Verri et al. 2004; Schyle & Matzerath, 2015).

## 5.2. Az őskori bányászat nyomai Afrikában

Afrika első ismert kőfejtés nyomai szintén az alsó paleolitikum idejéből származnak. A Nílus völgyi Dendara lelőhely acheuléen gyökerekkel rendelkezik. (Vermeersch et al 1984, Vermeersch & Paulissen 1997; Van Peer & Vermeersch & Paulissen, 2010) Itt a kovát gödrös fejtési móddal fejtették (Schyle & Matzerath 2015). Az egyiptomi Qena területen feltárt középső paleolit fejtési nyomok az ott talált levallois megmunkálású paleolitikok alapján 50-60 ezer évesek (Vermeersch et al 1984; Vermeersch & Paulissen 1997), Taramsa 2. lelőhely 1, 3 méter mély fejtőgödrei 45 ezer évnél is idősebbek; Taramsa 4. kovabányája  $^{14}\text{C}$  vizsgálatok szerint mintegy  $43\,600 \pm 3400$ , Taramsa 2. 45 ezer, Taramsa 1 pedig mintegy 50 ezer éves (Vermeersch & Paulissen 1997). Taramsa 1. lelőhelyen az 1000 négyzetméteren megtalálható kerek fejtőgödrök átlagosan 1,6 m mélyek voltak (Gayck, 2000). A Taramsa 1. és Al Tiwayrat 9. lelőhelyeken kicsi- és nagygödrös, valamint árkos fejtési móddal bányászták a kovagumókat. A lelőhelyeken talált paleolit leletek alapján ezeket is alsó- és középső paleolit bányászok mélyíthették; a felhagyott árkokat rétegesen töltötte fel a fejtési hulladék, illetve a környező felszíni homok, ami több fejtési időszakra utal (Vermeersch, 2005). A szintén egyiptomi Nazlet Safaha 1. lelőhelyen több mint 600 négyzetméternyi területről fejtették ki a kovát mintegy 60 ezer évvel ezelőtt: a szinte kizárólag levallois kőszközöket előállító középső paleolit bányászok a nyersanyag-előfordulásokat kutatóásásokkal derítették fel, ugyanis a kovaréteget 80 cm vastag, egybefüggő homoktakaró borította (Vermeersch, 2005). Ezután 1,7 m mély, 1-2 m átmérőjű, talpuknál táguló gödröket ástak a megfelelő nyersanyagért. A szudáni Arkinban 40 ezer évvel ezelőtt fél méter mély gödrökből fejtették a kőszköznyersanyagot (Gayck, 2000). Szváziföldön kb. 25 ezer évvel ezelőtt 10 m mély és 8 m széles gödröket mélyítettek a festékanyagok fejtésekor, a zimbabwei Bambata-barlang okkerfejtésének kezdete pedig 125 ezer évvel ezelőttre tehető (Gayck, 2000; Schyle & Matzerath, 2015).

A felső paleolitikum idejéből a közép-egyiptomi Nazlet Khater 4. és 7. lelőhelyen tárták fel mélységi fejtési technológiák nyomait: az őskori bányászok 35 ezer éve a felső félméternyi talajréteg eltávolítása után 1 m széles, 2 m mély árkokat, harang keresztmetszetű gödröket, valamint függőleges aknákat ástak; a harang alakú aknák és az ároksfalak alját több esetben galériaszerűen, akár 10 m szélességben kibővítették (Vermeersch, 2005). Az őskori bányászszerszökök itt gazellaszarvból készültek, melyek mellett nehéz ütőköveket is találtak (Gayck, 2000; Vermeersch, 2002).

## 5.3. Az őskori bányászat nyomai Európában

Európában valamivel több, mint 200 tűzkő, illetve körülbelül 50 más pattintott kőszköznyersanyag bánya ismert (Schyle & Matzerath 2015). A kontinensen már a XIX.

században elkezdődött az őskori kovabányák régészeti vizsgálata: a belgiumi Spiennes őskori tűzkőbányáját 1842-ben fedezték fel (Gayck, 2000). Az eddig feltárt magyarországi bányák a legidősebbek közé tartoznak (lásd a következő fejezetet), de egyes hesseni átkovácsodott homokkő („Quartzit”) kitermelőhelyeket is rendszeresen látogattak már a középső paleolitikum kőeszközkészítők (Fiedler, 1983). Egy közép-olaszországi sziklaeresz alatt pl. az epigravettien idején (13 500-15 000 BP) a krétafalból ütőkövekkel és kovacsákányokkal fejtették a tűzkőgumókat (Gayck, 2000). A felső paleolitikum egyik legfontosabb ismert kőfejtője a lengyelországi Oronska 2., ahol tölcser alakú, 3 m mély gödrökből nyerték a nagy mennyiségű „csokoládé kovát” (Gayck, 2000). A korszak után a mezolitikumban erősen visszaesett, a neolitikumban pedig hatalmas méreteket öltött a pattintott kőeszköznyersanyagbányászat mértéke (Altófer, 2010).

#### **5.4. Az őskori bányászat nyomai Magyarországon**

A Kárpát-medence igen gazdag pattintott kőeszköznyersanyag lelőhelyekben (T. Biró & Pálosi, 1986; 2008; 2010; 2011; Mester et al, 2012; Mester, 2013). Magyarország C14-es módszerrel adatolt ( $^{14}\text{C}$ : 40,350±950 BP, valamint 3470±80 BP (1520 BC)) legrégebbi pattintott kőeszköznyersanyag bányája a Denevér utcai szarukőbánya, Budapest-Farkasrét. A Gábori Csánk Veronika vezetésével két alkalommal megásott lelőhelyen tűznyomokat, Levallois szilánkot, kvarcit ütőköveket, retusőröket, lapos üllőket, 160-nál több agancsszerszámot és 2 db, 1 m mély, 2 m széles fejtőgödör nyomait találták meg (Gábori Csánk, 1990; Vörös, 2000). Az ásató szerint kivétel nélkül középső paleolitikumnak gondolt, rossz megtartású, kopásnyomokkal borított agancs bányászszerszámok – gereblyék, feszítők, ékek – egyikén (Ltsz.: BTM, 91. 1. 78.) hasításnyomok láthatóak, amelyek a középső paleolitikumnál mindenképp később keletkezettek (Vörös, 2000). Az ásató szerint a dolomit anyagközetben található szarukő gumókat külszíni, ún. teraszos fejtési móddal fejtették. A leletanyag jelentős részben a felsőbb szintekről kerülhetett megtalálásának helyére, lejtőmozgás következtében (Gábori Csánk, 2006). Bár a neolitikumra utaló nyomok (pl. kerámia, csiszolt kőeszközök, őrlőkövek) nem kerültek elő, a leletanyag, a  $^{14}\text{C}$  eredmények és a régióban előkerült budai szarukő eszközök alapján a Gáboriné Csánk Veronika által feltárt Farkasrét-Denevér utca szarukőbányáját a középső paleolitikumtól kezdve a rézkoron át egészen a középső bronzkori Vátya kultúrával bezárólag (Kr.e. 2000-1350) művelhették (Horváth & Kozák & Pető, 2001; T. Biró, 2002; Horváth, 2005).

A zempléni Korlát-Ravaszlyuktető limnoszilicite fejtőjének első művelési szintje a középső paleolitikum idejére, a második pedig a felső paleolitikum idejére tehető; bányalelőhelyeknél ritkán megfigyelt, egymás melletti kitermelő- és feldolgozóhelyekre is bukkantak (Simán,

1995/a; /b; Gayck, 2000). Simán Katalin szerint a bányában egyrészt a Riss-Würm interglaciális idején folyhatott a fejtés, de a bánya közvetlen közelében sok a neolit- és rézkori lelőhely, valamint a bánya leletanyaga is a nyersanyagforrás korokon és korszakokon átívelő ismeretére és használatára utal (Simán, 1986, HOM évkönyv). A miskolci Avas-Tűzköves kovabányáinak legidősebb része legalább 60 ezer éves (Simán, 1979/a; 1995/b; Ringer 2003, 2004, 2011). Az egyik leghíresebb őskori bányánk a lovasi festékbánya, ahol a felső paleolitikumtól kezdve fejtette az ősember a vörös okkert (Mészáros & Vértes, 1954; Vértes, 1969/b; Mészáros, 1978; Patou-Mathis 2002; T. Dobosi, 2010; Sajó et al. 2015). A magyarországi őskori kőfejtők kutatása során a legkülönbélebb anyagú bányászszerszámok is előkerültek: ütőkövek, hasogatók, gím- és jávorszarvasagancs-eszközök, vadkanagyar és kecskeszarv (Bácskay, 1995; Vörös, 2007, T. Dobosi, 2010, T. Biró et al. 2010).

### **5.5. Fejtési stratégiák**

A különböző pattintott kőeszköz alapanyagok külszíni és mélyszíni fejtési módjait Fober és Weisberger foglalta össze szemléltető ábrák segítségével, leírásuk T. Biró Katalin jóvoltából magyarul is elérhető (Fober & Weisberger, 1980, T. Biró, 1995). Ebben az alfejezetben kerül bemutatásra, hogy milyen tényezők határozták meg a különböző pattintott kőeszköz nyersanyag bányák művelési módjait és a bányászszerszámok választását.

A nyersanyaglelőhely geológiai jellemzői nagyon fontos meghatározó tényezők voltak. A bányászok ezektől függően választották ki a legegyszerűbb, leggazdaságosabb és legbiztonságosabb művelési módot. Optimális esetben a nyersanyagot (pl. metariolitot, Grand Pressigny tűzkövet) a felszín közeléből, esetleg meredek völgyek oldalából lehetett gyűjteni (Gayck, 2000). Ha az anyakőzet vagy a talajrétegek tömörsége engedte, a gödröket és/vagy aknákat egymás közelében, sűrűn és függőlegesen mélyítették, de ha a talaj és az anyakőzet laza volt, az enyhén lejtő falú objektumokat nagy távolságban ásták egymástól (Gayck, 2000). A járatok hosszát, méretét és egyéb paramétereit is befolyásolták a geológiai tényezők (Mester et al, 2012). Amennyiben a lelőhely adottságai lehetővé tették, pl. folyóterazon, vagy hegytetőn helyezkedett el, mint a belgiumi Mons-Spiennes, a kőeszköznyersanyagot az összes elképzelhető kül- és mélyszíni fejtésmóddal is fejthették (Gayck, 2000). A bányászszerszámok kiválasztását is a nyersanyaglelőhely határozta meg: puha kőzetet vágni, fészíteni, a törmelékkel elhúzni megfeleltek az agancs- és kisebb mértékben a csontszerszámok. Ezek csákány módjára inkább puha kréta mészkőben használhatóak, keményebb kőzetről puhaságuk és rugalmasságuk miatt visszapatlanhatnak. Ékekként a keményebb anyakőzetű bányákban használták őket, mint pl. az angliai Harrow Hill bányáiban, a tatai Kálvária-domb mélyszíni radiolarit-fejtőjében és Sümeg-Mogyorósdomb tűzkőfejtőiben is (Fober & Weisberger, 1980; Bácskai, 1986; Gayck,

2000). Akár egy bányában is különböző típusú szerszámokat kellett használni az anyakőzet és a fedőrétegek tömörségének megfelelően: a lengyelországi Krzemionki bányáiban a rétegek adottságaitól függően használtak agancseszközöket a fenti, kőékeket az alsóbb szinteken (Gayck, 2000).

A művelési mód másik fontos meghatározója a kereslet-kínálat – és ezzel összefüggésben a ráfordított erőforrások — hasznosság viszony volt (Gayck, 2000). A neolitikumban megszorodott népesség igénye megnőtt a kova iránt. Ez a kereslet egészen a kora-bronzkorig tartott, hiszen a nagy tömegben felhasznált nyílhegyeket és sarlóbetéteket még ekkor is főleg pattintották (Altorfer, 2010). Például a bajor Abensberg-Arnhofen szarukő bányászai a kereslet növekedésével a legfelső kovarétegek felgyűjtését követően egyszerű, 3-4 m mély gödröket mélyítettek, majd a következő rétegek kimerülése után egyenes falú, akár 8 m mély aknákat kellett ásniuk, a külszíni fejtésről a mélyszíni fejtésre áttérve (Gayck, 2000). Amennyiben nem érte már meg, nem mentek mélyebbre. Egy bányaterület felhagyása függött a készletek kimerülésétől, a további művelés gazdaságtalanságától, esetleges kulturális vagy divatváltozásoktól (Gayck, 2000).

## **5.6. A művelési módok időrendje**

A művelési módok alapján nem lehet a bányák időrendjét felállítani. A művelés leghatékonyabb és leggazdaságosabb módját a nyersanyaglelőhely geológiai adottságai alapján a bányászok választották ki. Befolyásoló tényező lehetett a kovakőzet elhelyezkedése, valamint a fedőrétegek és az anyakőzet szerkezete és ellenálló-képessége. Az egyszerűbb, kicsi és nagy gödrös fejtési módok például egészen a bronzkorig léteztek, a középső-neolitikumtól (Fober & Weisberger, 1980) gyakorivá váló mélyszíni műveléssel együtt. A szerszámok alapján szintén nem lehet a művelési módok időrendjét felállítani, egyrészt a bányalelőhelyek leletanyagának nehéz besorolása, másrészt a késői - a korábbi fejtési nyomokat általában elpusztító -, nagyobb volumenű fejtési munkálatok miatt.

## **5.7. A kovabányászat szociális és gazdasági háttere**

Egy külszíni kovabánya „működtetéséhez” nem biztos, hogy szükséges volt egy bizonyos társadalmi szervezetségi szint (Fober & Weisberger, 1980; Holló et al. 2001; 2002). A késő neolitikum nagy volumenű bányái előtt a nyersanyagkitermelő-helyeket igény szerint keresték fel, csakúgy, mint a kisebb, rosszabb minőségű nyersanyag-előfordulásokat, melyeknél csekély kiaknázottságuk miatt kisebb ráfordítást igényelt az ottani legjobb minőségű nyersanyaghoz jutás; a termelés egyénileg is folyhatott, vagy elég volt azt kis keretekben megszervezni (Jelínek, 1979; Gayck, 2000). A közelmúltban megkísérelték meghatározni a holland Rijckholt-i mélyművelésű bányában dolgozók számát: mivel valószínűleg évente egyszerre alig több mint



két aknában fejtettek, talán 4-5 fő dolgozhatott ott szezonálisan pár hétig, amíg ki nem termelték az éves szükségletet (Schyle & Matzerath 2015). Ehhez nem volt szükség társadalmilag különvált rétegre, mindössze egy kis szakértő csoportra, talán néhány családra gondolhatunk. Egy nyersanyaglelőhelyet egy időben valószínűleg több csoport vagy település is használt; egy észak-amerikai bányába például a nagy távolságra élő törzsi csoportok elküldték egy-egy mesteremberüket (Moser, 1978). A nyersanyaglelőhely egy klán tulajdonában volt, amely csereáruk fejében engedélyezte a nyersanyag fejtését. (Moser, 1978; Gayck, 2000). Egyes nyersanyagok, melyek nagy területen terjedtek el, mint például a metariolit, gyártó- és elosztórendszert igényelhettek (Gayck, 2000, Markó, 2009; Tóth & Kristály, 2017). A bányák közelében nagyon ritkán bukkannak tanyahelyek nyomaira (Lanzinger, 1986; Gayck, 2000), de Jelínek említ egy, a helyszínen (Ausztrália, Upper Cadell River) megvizsgált ausztrál őslakos nyersanyagfejtő helyet, amit a *rembranga* törzs táborhelyként, régebben pedig temetkezőhelyként is használt (Jelínek, 1979).

Az eszközkészítésre használható nyersanyagok lelőhelyeinek ismerete létfontosságú volt a vadászó-gyűjtögető csoportok számára. Már az alsó paleolitikum embere tudatosan választotta ki a céljainak legjobban megfelelő kőeszköznyersanyagot. Ha kellett, ásott is utána. Az őskori bányászok az igény növekedésével mindig az adott feltételeknek megfelelő leghasznosabb módon fejtették a kőeszköznyersanyagokat. Ehhez mindig a lelőhely geológiai viszonyainak megfelelő, hatékony szerszámokat használtak.

## **5.8. Kovafejtés tűzzel: a sütés**

A kőkorszak embere bizonyítottan felhasználta a tüzet különféle nyersanyagok fontos tulajdonságainak célzott megváltoztatására. Tűzzel edzette keményebbre falándzsák hegyét, egyenesítette ki eszközeinek nyelét, segítségével festékanyagainak színskáláját bővítette, ragasztóanyag (nyírfaszurok) előállításához, nagyobb tömbökben előforduló kőeszköznyersanyagok feldarabolására is felhasználta (Weiner, 2012/a). A sütést olyan kőzetek fejtéséhez alkalmazták, melyek túl kemények voltak a kéziszerszámos fejtéshez (Agricola, 1556). A fejtett kőzetben a huzattal hevített tűz hirtelen hőhatására termikus sokk keletkezett. Az áthevült területre esetenként vizet vagy ecetet locsoltak, amitől a kőzet berepedezett és egy része levált (Rösler, 1700).

A sütés definíciója a magyar szakirodalomban:

*„A kemény kőzetű munkahelyeket csak akkor vették művelés alá, ha a könnyebben fejthető pásztták kifogytak. (...) Ezen az akadályon a tűzzel való jövészéssel segítettek, amit sütésnek is neveztek. Tüzet raktak a munkahelyen és úgy irányították a légmozgást, hogy a lángok abba az irányban nyaldossák a kőzeteket, amelyik irányban előrehaladni akartak. A kőzet feltűzesedve*

*lepattogott és kihülése után, ha a bányában megtisztult a levegő, a le nem pattogott kőzet egy része is könnyen le volt verhető.” (Faller & Kun & Zsámboki, 1997).*

### 5.8.1. Történeti adatok a sütés alkalmazására

A sütést, melyet egyes kutatók a legkönnyebb fejtési technikának tartanak, a robbanószerkezetek feltalálásáig világszerte széles körben alkalmazták (Weisgerber & Willies, 2001). Már a Bibliában is utalnak rá (Jeremiás könyve, 23; 29; Jób könyve, 28, 5, Weisgerber & Willies, 2001), de alkalmazásának leghíresebb esete Hannibál Róma ellenes hadjárata során történt, amikor a karthágói seregeknek hispániai bányászok repesztettek utat az Alpokban tűz és ecet segítségével (Agricola, 1556). Egyiptomban az Óbirodalom idejétől kezdve (Kephren-Hafré fáraó gránitbányájában), a Középbirodalom idején (Kr.e. 2025-1700) gránit kőszarkofágok nyersanyagának bányászásához (Wadi Hammamat), az Újbirodalom idején pedig többek között az asszuáni átková sodott homokkő fejtésénél alkalmazták a sütést (Heldal & Storemyr 2015). Mayen-Kottenheim őrlő- majd malomkőfejtőiben a bazaltorgonákat darabolták tűzzel (von Berg & Wegner, 1995). A Kr.u. 1. században egyiptomi aranybányákban fejtettek tűz segítségével (Meyer & Fawakhir, 1997). A törökországi Kestel, (Kr.e. 2900), az üzbég Karnab, az iráni Veshnoveh, az indiai Zawar Mochia (Kr.e. 3. évezredtől a középkorig), a görög Siphnos-sziget, az osztrák Bischofshofen-Mitterberg és Maukental bronzkori rézbányáiban (Klaunzer et al. 2009), a volt Jugoszlávia területén (Rudna Glava), Wales-ben, Asztúriában, a Balear-szigeteken (Gregg & Grybush, 1976), Délnyugat-Franciaország rézkori ércbányáiban is megtalálták nyomait (Weisgerber & Willies, 2001). A Felső-tó vidékén a rezet bányászó törzsek is a tűz segítségével fejtették az anyakövet (Gregg & Grybush, 1976). Míg az alacsony olvadáspontú ércet tartalmazó telérekhez nem értek, a sütést ólom-, ón- és ezüstbányákban is használták, Goslar-Rammelsbergben pedig egészen az 1870-es évekig alkalmazták. (Zschocke & Preuschen, 1932) Indiából a mai napig adatolt a gránit kis csonttüzekkel való fejtése (Heldal & Storemyr, 2015).

### 5.8.2. Kőeszköznyersanyagok fejtése sütés segítségével: a pattintott kőeszköznyersanyagok sütéses fejtésének nyomai

Valószínűleg erdőtüzek után tett megfigyelések alapján, a tüzet kisméretű kvarcitkavicsok feltörésére használták az Andamán-szigetek bennszülöttei, de Kaliforniában, Dél-Rodéziában és a nyersanyag színének javítására Wisconsin állam területén is használták az őslakosok. Nebraska, Ohio, Arkansas államban a novaculit-ot fejtették hasonlóan: gödröt mélyítettek a kőzetet tartalmazó rétegbe, abba tüzet raktak, később vízzel locsolták le. A nyersanyag egy része tönkrement, egy kis része pedig valószínűleg hőkezelődött a folyamat során (Gregg & Grybush, 1976). A modern amerikai kőpattintók körében közkedvelt kőzetet napjainkban

robbantással fejtik (Weboldalak/e). A robbantás során a sütéshez hasonlóan nem keletkeznek a nagyobb darabok további megmunkálását gátló repedések. Előfordult, hogy a süttött nyersanyag (méretei miatt) is hőkezelődött. Erre példa a kaliforniai Point St. George lelőhely, ahol az amerikai őslakosok kisméretű, gömbölyded, szívós jáspis és achát kavicsokat repesztettek szét hővel. (Gould, 1976). Gould a sütés pozitív mellékhatásaként említi a nyersanyag hőkezelődését, azaz megmunkálhatóságának javulását. A sütés tipikus nyomai a kb. 2 - 9 cm átmérőjű termikus kipattanások (Gould, 1976).

Az ausztráliai Kimberley terület bennszülött törzsei szintén tüzet használtak nagy kvarcit sziklák feldarabolására (Florek, 2000; Akerman, 2006, 2007). A „jaran”-nak nevezett művelet során a nyersanyagciklákon, vagy kiugró sziklapárkányok alatt gyújtották meg a tüzet. A tűz gyújtásától számítva átlagosan 1 óra múlva (Florek, 1989) a szikla megreccsent, megsült; esetenként az egész tömb több darabra hasadt (**Melléklet II, 24-26. ábra**). A felhevített nyersanyagot vízzel nem locsolták meg, mert attól mikrorepedések keletkeztek volna benne. A tűz tönkretette a tömbnek azt a részét, amit közvetlenül égetett, de a kicsit távolabbról leváló darabok megfelelő minőségűek maradtak. A sütés során hőkezelődött részokről finomabb szilánkok váltak le, mint a hidegen szétbontottról. A hőkezelődött nyersanyagot a bennszülöttek „könnyű”, „száraz” jelzőkkel illették (Florek, 1989). Akerman szerint az őslakosok szintén a területet pusztító bozóttüzek pozitív hatásaira figyelhettek fel, és az eredményesség növelése érdekében finomították a technológián: kitapasztalták, hogy melyik nyersanyag reagált rá különösen jól, milyen hosszú égés- és hűlésidő volt szükséges a megfelelő hatás eléréséhez (Akerman, 1979). A szomszédos területek lakói inkább nagy, alsó-paleolit szakócákra emlékeztető szupportokat hőkezelték gödrökben (Akerman, 2006). A pápuák és Óceánia más kőbaltakészítő törzsei a 20. században is alkalmazták a sütést (Antoni, 2012; Weboldalak/d; e).

Közel-keleti és egyiptomi kovabányákban eddig még nem bukkantak a technika alkalmazásának nyomaira, az európai kovabányákban pedig, az alább felsorolt bányáktól eltekintve, a kovagumókat tartalmazó anyagövet viszonylagos puhasága, azaz a kő- és agancseszközökkel való könnyű fejthetősége miatt sütésre utaló jeleket hiába keresnénk (Weisgerber & Willies, 2001).

Európában már több bányában sikerült egyértelműen azonosítani a sütés nyomait:

- A svájci Schaffhausen Kantonbeli Thayngen-Kesslerloch szarukő fejtőiben késő-neolitikus (Kr.e. 4300-3900) kovabányászok a fedő mészkőréteget sütéssel tették könnyen fejthetővé (Altorfer & Affolter, 2011).
- A Felső-Rajna-vidéki Kleinkems melletti Isteiner Klotz szarukő bányájában a kemény mészkőben 3 rétegben megtalálható sávos kovát a Kr.e. 4. évezredben

fejtették sütés és ütőkövek segítségével a Michelsberger kultúra bányászai. A sütés alkalmazására utaló nyomok a vörösre égett felületű anyagövet és a nagy mennyiségű faszénmaradvány. Tűzhelynyomokra csak a szarukőrétegek fölött 10-15 cm-re bukkantak. A tüzeket kóris-, tölgy-, fűz-, nyár-, hárs- és juharfával táplálták. A művelet rekonstruálása során a két- és fél óráig tartó égetést követően vízzel locsolták le a mészkövet (Weisgerber & Willies 2001). A kalcinálódott anyagövet ezután ütőkövekkel könnyen el lehetett bontani a szarukövek fölül. (**Melléklet II, 27. ábra**). Puhább mészkőből álló anyagövet nem volt szükséges így előkészíteni (Gayck, 2000).

- A dél-francia Veaux-Malaucéne szintén kemény mészkőbe mélyített külszíni bányájában a nagy mennyiségű faszénmaradványból és a kemény anyagövetből következtek a sütés korabeli alkalmazására. Weisgerber és Willies egyéb, főleg neolitikus csiszolt kőbalta-nyersanyag bányát is említ, ahol sütéssel is fejtettek, de hangsúlyozzák, hogy csak idő kérdése, míg más (nagyon kemény anyagövetű) kitermelőhelyen is felismerik majd a módszer korabeli alkalmazásának nyomait (Weisgerber & Willies, 2001).
- Kopinkallio dél-finnországi mezolitikus (i.e. 9000-6200) „kvarc”-bányájában a sütés alkalmazására elsődlegesen nagy, konkáv felszínű termikus nyomokból következtek (Kinnunen, 1993). A tüzet a nagyobb, jó minőségű nyersanyagtömbök fejtésére használták, mert ezekből hiányoztak a mechanikus behatások nyomai, azaz a további megmunkálást negatívan befolyásoló, ütések okozta repedések (**Melléklet II, 28-31. ábra**). A sziklát 230-480°C közötti hő érthette (Kinnunen, 1993). A kutató felhívja a figyelmet az erdőtüzekre, mint jelentős hibátényezőre régészeti lelőhelyeken, de ezen a konkrét lelőhelyen ez kizárható (Kinnunen, 1993).
- A nyugat-norvégiai Bomlo szigetén Kr.e. 4000 - 2500 között, a neolitikum idején fejtették tűzzel a kovásodott riolitot, amelyből főleg nyílhegyeket készítettek. A fejtési módszer jelei, a koncentrikus, konkáv bemélyedések a mai napig megőrződtek (Storemyr, Weboldal/c).
- Az észak-norvégiai Melsvik kovabányájában szintén megtalálták a sütéses fejtés nyomait; lefelé és oldalirányban is felhasználták a kisméretű tüzek hőjét, melynek hatásosságát a helyszínen végrehajtott rekonstruált égetésekkel is bizonyították (Storemyr, Weboldal/b).

### 5.8.3. A sütés alkalmazási módjai

Két fontos tényező miatt hatásos fejtési technika a sütés. Ha a pattintott kőszköznyersanyagot hirtelen és magas hőhatásnak tesszük ki, akkor ez növeli a mikrorepedések keletkezésének és a nyersanyag szétrobbanásának valószínűségét. A hőfok növekedésével egyenesen arányos a repedések keletkezésének valószínűsége (Mercieca, 2000).

Kis művelésű bányákban a sütést a hagyományos bányásztechnikákkal (ütés, vésés, vágás, kiékelés/repesztés/hasítás, fúrás) együtt alkalmazták. Ezekben a bányákban a sütés alkalmazásának három alapesetét különböztethetjük meg (Weisgerber-Willies, 2001):

1. kalapálás (ütőkő, csákány, kalapács/véső stb.) a sütés opcionális bevetésével;
2. sütés kalapálás segítségével;
3. kizárólagos sütéses fejtés.

Az opcionálisan alkalmazott sütés nyomai sajnos nagyon hasonlítanak a természetes tüzek nyomaira. A sütés legegyszerűbb típusa a kisebb vagy nagyobb méretű tábortűz, amit közvetlenül a fejtendő felület mellett, alatt vagy fölött gyújtottak (Weisgerber & Willies, 2001). Amennyiben főleg a sütést használták, nyomai könnyen felismerhetőek: nagy mennyiségű faszén, a kőzetben megfigyelhető, kerek vagy ovális bemélyedések; vörösesre színeződött vagy korommal borított felületek, kisebb méretű termikus kipattanások. Ahol nem a sütés volt az elsődleges fejtési mód, ott már nehézségekbe ütközik a nyomok azonosítása. (Weisgerber & Willies, 2001) A sütésnek – és a hőkezelésnek - nem mindig vannak makroszkopikusan felfedezhető nyomai. Legfőbb fogódzóink a termikus kipattanások, bár ezek a hőkezelés esetében általában egy sikertelen folyamatra utalnak (Weiner, 2012/a).

### 5.8.4. A sütés jelei magyarországi őskori bányákban

Magyarországon Vértes László a Sümeg-Mogyorósdomb kovabányájának betöltésében előkerült nagy mennyiségű faszénmaradvány és égett bányászszerszám, valamint a tűzhelynyomok hiánya alapján gyanította az anyakőzet tűz segítségével történt fellazítását (Vértes, 1964), de a könnyen fejthető anyakőzet miatt a bányaterület ásatásának rövid bemutatójából a sütés, mint lehetséges magyarázat kimaradt (Vértes, 1969/b). A sütésre utaló jellegzetes nyomok nem voltak ismeretlenek számára, hiszen hasonlókat a lovasi festékbánya feltárása során is megfigyelt (Mészáros & Vértes, 1954). Vértes szerint ott a fenyőfával táplált tüzek felhevítették az anyakőzetet, aminek szertesét pattanó izzó darabkái 1-1,5 mm mélyen beleégtek a fejtési területen eldobált agancs szerszámok felületébe (Vértes, 1969/b).

Fülöp József Tata-Kálváriadomb őskori radiolarit fejtőjének ásatása során a III. számú vágat végén, 4, 4 méteres mélységben egy tűzhely nyomát figyelte meg; a tűz hője egy nagy

termikus kipattanást és radiális repedéseket eredményezett az alatta található, viszonylag kemény mészkövön (Fülöp, 1973). Mivel a vágatban más tűzhelyek környezetében az őskori bányászok étkezési maradványai is előkerültek, nem állítható, hogy ők is alkalmazták a sütést, de a tűznek az anyakőzetre gyakorolt hatását biztosan ismerték. A mészkő keménysége alapján a Veszprém megyei Nagy-Tével külszíni, gödrös fejtésmóddal művelt tűzkőbányájában a kemény késő-kréta kori anyakőzet bontását is megkönnyíthette volna a sütés (T. Biró et al. 2010).

## 6. KÍSÉRLETI RÉGÉSZETI ÉS ARCHEOMETRIAI VIZSGÁLATOK

### 6.1. Az avasi limnoszilit és a tűz

A kovás kőzeteket ért hőhatás kérdésének archeometriai vizsgálatainál általánosan elfogadott és javasolt eljárás a következő:

A kutatások előfeltétele, hogy az adott régészeti lelőhelyen nagy számban kerüljön elő hőkezelt leletanyag. Ennek teljesülése esetén a lelőhely közeli nyersanyaglelőhelyek terepi vizsgálata, a vonatkozó régészeti lelőhelyek leletanyagának tüzetes átvizsgálása szükséges. Mind a geológiai forrásokból, mind a régészeti leletanyagokból mintagyűjtés javasolt. Amennyiben a kutatási források megengedik és a régészeti lelőhelyen lehetőség van rá, a termolumineszcens keltezéshez is vehetünk mintát. Mivel azonban a mérés sikerességéhez az adott kristályos szerkezetű kőtárgyat legalább 500 °C hőmérsékletnek kellett érnie, a módszer limnoszilit esetében nem vezet sikerre (Richter et al., 2011).

A nyers mintákból laboratóriumi hőkezelő kemencében referenciamintákat kell készíteni. Lehetőség szerint a nyersanyag ismert geológiai előfordulásánál utána kell járni, hogy a „hőkezelt”-nek minősített leletek nem egy természetes változathoz készültek-e. Színkálát kell felállítani - közben megtapasztaljuk, hogy a várható termikus stigmák nem alakulnak ki mindig -, majd a hőfokoknak megfelelően minták szövetszerkezetét pásztázó elektronmikroszkóppal, ásványtani összetételüket pordiffrakciós méréssel kell megvizsgálni, majd az eredményeket egymással összevetni. Termoanalízissel szintén megkísérelhetjük elkülöníteni egymástól nemcsak a nyers és hőkezelt mintákat, hanem a nyersanyag természetes változatait is. A nyers és hőkezelt minták ellenálló képességét nyomószilárdság-méréssel is összevethetjük. A módszerrel sajnos csak a hőkezelt nyersanyag szerkezetének homogenizálódását tudjuk alátámasztani, az őskori hőhatás bizonyításához nem használható. A megfelelő műszerekkel a hőkezelt nyersanyag térfogatcsökkenését is mérni lehet, négy tizedes jegy pontosságú laboratóriumi mérleggel pedig a hőkezelés során bekövetkezett vízvesztés is mérhető.

A paleolitot ért hő- vagy termikus hatás mértéke nagy biztonsággal jelenleg egyedül az infravörös spektroszkópia módszerével mutatható ki. Közeli infravörös-spektroszkópiával a leletek roncsolásmentes vizsgálata is lehetséges, az egyszerűbb berendezésekkel elvégzett vizsgálatokhoz viszont a leletből és a referenciákból származó pár milligrammnyi porított minta szükséges. Az adott hőfokra hevített referenciaminták mérési görbéit összevetve megállapítható a paleolitot ért hőhatás viszonylagos mértéke.

Azt, hogy az adott paleolitot mikor érte hő, szinte lehetetlen kideríteni. A régebbi ásatások hiányos, vagy nem megfelelő dokumentációira sem támaszkodhatunk. Fontos fogódzó lehet a pontosan beazonosítható, bolygatatlan régészeti réteg, valamely leletkörülmeny, illetve maga a

paleolit eszköz, magkő vagy szuport (féltermék), melyen - optimális esetben egyértelmű - termikus stigmákat figyelhetünk meg. Előfordulhat, hogy egyes termikus stigmák a hőkezeletlen nyersanyagon is tapasztalhatóak, ilyenkor sajnos eredményeink még jobban megkérdőjelezhetőek. Ugyanezek a kritériumok az ellenkező irányban is hatnak: feltételezhető, hogy a kutatók figyelmét eddig hasonló okokból kerülték el hőkezelődött kovákból készült paleolitok.

A kérdéskörrel foglalkozó szakemberek különféle természettudományos módszerekkel próbálták mérhető módon elkülöníteni egymástól a természetes és hőkezelt nyersanyagok tulajdonságait. Többek között vizsgálatnak vetették alá a 300-400 °C-on hőkezelt mintadarabok és referenciáik húzó-, hajlító- és nyomószilárdságát. Ezek közül az utóbbival érték el a legjobb eredményeket, így azt objektív vizsgálati módszernek tekinthetjük (Weiner, 2012/a). A 2012-ben az általam hőkezelt avasi kovákon, Mikó Tamás által végzett vizsgálatok eredményei alátámasztják ezt a véleményt.

A kísérletsorozatok eredményei alapján a vizsgált lelőhelyen használt kőnyersanyagok tulajdonságai jobban, részleteikben megismerhetőek, így pontosabb következtetések vonhatók le a lelőhely korabeli funkcióival és a lelőhelyen folytatott emberi tevékenységekkel kapcsolatban. A tűz termikus hatásai következtében megváltozik a kőeszköznyersanyagok és kőeszközök morfológiája. Ezeknek az elváltozásoknak, illetve keletkezésük folyamatának pontos ismerete megkönnyítheti a régészeti lelőhelyek vizsgálatát.

### 6.1.1. **Kutatástörténet**

Az Avas-domb első tudományos földtani leírásai – néhány korábbi, szórványos említést követően – a XIX. század végén készültek el (pl. Halaváts, 1894). Papp K. Miskolc geológiájáról készített tanulmányt, és említést tett a kovarétegekről és az őskori kőbányászat nyomairól (Papp, 1907). Schréter csaknem fél évszázadon át dolgozott a Bükk térségében, és az Avas-domb földtanával is foglalkozott (Schréter, 1940). 1970–75 között elvégezték Miskolc teljes területének – az Avast is beleértve – részletes mérnökgeológiai térképezését (Juhász, 1979). A nyolcvanas években Viczián I. röntgendiffrakciós módszerrel vizsgálta az Avas kovaközeit (Viczián, 1986). Ringer Árpád (1993, 2003, 2004, 2011) számos tanulmányt írt az avasi kőeszköznyersanyag-bányászat témakörében, és az Avas tájfejlődésével is foglalkozott, Hajdúné (1993) az Avas közettípusait írta le részletesen. Az Avas földtani felépítésének és a helyi limnoszilit kialakulásának részletes leírását és a kovaközet jellemzését Hartai Éva és Szakáll Sándor (2005) közölte. A Debreceni Egyetem munkatársai kutatófúrásokkal vizsgálták az Avas rétegtani felépítését (Kozák et al., 2014).



### 6.1.2. Földtani felépítés

Miskolc három geomorfológiai egység – a Bükk, a hegylábi dombvidék és a Sajó-medence – találkozásánál található. Északon meredek, a többi irányban lankásabb lejtők határolják. Az Avas-domb aljzata a Bükk mezozoikus formációihoz tartozik, melynek triász kori, felső-ladini mészkőjét harmad- és negyedidőszaki rétegsorok fedik. Míg a késő pliocén idején a töréses tektonika következtében a Bükk központi tömege erősen kiemelkedett, a környező hegylábi tömbökhöz hasonlóan az Avas emelkedése nem volt jelentős. A Sajó és a Szinva völgyének süllyedése és a Sajó-völgyfenék további bevágódásával az Avas mégis kimagaslik az alatta elterülő tájból (Hartai & Szakáll, 2005).

Az Avas mezozoikus mészkővére középső miocén sekélytengeri üledékes képződmények települtek; az Avas fő tömegének alkotói bádeni-szarmata andezit és riolit piroklasztikumok, melyek „tisza” vulkáni anyagként, vagy törmelékes üledékkel keverten fordulnak elő. A rétegek dőlése 5–12° D-DK-i irányba (Hartai & Szakáll, 2005).

### 6.1.3. A mésztufa és limnoszilit rétegek jellemzése

A szarmata piroklasztikus és homok-aleurit-agyag rétegek felső szintjeiben két speciális típusú üledék fordul elő: mésztufa és a limnoszilit. Az Avas-domb felső részein két, egymástól 50 cm-es homokos agyagréteggel elválasztott édesvízi mészkő (travertínó vagy mésztufa) réteg bukkan a felszínre, melyekre makroszkopikusan a vékonyrétegzés jellemző. A „tisza” mésztufa rétegek átkovárosodott rétegekkel váltakoznak, melyek vastagsága 0,5–1,5 mm. A kovagél a karbonátos anyagot annak pórusain keresztül itatta át helyettesítő és cementanyag formájában, üregkitöltésként, így a kalcit kalcedonra cserélődött (Balogh, 1992). Az átkovárosodott rétegeket alkotó kovagömböcskék mérete 10–20 µm között változik. A rétegek közepén kalcedon található; a kvarc és a kalcedon közötti átmenet folyamatos. A kalcit átkovárosodása a vulkáni tevékenység felerősödésének következménye: az üveges vulkáni hamu oldódása a tavi környezetben savasította a vizet, és elősegítette a kova kiválását, így a további vulkáni tevékenységek révén tiszta kovarétegek alakulhattak ki.

Az Avason két limnoszilit szint található. A bányászati tevékenység, a szőlő- és talajművelés miatt a „felső kovaszint” csak törmelékben található (Gyenis et al. 2001; 2003). Az alsó szint kőzetének színe a barnásfehértől a szürkéig terjed, opálos reflexióval, jellegzetesen kagylós törésű. A limnoszilit rétegek felszínét kb. 5-30 mm vastagságú fehér kéreg (Rottländer, 2012) borítja, mely a röntgendiffrakciós vizsgálat eredményei alapján kalcitnak bizonyult (Hartai & Szakáll, 2005). Mikroszkopikusan a következő mikrokristályos szilikátfázisok találhatóak az alsó szintben: a póruskontúrok mentén főleg az izotróp CT-opál alakít ki gömbszerkezetet. A szabálytalan pórusokat szálal kalcedon tölti ki, de kis mennyiségű

kvarc és kalcit jelenléte is kimutatható ebben a rétegben (Hartai & Szakáll, 2005). Az enyhén áttetsző felső szint színe a világosbarnától a világosszürkéig terjed, üveges reflexióval. Mikroszkopikusan a kőzet rendkívül finomszemcsés mikrokristályos kvarc, kevés moganittal és kalcittal. Az izometrikus krisztallitok néhány  $\mu\text{m}$  átmérőjűek. A táblás moganitkristályok töredezett felszínén az összefogazódott krisztallitok pásztázó elektronmikroszkóp alatt jól láthatóak (Hartai & Szakáll, 2005). Összetételéből eredő tulajdonságainál fogva eszközkészítésre a felső limnoszilicit szint az alkalmasabb.

#### 6.1.4. Az avasi limnoszilicit sütéses hőkezelésének elmélete

Ringer (2001, 2004, 2011) szerint az Avas-Tűzköves kovabányáiban nemcsak a hagyományos módon, ütőkövek segítségével törték fel a kovapadokat, hanem egyes csoportok a tűz segítségével is fejtették a kőszköznyersanyagot. A 2001-es ásatási eredmények alapján így írta le az általa elképzelt „meleg” fejtési mód technikáját: *"az ősemlék először lefejtette az 1-1,5 m vastag talajtakarót és a harmadidőszaki homokkőréteget a 0,3-0,4 m vastag kovapadról, egy vékony homokréteget hagyva a felszínén. Ezen tüzet gyújtottak, aminek hője sajátosan kezelte, megmunkálhatóbbá tette a kovakövet, s helyenként szét is repesztette azt. Ezután több kilogrammos kvarcitkavics ütőkövekkel szétverték a padot. Így nyerték ki belőle az ökölnyi-két ökölnyi jól megmunkálható kalcedon darabokat. A 2001-es ásatáson végérvényesen tisztázódott, hogy a Levallois-Moustérien mellett a neandervölgyiek egy másik népsége is fejtette itt a kovakövet, akik valószínű mesterei voltak a bányászkodásnak. Kultúrájuk a Szeleta-barlangból ismertté vált Moustérien II"* (Ringer in Gyenis et al, 2001).

Ringer – Szakáll (2005) már rekonstrukciós rajzot is közöl a technika avasi alkalmazásáról. A fejtési technika leírásában és a szemléltető ábrán gyakorlatilag a sütést ismerhetjük fel, melynek pozitív velejárója a nyersanyag hőkezelődése lenne. Ez a téma ősrégész körökben annyira ismeretlen volt, hogy a vele foglalkozó munkák rendre az avasi nyersanyag *hőkezeléséről* szóltak (Szolyák & Mester, 2011; Nagy, 2013; Tóth, 2016), ami a nyersanyag minőségének feljavítására való célkitűzést feltételez. Bár a kaliforniai Point St. George lelőhelyen, ahol az amerikai őslakosok kisméretű, gömbölyded, különösen kemény jáspis és achát kavicsokat repesztettek szét hővel, pozitív mellékhatásaként említik a nyersanyag *hőkezelődését*, amely a nyersanyag további megmunkálását jelentősen megkönnyítette (Gould, 1976). Az avasi limnoszilicit viszont hőkezelés nélkül is jól pattintható. Amennyiben a nyersanyagot a sütés technikájával fejtették, azt mindösszesen a vastag és ellenálló kortextréteg lerobbantása, illetve a minél nagyobb, sérülésmentes nyersanyagtömbök kinyerése érdekében tehetők. Így a sütés során a tüztér alatti limnoszilicit pad egy kis része, amelyik nem égett szét, *hőkezelődhetett*.

A vizsgálatokkal az alábbi kérdésekre próbáltunk választ kapni: Milyen hatással van a tűz egy frissen kibontott, bányanedves limnoszilicit padra? Milyen pozitív és/vagy negatív változások mennek végbe a kőzetben és ezek hogyan befolyásolják annak további megmunkálását?

#### 6.1.5. A bányanedves limnoszilicit – a felső szint összetétele

Az avasi limnoszilicit a kovás kőzetek csoportjába tartozik. Ez azoknak az üledékeknek és üledékes kőzeteknek az elnevezése, amelyekben a szerves és szervesetlen eredetű szilícium-dioxid (opál, kalcedon, kvarc) mennyisége minimálisan 20 %, azonban az esetek többségében 30-50 % vagy afölötti érték (Balogh, 1992; Pápay, 2006; Hartai, 2009). Ásványai rendszerint különböző opálok és kalcedonok. A felszíni és víz alatti vulkáni (utóvulkáni) működés során keletkezett SiO<sub>2</sub> gél vagy oldat formájában a kőzet- és üledékpórusokon keresztül itatta át a nyersanyagot. A SiO<sub>2</sub> vizes oldatokból hőforrások lehülése, lúgos kémhatású állóvizek bepárlódása és pH-csökkenése (az oldat túltelítődése), valamint nyomáscsökkenés, továbbá különleges talajfejlődési viszonyok fennállása esetén polimerizálódhatott és csapódhatott ki (Balogh, 1992; Pápay, 2006; Brandl, 2016). A kovás kőzet a diagenézis során tömörödik, ez pedig vízvesztéssel jár: a pórusfolyadékok vándorolni kezdenek. A bennük oldott anyag kiválik az üledékszemcsék között, bekövetkezik a cementáció (Hartai, 2009). Kutatástörténeti érdekesség, hogy a kristályok és egyes ásványok vizes oldat eredetét a bennük található folyadékbuborékok alapján már a 11. század elején valószínűsítette Birun Abu üzbug tudós (említi: Sümege, 2001). Elsőként az opálok (SiO<sub>2</sub> \* nH<sub>2</sub>O) válnak ki. Sűrűségük, törésmutatójuk a mikrokristályos kvarcnál kisebb, jellemzőik a meglévő víztartalmuktól (1-25 %) függően változnak (Pápay, 2006). Először a gél állapotú A-opál válik ki, majd folyamatos oldódási és újrakicsapódási folyamatokon keresztül a feloldódott SiO<sub>2</sub> részecskék egyre rendezettebb módosulatokként csapódnak ki, ezáltal a kristályossági fok növekedése megy végbe A-opál - CT-opál (krisztobalit) – C-opál - mikrokristályos kvarc átalakulási sorrendben (Balogh, 1992). A mikrokristályos kvarc majd 100 %-ban egymáshoz hasonló (10-50, legfeljebb 200 μm) átmérőjű, görbe határú kvarckristályokból áll (Pápay, 2006). A különféle kovás nyersanyagok jellemzőit (pl. a színt) meghatározó egyéb alkotórészek részben a szilíciumhoz is kapcsolódó, részben a kőzet zárványaiban megtalálható nyomelemek és ásványok (pl. Al<sup>3+</sup>, Ti<sup>4+</sup>, Ge<sup>4+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, P<sup>5+</sup>, Li<sup>+</sup>, H<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, földpát, agyagásványok, karbonátok, nehézelemek – Ni, Cr, Mn, Fe stb). Ezek általában csak 200-500 milliommód részt tesznek ki (Brandl, 2016).

#### 6.1.6. Víztartalom

Az avasi limnoszilicit rostos szerkezetű, tömött, moganitot is tartalmazó mikrokristályos kvarc (Hartai & Szakáll, 2005). Tucatnyi helyi változata ismert, a zárványoktól, repedésektől és vastag kortextrétegtől mentes darabjai az Északi-középhegységben található más

limnoszilicitekhez képest jól pattinthatóak. A kortextréteghez közeli nyersanyag különösen jó minőségű. Ezekben a részekben a rendezetlen sugaras szerkezetű, „*selymes fényű*” kalcedonrostok közötti kovagél mennyisége 10-30 % közötti; a kriptopórusokat *sósvíz* tölti ki (Balogh, 1992; Pápay, 2006). Termogavimetriás és infravörös-spektográfias vizsgálatokkal a kalcedonban háromféle vizet különböztettek meg: 1. A kőzet pórusaiban elhelyezkedő molekuláris vizet; 2. hidrogénnel kötött (OH), a belső felszíneken és a nem tökéletesen kikristályosodott területeken elhelyezkedő vizet; 3. hidrogénnel kötött (OH), a szerkezeti síkokon elhelyezkedő vizet (Graetsch, 1994; Weiner, 2012/a). A kalcedonban található molekulárisan kötött víznek csak kis hányada a kristályokban izolált vízmolekula, nagyobb része fagypont alatt megfagy; a moganitban található víz infravörös spektruma hasonló a kalcedonéhoz (Graetsch, 1994). A diagenézis végén bekövetkező kiszáradás a nyersanyag térfogatsökkenésével jár, a kovás kőzet ekkor annyira tömör lesz, hogy szerkezetébe bezárja a fentebb felsorolt vizeket (Harder, 1971). A mikrokristályos opálok szilanoltartalma a mikrokristályos kvarcokénál kisebb, így víztartalmuk nagy része molekulárisan nem kötött, illetve szövetszerkezetükben levegő is található. Ezért könnyebbek is a mikrokristályos kvarcoknál és ezért reagálnak gyorsabban a környezeti változásokra (Dove & Rimstidt, 1994). Így mind a kalcedonos, mind az opálos részek az avasi limnoszilicit gyenge pontjai.

Weiner (2012/a) leírása alapján a teljesen diagenizált kovakőzet alapelemei az ún. szubszemcsévé ikresedő, balra és jobbra csavarodó kalcedonszálak; a szubszemcsék lemezekké ikresedtek, a lemezek között pedig egy monoréteg víz található, amely a szövetszerkezet részét képezi. A molekuláris vízen kívül a kovakövek repedéseiken, pórusaikon és üregeiken keresztül is képesek a vízfelvételekre. Ezt a víztartalmat a kovás kőzetek csak óvatos, lassú, fokozatos hevítés során képesek a károsodás veszélye nélkül leadni (Rottländer, 2012).

A frissen kifejtett pattintott kőeszköznyersanyag víztartalma a feldolgozás szempontjából optimális. A „bányanedves” nyersanyagok kedvező megmunkálási tulajdonságait már az alsó paleolitikum eszközkészítői felismerték (**5.1. fejezet**). A bányanedves nyersanyagok a felszínen található daraboknál általában jobb minőségűek, mivel kevesebb bennük a környezeti hatások miatt kialakult repedés, illetve mechanikai hiba (Csorba & T. Biró, 1986). Azt, hogy a frissen fejtett kovás kőzetek a kiszáradtagnál mennyivel jobban reagálnak a különböző mértékű hőingadozásokra, több kutató is vizsgálta, egyrészt megmunkálási, másrészt laboratóriumi kísérletekkel, amelyek során szélsőséges hevítési és fagyasztási ciklusoknak tették ki a mintákat, majd pásztázó elektronmikroszkóp alatt vizsgálták őket (Bordes, 1969/b; Harder, 1971; Schulz 1980; Bäsemann, 1986; Csorba & T. Biró, 1986; Mercieca, 2000). Eredményeikkel megdőlt az az elmélet, hogy a kovás kőzetek környezeti hatásra bekövetkező bármiféle elváltozásához legalább 3 év szükséges (Bäsemann, 1986).

### 6.1.7. Az avasi limnoszilit-pad darabolásának („hideg fejtési mód”) rekonstrukciója: Kovapad törési kísérlet

#### A kísérlet célja:

1. Annak kiderítése, hogy mennyi ütés szükséges egy 14 cm vastag kovapad-darab feldarabolásához;
2. Van-e jelentős eltérés a kortextréteggel fedett és a kortextréteg nélküli minta feldarabolásához szükséges ütések száma között;
3. Ezt a műveletet milyen ütőkövekkel érdemes végrehajtani és hogyan viselkednek a különböző ütőkövek;
4. Milyen arányban képződik hulladék, még felhasználható törmelék és magköveknek alkalmas darabok;
5. Megállapítható-e valamilyen nyersanyag specifikus törési tulajdonság az avasi limnoszilit darabokon?

#### A nyersanyag:

Miskolc, Avas-Tűzkövesen, a felszínről gyűjtött, 14 cm vastag, nagyméretű kovapad-töredék (**Melléklet I, 3. fotó**). Ezt az avasi kovát az első kültéri, rekonstruált körülmények között végrehajtott, mérőműszerekkel ellenőrzött, sikertelen kísérlet során sikertelenül próbáltam meg hőkezelné. A közvetlenül a kovátomb fölött elhelyezett hőmérő mindössze 190, az aljához erősített pedig csak 70 °C-ot mért. A kortextréteg nem vált el a kova tetejétől és nem figyeltem meg rajta elszíneződést sem. Ezért és nagy vastagsága miatt a töréstesztre alkalmasnak ítéltém. A nyersanyagtömböt először egy 2 kg súlyú vasgolyóval kettétörtem. Az első ütésre kettévált, a törési felület helyenként nem tűnt frissnek, a kő valószínűleg egy repedés mentén vált ketté. A töredékeket a vasgolyóval erőteljesen körbekocogtattam, hasonló repedésre utaló jeleket tapasztaltam. Valószínűleg már túl hosszú ideje feketett a felszínen, így a hőingadozás már részben elérte káros hatását. Az egyik, 16,56 kg súlyú töredéket Kőteles László, a Miskolci Egyetem Bányászati és Geotechnikai Intézetének munkatársa fűrészelte fel 4 darabra; két egyforma négyszögletes és két egyforma darab, háromszög alapú hasábra. Ezekből egyet-egyet laboratóriumi hőkezelő kemencében terveztük áthévíteni, majd összehasonlító megmunkálhatósági - pattintó - kísérleteknek alávetni. A hőkezelő kemencében melegítés közben, kb. 370 °C-on sajnos apró darabokra robbantak a minták, így ezt a kísérletet elvetettük.

#### A minták előkészítése:

A nagy nyersanyagtömb megmaradt felét négy jól irányzott (egy vonal mentén a kő tetejének közepére mért) ütéssel két, megközelítőleg egyforma méretű darabra törtem. Mivel

az egyik opálos kortextréteg mindkét darabon egyforma vastagnak tűnt, így azt az egyik minta felületéről kalapács és lapos véső segítségével oldalirányban teljesen eltávolítottam, így utánozva egy sikeres „sütés” hatását, ti. a magas víztartalmú, opálos kortextrétegnek a kovapadról történő lerobbanását. Közben a tömb egyik sarka letört (**Melléklet I, 4-5. fotó**). Ezt már beszámítottam a darabolás során keletkezett töredékek közé. A másikon az opálréteg sértetlen maradt. Az opálos kortex eltávolítása még a vas vésővel is nagyon nehéz volt. Ütőkővel valószínűleg a jó nyersanyag egy részét is le kellett volna választani a tömbről, ami kevésbé gazdaságossá tette volna a műveletet. A kortextréteg szilánkok további feldolgozása pedig sokkal nehezebb, mint a kortextréteg nélküli daraboké.

Az eltávolított kortexes mintadarabot a nedves, puha talajra helyeztem, melyre felülete teljesen felfeküdt. Az ütések mindig a mintadarab közepétől valamelyest távolabb, azaz inkább a szélekhez közelítve mértem, annak érdekében, hogy a befulladt ütések lehetőleg ne tegyék tönkre a nyersanyag közepét. Amint az a 3-5. fotókon is látható, a padtöredék felülete nagyon egyenetlen volt, ennek köszönhetően a legjobb kvarc ütőkővel csak a 22. ütésre sikerült az első nagyobb darabot leválasztanom. A 47. ütéskor tönkrement az ütőkő. Az ütések során az ütőkő munkafelületeiről lepattant szilánkok tulajdonképpen megélezték az ütőkövet, egyszersmind a további munkálatokra alkalmatlanná tették (**Melléklet I, 6. fotó**).

A második ütőkő 5, a harmadik – pedig ez volt a legkeményebb anyagú és 3 kilogrammot nyomott – újabb 42, teljesen eredménytelen ütés után ment tönkre (**Melléklet I, 7. fotó**). Tehát 94 ütés után az eredményem 3 használhatatlanná vált ütőkő és 1 leütött kisebb kovadarab lett. Ezután egy 4 kg súlyú, szabályos gömb alakú vasgolyóval folytattam (a 2002-es ásatási leletanyag legnehezebb, valószínűleg épp a kovapadok bontására használt ütőkőve 4,5 kg súlyú). Innentől kezdve átlagosan három ütésenként, a 141. ütésre sikerült feldarabolni - 2-3 öklömnyi darabok előállítására volt a cél, de sok kisebb darab is keletkezett - a mintadarabot. A második mintát, melyen rajtahagytam a kortextréteget, egyből a vasgolyóval kezdtem el bontani (**Melléklet I, 8. fotó**). Már a munkaterületre helyezéskor két opáltöredék magától levált a kovapad-darabról, így kiderült, hogy ezen a nyersanyag-tömbön nagyon vékony a kortextréteg illetve láthatóvá vált egy, a tömb kortextrétegén végighúzó repedés is. Ezt korábban sajnos nem lehetett megállapítani.

Ennek ellenére folytattam a kísérletet. A 40. ütésre kettétört a nyersanyag-tömb, majd, a vékony kortextrétegnek és az előzőnél simább felületnek hála, a 64. ütésre sikerült darabokra bontani a tömböt. Megtapasztalhattam, hogy akár már fél négyzetméternyi kovapad kifejtésénél is milyen eltérések lehetnek, különösen őskori körülmények között. Mint látható, éppen arról a nyersanyag-tömbről távolítottam el a kortextréteget, amelyikről nem kellett volna, azonban a „csupasz”, de hepehupás felszínű avasi kovát még így is sokkal nehezebb volt feldarabolni,

mint a sima felületű, vékony kortextrétegű tömböt. A kortextréteg -ha figyelembe vesszük, hogy milyen nehézkesen lehetett eltávolítani- jelentősen meghosszabbította volna a darabolás folyamatát. Mindkét nyersanyagtömb alsó részén sok volt a kvarckristályokkal teli zárvány.

Mindkét tömb feldarabolásakor több szilánk vált le a tömbök olyan részeiről (az oldalakról), ahová nem is ütöttem. A négy, átlagosan 4,5 cm szélességű szilánk mindenféle pattintási stigmát nélkülöz.

#### **A kísérlet hibái:**

Először is, a mintadarab valószínűleg már hosszú ideje a szabad levegőn hevert, így a környezeti hatások (hőingadozás) miatt repedések keletkeztek benne. Ekkora méretű bányanedves, friss (repedésmentes) avasi kovát nem állt módomban beszerezni. A repedések miatt sokkal könnyebben fel lehetett darabolni a tömböket. Az őskorban mikor találkozhattak hasonló körülményekkel? Talán egy-egy új kovapad megbontásakor, hiszen azok széle kiállhatott a talajból a hegyoldalban. Az is elképzelhető, hogy a régebben és mások által felhagyott fejtések újbóli használatbavételekor is találkozhattak ilyen csökkent minőségű darabokkal. Viszont, ha a lehető legjobb minőségű nyersanyag megszerzése volt a cél - és miért ne törekedtek volna rá -, akkor ásniuk kellett. Másodszor: a vastagabb opálréteggel rendelkező tömbről távolítottam el a kortextet, de ezt a tömböt így is nehezebb volt feldarabolni, mint a másikat. Harmadszor: az ütőkőveim minősége valószínűleg nem volt megfelelő, a vasgolyó viszont túl effektív volt. Így feltehetően szélsőséges eredményeket kaptam, azaz: az ütések először túl rosszul, majd túl jól sikerültek. Megfelelő ütőkővekkel kicsit több törmelékkel kellett volna produkálnom.

#### **A kísérlet eredményei:**

Az egyenetlen felületű nyersanyagtömb feldarabolásához a vasgolyó „ütőkő” használatától kezdve is több mint másfélszer annyi ütés volt szükséges, mint a vékony opálréteggel fedett, sima felszínű nyersanyagtömbéhez. Az első darabolásból kinyert darabok átlagmérete is kisebb, illetve az apró méretű darabok és a törmelék aránya is magasabb, mint ahogy az ebből a táblázatból kivehető (**Melléklet I, 9. fotó; Melléklet III, 3. táblázat**). A törésteszt során kapott avasi limnoszilit darabokat hőkezelő és redukciós kísérletsorozatokhoz használtuk fel.

#### **6.1.8. Hőhatás**

Graetsch (1994) szerint közeli infravörös abszorpciós spektrumok vizsgálata alapján kb. 150 °C-on távozik el a víz a kovás kőzetek felszínéről és a felszínközeli pórusokból; a molekulárisan kötött víz (szilanol, **6.4. fejezet**) pedig 600 °C körül távozik el teljesen. A tiszta kvarc már 130 °C fölött sem tudja megtartani a vizet (Weiner, 2012/a). A mikrokristályos opálok szilanol-tartalma a mikrokristályos kvarcokénál kisebb, így víztartalmuk nagy része

molekulárisan nem kötött, illetve szövetszerkezetükben levegő is található. Ezért könnyebbek is a mikrokristályos kvarcoknál és ezért reagálnak gyorsabban a környezeti változásokra (Dove & Rimstidt, 1994). Szabad, száraz levegőn hamar megfakulnak, kifehérednek, szétrepedeznek.

A tűz termikus hatásai következtében megváltozik a kovás kőzetek morfológiája (Mercieca, 2000), így a szerkezetileg kötött víz eltávozásával gyakorlatilag már nem lesznek izotrópok (Weiner, 2012/a). Az extrém hőhatásnövelés növeli a mikrorepedések keletkezésének és a nyersanyag szétrobbanásának valószínűségét; a hőfok növekedésével egyenesen arányos a repedések keletkezésének valószínűsége (Mercieca, 2000). A hevítés a vízzel teli zárványok megsemmisüléséhez vezet a bennük található folyadékból képződött gőz távozásakor. Ennek következtében az üregmaradványokat friss törések veszik körül (néha irizáló víz-, vagy levegőfilmmel borítva), a nagyon korai, természetes hatások következtében roncsolódott üregek pedig mindig újrakristályosodtak; hevített, vagy hevítésgyanus minták sikeres Pásztázó-elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálatához ezért üregmaradványos minták szükségesek. (Kinnunen, 1993). A termikus hatást mutató darabokon makroszkópiusan termikus kipattanások, fakult színű felület és esetleg a vízhűtésre utaló repedések voltak megfigyelhetők (Kinnunen, 1993). Kisebb nyersanyagdarabok hirtelen, nagyfokú hőhatásra gyakran robbanásszerűen esnek darabokra (Harder, 1971; Mercieca, 2000).

Sikertelen terepi kísérleti régészeti és laboratóriumi hőkezelő kemencében elvégzett hőkezelési kísérletek során kiderült, hogy a bányanedves avasi limnoszilicit relatíve magas víztartalma miatt áthevítve nagyon könnyen darabokra robbanhat, ezért nem volt szükség vízzel lelocsolni, mint ahogy azt a sütésnél általánosan tették. A vizezés következtében lehűlt nyersanyagban keletkezett repedések egyenesek, a nyersanyag kristályszerkezetének síkjai mentén keletkeznek. Irányultságukban és formájukban (rácsos szerkezet) eltérnek a mechanikai behatásokra keletkezett repedésektől (Kinnunen, 1993).

Ringer Árpád rekonstrukciójában vékony homokréteget helyezett a frissen kibontott limnoszilicit pad fölé, de a 2-3 cm vastagságú szigetelőréteg alkalmazása nagyméretű, nehezen kezelhető tűz alkalmazásakor nem mindig elégséges (Ringer & Szakáll, 2005). Például a 2005-ös avas-tűzkövesi ásatás mellett felfedett kovapadot egy nagy tűzzel sikerült túlégetni. A sütés mind gazdaságossági, mind technológiai szempontból a kőzet gyengeségeit használja ki. Ez a gyengeség az avasi limnoszilicit esetében a magas víztartalmú kalcitos kéreg. A sütés akkor a legeredményesebb, ha hirtelen éri nagyon magas hőmérsékletű hőhatás a kőzetet; ettől a hatástól a jó minőségű kovás kőzetet, mint Kleinkems esetében, igyekeztek megóvni (Weisgerber & Willies, 2001). Amennyiben a technikát az Avason is alkalmazták, a kortexben található víz néhány perc alatt gőzzé vált, az ezzel járó hirtelen térfogatnövekedés pedig lepatintotta a közvetlenül a kisméretű tűztér alatt található kortextréteget. A hirtelen termikus



sokk valószínűleg a kortextréteg alatti limnoszilicitben is termikus elváltozásokat (helyenkénti kékes-pirosas elszíneződés, termikus kipattanások, mikrorepedések) és néhány nagyobb repedést idézett elő.

A 2005. évi laboratóriumi kísérletek szerint az avasi limnoszilicit levegőtől elzártan, hő hatására a következőképpen viselkedik:

- 220-230 C°-tól a nyersanyagban található lepidokrokrit/goethit hematittá kezd átalakulni (színváltozás indul, sárgásbarnáról vörösesre)
- 250-270 C°-tól markáns színváltozás következik be
- 300-350 C°-on a limnoszilicit alsó és felső felszínét borító „opálos” réteg aránylag magas víztartalma miatt széttöredezik (Ringer&Szakáll, 2005). Ez a teljes tömb áthévítését tételezi fel, hiszen a leírásban az alsó kéreg is szétpattan (Ringer & Szakáll, 2005).

Mivel az avasi TV-adótorony helyén kiásott késő-neolitikus kőbánya közelében pirosas és kékes színű limnoszilicit-változatok is előfordulnak, a nyersanyagváltozatok további vizsgálatáig ez az információ az avasi sütéses fejtés elméletét gyengíti. (Simán, 1986, Vollbrecht, 1997).

#### 6.1.9. A tűzhasználat kezdetei

A tűz a legmodernebb időkig fontos szerepet játszik az emberek életében. Az őskorban ez hatványozottan igaz lehetett, hiszen az ausztriai Krems-Wachtberg korai gravetti (27 400 ±300 éves <sup>14</sup>C) lelőhelyén két csecsemőt a központi tábori tűzhelytől és a főzőgödörktől 4 méter távolságra temettek el (Lauer mann, 2014). Az erős termikus hatások nyomait viselő paleolitik egyidősek a legkorábbi, hominidákhoz köthető tűzhelynyomokkal. A legidősebb tűzhelynyomok 1,6 millió évesek és a kenyai Koobi Fora-ban kerültek elő. A négy tűzhelyből 3 szabályos, de a negyedik szabálytalan alakú és inkább egy fa kiégett gyökere után maradhatott hátra. A lelőhelyen talált 2000 db kőeszköz közül a 160 kovakőből készült paleolit egy része megégett: felületük feketére pörkölődött és vöröses elszíneződések, illetve hőkipattanások is megfigyelhetők voltak rajtuk (Rowlett, 2007). A Kaukázusban Dmanisi lelőhely tűzhelynyomai hasonló korúak (Roebroeks & Villa, 2011). Az izraeli Gesher Benot Ya'aqov lelőhelyen talált tűzhelyek 790 ezer évesek lehetnek (Goren-Inbar et al. 2004). A Tabun-barlang termikus stigmákat viselő kovái 300-200 ezer évvel ezelőtt éghettek meg (Roebroeks & Villa, 2011). Az alsó paleolitikum idejéből származnak még a brit Beeches Pit és La Cotte de Saint Brelade (Meller, 2005), az Escale-tó (Fletcher, 1995), a kínai Csoukoutien I, a kenyai Chesowanja, az olasz Isernia, és a szintén égett kovákat is tartalmazó Vértesszőlős (Vértes, 1969/a; T. Dobosi, 2006) őskori tűzhelyei (Rowlett, 2007). A német Kärlich 200 000 éves

lelőhelyén is tűzhelynyomokra bukkantak (Bosinski, 1986). Dél-Afrikában 164 ezer évvel ezelőtt a Pinnacle Point lelőhelyen élő emberek már kőszekőnyersanyagot hőkezelték (Schmidt et al. 2011; 2012/a; b; 2013; 2015; Schmidt & Mackay, 2016). A schöningeni – valószínűsíthető – tűznyomok a *Homo heidelbergensis* tűzhasználatának legkorábbi leletei közé tartoznak Közép-Európában. A schöningeni tűzhasználatot az eddigi vizsgálatokon túl egy, az egyik tűzhelytől nem messze talált, majdnem 90 cm hosszú, elszenesedett végű fenyőfadarab is megerősíti (Schiegl & Thieme, 2007). Európában 200 és 80 ezer éves nyírfaszurok-maradványok tanúskodnak a neander-völgyi emberek komplex tűzhasználatáról (Meller, 2005). A felső paleolitikum leghíresebb magyarországi tűzhelye az Istállóskői-barlangban került elő (Vértes, 1955; Patou-Mathis et al. 2016). A Magyarországon előkerült, fiatalabb felső paleolitikus tűzhelynyomokat Lengyel György foglalta össze (Lengyel, 2009).

A tűzhelyek égési termékek nyomait hagyják hátra, valamint termikus eredetű változásokat olyan nem éghető anyagokon, melyek kapcsolatba kerültek a tűzzel. Ezek a tűzhely fajtájától és rendeltetésétől függően különbözhetnek. Egy háborítatlanul leégett tűzhely a maradványok össze nem keverhető kombinációját mutatja. Ettől a természetes (pl. bozóttűz, égő facsonk, erdőtüz stb.) tüzek friss nyomai jól megkülönböztethetőek és kísérleti régészeti eredmények alapján rekonstruálhatóak. Az idő múlásával ezek a karakterisztikus nyomkombinációk részben, vagy teljesen eltűnnek, ám kedvező körülmények között egy tűzhely egyes nyomai hosszú időn át fennmaradhatnak. Ilyen nyom lehet a tűzhely alatti földréteg elszíneződése: a különböző kőzetek, üledékek és talajtípusok többnyire vastartalmú összetevőkből állnak. Amennyiben ezek vízben oldódó anyagok, a vas víz jelenlétében kioldódik és meghatározott fizikai-kémiai körülmények között kicsapódik az üledékben vagy a talajban vas-kolloidok, vasoxidok és vas-hidroxidok formájában (Hartai, 2009). Ekkor beszélünk hematitról, goethitról és limonitról. Ezek sárga vagy vörös színűek, és jelenlétük feltűnő elszíneződést okozhat a talajban. A vörös elszíneződést azonban nemcsak ezek az ásványok okozhatják, hanem a vastartalmú üledékek oxidáló körülmények közötti felhevülése is vörös színű zónákat eredményez. Ilyenkor az ezekben található vastartalmú kőzetek is vörösesre színeződnek, amihez már néhány század százaléknyi vastartalom is elégséges (Schiegl&Thieme, 2007). A schöningeni 13 II-4 alsó paleolitikus lelőhelyének kutatása során ilyen elszíneződött zónák alapján azonosították, majd a kísérleti régészet módszereivel rekonstruálták a heidelbergi ember csonttal táplált tűzhelyeit (Schiegl & Thieme, 2007).

Az égett kovák eloszlásának felderítése olyan korabeli tűzhelyeket is segíthet lokalizálni, amelyeknek nincs látható nyoma (faszén, átégett talaj) a régészeti rétegekben. Az őskori tábortüzek legfontosabb nyomai - amennyiben nincs átégett talajréteg és elszenesedett csont vagy faszén - a termikus stigmákat hordozó pattintott kövek (Audouze, 2007). A leletanyagok

vizsgálata mellett tábortüzes terepi kísérletekkel deríthető ki a hő vízszintes és függőleges irányú lehetséges maximális kiterjedése, valamint a különféle tűzhelyek és főzőgödrök hatásfoka (Groenendijk & Smit, 1990; Odgaard, 2007; Lawrence & Mudd, 2015). A bajorországi Sesselfelsgrotte több tűzhelyfolttal rendelkező G (késő-középső paleolit) régészeti rétegében talált leletanyagának 2, 86 %-a égett kova (Richter, 1997). A franciaországi Verberie magdalénien táborhelyén a tűzhelyek nagysága a 25 cm átmérőjűtől a 70 cm átmérőjűig változik. A tűzterek alatti talajban legfeljebb 15 cm mélységig voltak érzékelhetőek a hőhatás nyomai. A tűzhelynyomoknál talált nagyszámú, rácsszerkezetű mikrorepedéssel teli, átégett kő intenzív főző- vagy zsírkinyerő tevékenységre utal (Adouze, 2007). Aachen-Lousberg neolitikovabányájában egy „ülőkő” mellett található, égett kovadarabok koncentrációjánál azonosítottak őskori tűzhelynyomot (Schyle, 2010).

#### 6.1.10. A tűzhelyek műszeres vizsgálata

Az izraeli Gesher Benot Ya'aqov (kora kb. 790 ezer év) lelőhelyen felhevített kőeszköznyersanyag szilánkok elhelyezkedéséből állapították meg a tűzhely pozícióját. Itt az összes kova 1,8 %-ka volt megégett (Richter et al. 2011). Ezeknek a 60 %-a két helyen koncentráldott a lelőhely közepén; a termikus stigmákat viselő paleolitokat a karakterisztikus repedések alapján választották ki, majd termolumineszcenciás módszerrel vizsgálták meg őket. (Goren-Inbar et al. 2004; Richter & Alperson-Afil & Goren-Inbar, 2011). A kb. 300 ezer évesre datált marokkói Jebel Irhoud lelőhelyen talált paleolitikok 37 %-a mutat termikus stigmákat, melyek a lelőhely korának TL módszerrel történő meghatározásában kiemelkedő szerepet játszottak (Richter et al, 2017). A Dordogne-i Les Fraux barlangban a tűzhelyek lokalizálását termolumineszcenciás (TL) vizsgálatok és mágneses szuszceptibilitás-mérés segítségével végezték el. (Brodard et al, 2012). A felsorolt vizsgálati eredmények azért különösen fontosak, mert alacsony hőhatást nehéz a TL módszerrel felismerni (Richter & Alperson-Afil & Goren-Inbar, 2011).

Amennyiben egy régészeti lelőhelyen nincs látható tűzhelynyom, az a lelőhelyen talált, termikus hatást mutató paleolitikok elhelyezkedéséből kikövetkeztethető. Az átégett paleolitikok archeometriai vizsgálatával és kísérleti régészeti módszerekkel a tábortűz fajtája, hatásfoka, funkciója és bizonyos esetekben a lelőhely kora is kideríthető.

#### 6.1.11. Mit tud a tábortűz?

A fentebb említett rekonstruált körülmények között végrehajtott tábortüzes kísérletek alapján egy kisebb csonttűz lángja által leadott hő már 12,5 perc alatt eléri az alfa-kvarc béta-kvarcá történő átalakulásához szükséges 573 °C-ot, 26 perc után pedig a 700 °C-ot; Kinnunen (1993) szerint az izzó parázs egy ideig a 690 °C-ot is tartja, és a 700 °C elérése is lehetséges

tábortüzekkel. Ezekről az értékektől a fával táplált tűz lángja sem marad el jelentősen, sőt, a megfelelően felépített, jó huzatú tűzzel a 800 °C elérése sem lehetetlen (Weisgerber & Willies, 2001). Mérőműszeres kísérleti régészeti vizsgálatok alapján a 85 és 45 cm közötti átmérőjű mezolitikus főzőgödrökben fellépő, cirkuláló légáramlat segítségével rövid idő alatt el lehetett érni a 850-900 °C-ot, ami a tüzelőanyag összeroskadása (ti. a levegő cirkuláció intenzitásának csökkenése) után jelentősen visszaesett (Groenendijk & Smit, 1990).

#### 6.1.12. Tüzelőanyag- és hőleadás összehasonlító szabadtéri kísérlet

A kísérlet célja: egyforma mennyiségű tüzelőanyaggal táplált fa-, csont- és szárított trágyatűz égési idejének és hőleadásuk mértékének összehasonlítása (**Melléklet II, 32. ábra, felső rajz**). Egy negyedik, könnyen beszerezhető tüzelőanyagot, a fenyőtobozt kihagytam a kísérletből.

A tüzek begyújtásához 2-2 kg fa gyújtóst használtam, ezeket a kis tüzeket kezdtem el táplálni egyenként 6-6 kg gyertyánnal, friss házisertés femurral és humerussal, valamint száraz ló- és szarvasmarha trágyával. Fát és trágyát világszerte a mai napig általánosan használnak tüzelésre, Nyugat-Európában talán a schöningeni *Homo erectus* táborhely az egyik legszebb és legrégebb példa, ahol csonttal táplált tűzhely nyomait találták meg (Schiegel & Thieme, 2007). Andernach-Martinsberg magdaléni lelőhely őskori tűzhelyeiben a területen felszínre bukkanó barnaköszén nyomait találták meg (Holzkämper, 2006). Vértesszőlősen bukkantak olyan tűzhely nyomaira, amit apróra tört csontokkal tápláltak (T. Dobosi, 2006). A hőelemeket a földön helyeztem el, amire aztán a tüzet raktam (**Melléklet I, 10-11. fotó**). A kedvezőtlen, nedves időjárás által (lásd a csonttűz égési ideje) némileg befolyásolt, épp ezért életszerű eredmények a 4. táblázatban láthatóak (**Melléklet III**).

Mint látható, mindhárom tüzelőanyaggal el lehet érni az avasi nyersanyag áthevítéséhez szükséges hőmérsékletet, bár korábbi kísérletek szerint egy tábortűz nem sugároz le 400 °C-nál nagyobb hőt az alatta lévő talajnak (Rowlett, 2007), és a csont tüzek hőleadása a talaj irányába csak 200-300 °C közötti mértékű (**Melléklet II, 33. ábra**) (Delage & Sunseri, 2005).

Az összehasonlító tüzes kísérlet megmutatta, hogy a kőeszköznyersanyagok áthevítésére alkalmas tüzelőanyagok milyen széles spektruma állhatott rendelkezésre az őskorban.

#### 6.1.13. Az első nyílttűzes hőkezelési kísérlet

##### **A kísérlet célja:**

Az avasi limnoszilit tűz segítségével történő kinyerésének Ringer Árpád által leírt és irányított körülmények közötti rekonstruálása.

### **A kísérlet folyamata:**

Regős József (a 2005-ös avas-tűzkövesi kovapadégető kísérlet végrehajtója) segítségével és iránymutatása alapján körülbelül 120 kg 2. típusú avasi limnoszilitból készült el a „kovapad”. A nyersanyagot Dr. Szakáll Sándor ellenőrizte. A legnagyobb nyersanyagtömb 18 cm vastagságú volt, a kisebbek 7-15 cm vastagságú voltak. Ezek alatt csak pár centiméter vastagságban, a nagyobb tömb felett 6-7 cm, a vékonyabbak fölött 12 cm vastagságban került agyagos avasi homok (**Melléklet II, 32. ábra, alsó rajz**). Az eltérő vastagságú fedőrétegnek a nyersanyag áthévitésére való hatását is meg szerettem volna vizsgálni.

### **Hőelemek elhelyezése:**

1. Közvetlenül a vastagabb nyersanyagtömb alatt
2. Közvetlenül az egyik kisebb nyersanyagdarab alatt
3. A nyersanyagtömbök felett
4. A felső homokréteg tetején

**Tüzelőanyag:** 1 m<sup>3</sup> gyertyán tűzifa (**Melléklet I, 12. fotó**).

A hőelemeket (Hi-Speed USB Carrier, NI USB-9162) a Miskolci Egyetem Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetétől Dr. Barkóczy Péter és Körösy Gergely segítségével szereztem be.

A kísérlet egy hőelem kiesésén kívül rendben zajlott, viszont nem volt sikeres.

A tűz meggyújtása utáni 12,5 órával sem hevültek át megfelelően a nyersanyagtömbök, ezért megfelezttem a felső homokréteget (**Melléklet II, 34. ábra**). Ezután 6 órával egy kis profilt nyitottam a „kovapad” szélén, hátha csak a mérőpontokon nem megfelelő a hőfok és színváltozást tapasztalok, de nem történt ilyen.

Közvetlenül a nyersanyagtömbök fölött a hőmérséklet a kezdéstől számított 24 óra múlva sem lépte túl a 120 C°-ot. Ezután 6 órával befedtem az izzó parazsat. A 34. órában a nyersanyag felett 190 C° hőmérséklet uralkodott, az alsó hőelemek 100-100 C°-ot mértek. A 49. órában befejeztem a kísérletet. Ekkor a kövek fölött 150 C°, alattuk 70 C° volt a hőmérséklet (**Melléklet II, 35. ábra**).

A „kovapad” fölötti homokréteg a jelek szerint túl vastag volt, a hőelemek pedig túl finomak a kísérlet közbeni áthelyezéshez – ezért ment egy tönkre a kísérlet közben. Nagy mennyiségű fát eltüzelttem, Regős Józseffel úgy gondoltuk, hogy a „kovapad” idővel átmelegszik, de ez nem következett be. A homokréteg azért volt ilyen vastag, mert el akartam kerülni a nyersanyag túlhevülését, ami a 2005-ös avas-tűzkövesi szabad tüzes kísérlet során is bekövetkezett. A nyersanyag így a további vizsgálatok nagy részéhez alkalmatlanná vált volna.

#### 6.1.14. A második tüzes kísérlet folyamata

Az első kísérletből okulva kisebb, kb. 40 x 40 cm-es „kovapadot” építettem fel vékony nyersanyagtömbökből, melyekre kb. 2 cm vastag avasi agyagos homokréteg került. A hőmérséklet változását két hőelem mérte, melyek közül az egyiket ismét közvetlenül a parázs alá, a felső homokréteg tetejére helyeztem, a másikat pedig agyaggal a nyersanyagtömbhöz tapasztottam.

A gyertyán tűzifával táplált tűz meggyújtása után 30 perccel a felső hőelem 370 C°-ot, az alsó még csak 20 C°-ot mért, a 8. órában pedig a parázs hőmérséklete 435 C° volt. A kovapadhoz rögzített hőelem már 240 C°-os hőmérsékletet mért, ami a 11. órában kúszott fel 260 C°-ra, amely hőfokon már változik a nyersanyag minősége. Ezen hőfok fölé már nem akart felkúszni a hőmérséklet, ezért betakartam a parazsat. Ezután 12 órával takartam ki, akkor 55 C°-ot mért az alsó hőelem (**Melléklet I, 13. fotó; Melléklet II, 36. ábra**). Éppen csak hozzá lehetett érni puszta kézzel a nyersanyaghoz. A kísérlet sikeres volt.

#### Megfigyelések:

-A tűz melletti földréteg pár cm vastagságban átégett, de közvetlenül az áthevült nyersanyag mellett is ép maradt egy kicsi, élő gyökér, tehát a homok és a föld hővezető képessége rossz.

-Az egyik limnoszilicit-darab felső felszínéről felvált az opálos réteg, de a minta színe nem változott meg.

-A sávós limnoszilicitek sárgásbarna színű, lepidokrokites sávjai vörös színűvé változtak, felületük is zsírfényű lett (**Melléklet I, 14. fotó**).

-A későbbi nyomószilárdság-mérések alapján a hőhatásnak kitett nyersanyagminták nyomószilárdsága kisebb, mint a természetes állapotú mintáké.

#### 6.1.15. Nyomószilárdság-vizsgálat

A hőkezeléssel a pattintott kőszköznyersanyagok nyomószilárdsága csökken, megmunkálhatóságuk javul. A nyomószilárdság csökkenését támasztják alá a fentebb leírt nyílt tüzes hőkezelő kísérletben sikeresen hőkezelt avasi limnoszilicit-mintákon Mikó Tamás (Miskolci Egyetem, Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet) által elvégzett nyomószilárdság-vizsgálatok is (**Melléklet II, 37. ábra**).

A mérőműszer adatai: 100 kN-os Instron 5982-típusú univerzális anyagvizsgáló berendezés.

Minták előkészítése: a nyers és hőkezelt avasi limnoszilicit darabokból gyémántkorongos sarokcsiszoló segítségével vágtam ki a páronként egyforma, átlagosan 15 x 15 x 15 mm méretű kocka alakú mintákat (**Melléklet III, 5. táblázat**).

A hőkezelt és nem hőkezelt nyersanyagminták terhelés-elmozdulás vizsgálatainak diagrammjain látható, hogy a hőkezelt minták nyomószilárdsága ( $\text{N/cm}^2$ ) minden esetben kisebb, mint a nyers mintáké (**Melléklet II, 37. ábra**).

A kísérlet megmutatta, hogy megfelelő vastagságú szigetelőréteg (megfelelő helyzetben elhelyezkedő limnoszilicitek) és hosszú ideig égő tűz esetén, ha nehezen is, de reprodukálni lehet az Avas-Tűzkövesen végzett 2002-es ásatás leletanyagának egyes darabjain megfigyelhető termikus stigmákat. Ez történhetett valószínűtlenül sokáig égő természetes tűz, valamint ember által gyújtott tűz hatására is, akaratlanul vagy akaratlagosan.

#### 6.1.16. A magas hőmérséklet ásványtani hatásai

A kovás kőzetek többségében megtalálhatóak a diagenezisük során elsődlegesen vagy másodlagosan kialakult, folyadékkal teli, mikroszkópikus méretű zárványok, buborékok, melyek az ásvány kialakulásának idejében záródtak be (Kinnunen, 1993). A kialakulási hőmérséklet fölé hevítve a zárványok szétrepednek, ami morzsolódáshoz, repedezéshez vagy akár robbanáshoz is vezethet. A hidratálódott vasásványok, különösen a vasoxidok is térfogatcsökkenéssel reagálnak a  $100\text{ }^\circ\text{C}$ -nál nagyobb mértékű hőhatásra.

A sütés alkalmazásakor a kovás kőzetek esetében a "termikus sokk"-hoz nem szükséges a hűtőfolyadékkal való locsolás, elég hozzá a kőzet pórusaiban tárolt víz is. Gyors lehűléskor (kisméretű darab esetén elég, ha eltávolítjuk a hőforrástól - ezért szükséges a lassú, fokozatos lehűlés) a nyersanyag térfogata hirtelen lecsökken, ez feszültséget okoz a kőzetalkotó ásványokon belül vagy azok között, ami mikrorepedések és termikus kipattanások kialakulásához vezet. A termikus hatás elsősorban a süttött kőzet gyenge pontjainál, ti. a repedéseknél és a magasabb víztartalmú (például agyagásványos, vasoxidos-) rétegeknél a legeredményesebb (Weisgerber & Willies, 2001; Haldal & Storemyr, 2015). Nagyobb ellenálló képességű pattintottkőeszköz nyersanyagok hevítésekor  $574\text{ }^\circ\text{C}$ -tól az  $\alpha$ -kvarc  $\beta$ -kvarccá alakul. A nyersanyag hirtelen hűlés hatására ismét  $\alpha$ -kvarccá változik, melynek hatására szintén mikrorepedések keletkezhetnek benne (Kinnunen 1993).

#### 6.1.17. A termikus feszültség

A környezeti tényezők (a szél, a hőmérséklet- és nedvességtartalom gyors ingadozása) olyan eróziós erők, melyek viszonylag hosszú idő alatt hatnak a kőzetek szerkezetére és erodálják azokat. A széllel szálló éles homokszemek is koptatják a kőeszköznyersanyagokat, csakúgy, mint a szemcséket szállító folyó vagy hullámzó víz (Schön, 2012). Fagy- és hőhatás által kiváltott hőingadozás lehetséges. A kőzetek eróziója, habár benne a víz és különféle sók is közrejátszhatnak, főleg a hőmérsékletváltozástól függ. A kőzet kristályainak

térfogatváltozása a szövetszerkezet rövid idő alatti kitágulását és összehúzódását, ezáltal pedig a szövetszerkezet nagyfokú gyengülését eredményezheti. A napi hőingadozás hatalmas kősziklákat is feldarabol, ennél azonban gyakoribb jelenség a kőzetfelszínek felpikkelyeződése. A fagyás – a kőzetben és annak környezetében található víz térfogatának növekedése – is a kőzet repedéseinek tágulásához és a kőzet felaprózódásához vezet. Az így keletkezett szilánkokat termikus kipattanásnak, ezek magköveit pedig termikus magkönek nevezzük, így különítve el őket az emberi kéz nyomait magukon viselő daraboktól. A fentebb leírt eróziós folyamatok nyomai nagyon hasonlítanak egymáshoz, függetlenül attól, hogy hideg vagy meleg körülmények között történtek (Schön, 2012).

#### 6.1.18. Sütési kísérlet avasi limnosziliciten

A sütési kísérletet nagyrészt Kim Akerman cikke alapján terveztem meg (Akerman, 2006). Megvizsgáltam annak lehetőségét, hogy lehetett-e hatékonyabb módja a Ringer Árpád által leírt tüzes fejtési technológia elméleti rekonstrukciójának. Mint azt fentebb már leírtam, az ausztrál bennszülöttek által alkalmazott módszerrel igen rövid időn belül fel lehetett darabolni egy nagyobb nyersanyagtömböt a közvetlenül mellette (fölfelé szélesedő nyersanyagtömb esetén közvetlenül alatta) gyújtott tűz segítségével. Ezen kívül a kísérlethez felhasználtam a norvégiai Melsvik kalcedonbányájának kutatása során nyert régészeti és kísérletrégészeti eredményeket (Storemyr, Weboldalak/b).

Itt az óriási nyersanyagtömbön talált termikus nyomokból arra következtettek - és ezt a kutatók a kísérleti régészet módszereivel igazolták is -, hogy viszonylag kisméretű tüzek hője is képes a tűz alatt elhelyezkedő nyersanyag megbontására. Igaz, a közvetlenül a tűz alatt található nyersanyag túlég és használhatatlanná válik, de a kb. 10 cm-re található nyersanyag már használható (és tegyük hozzá: hőkezelt) lett. A kisméretű tűz könnyen kontrollálható és mindenekelőtt valami hiba esetén sokkal gyorsabban eloltható, mint egy nagyméretű tűz. Sikertelen folyamat esetén nem is megy tönkre egyszerre sok nyersanyag.

E gyors darabolási módszer kipróbálásán kívül még azt is meg szerettem volna tudni, hogy lehet-e növelni a sebességet, ha egy nyersanyagdarabot közvetlenül alulról éri a tűz fölfelé sokkal intenzívebben leadott hője. A következő módon készítettem elő a kísérletet (**Melléklet II, 38. ábra**):

Egy 4,5 cm vastag, kb. 0,5 cm-es cortexű avasi limnoszilicidat kettétörtem, közülük a rövidebbet a földre fektettem. Közvetlenül e mellé két hasáb alakú követ állítottam, melyekre ráhelyeztem a hosszabb avasi limnoszilicid töredéket. A két hasáb alakú kő mérete szerencsére lehetővé tette, hogy elég nagy fadarabokkal tudjam majd táplálni a négy kődarab által határolt



térben rakott tüzet. A kísérlet célja az volt, hogy megtudjam, melyik avasi limnoszilicittöredéket fogja először feldarabolni a tűz hője.

#### **A kísérlet lefolyása:**

A tűz meggyújtása után 15 perccel a felső avasi limnoszilicit darabokra robbant. Az alsó kovadarab ezután 10 perccel robbant szét, de kisebb darabok (főleg a kortextről és a kovadarab sarkairól) már pár perccel korábban is több méternyi távolságra repültek belőle. Mint ahogy a fotókon látható, mindkét nyersanyagtömb több darabra vált szét; pár töredéken bizonyos fokú, ám elhanyagolható elszíneződés figyelhető meg, de a szétvált felületek közül egyesekre (tehát nem általánosan) jellemző a zsíros fény, valamint általánosságban a termikus hatás okozta ívelt törések. A darabok végigkocogtatása során kiderült, hogy nagyon kevés bennük a mikrorepedés, így elég stabilnak tűnnek a további felhasználáshoz, de jelentős a törmelék aránya. A felső, eredetileg 3242 g súlyú darab, melyet rövid ideig ért a hő, 1187 g törmeléket produkált, az alsó, 2922 g súlyú darab pedig 1450 grammnyit. Az opálos kortextrétegek több helyen leváltak (**Melléklet I, 15-19. fotó**).

#### **6.1.19. Termikus stigmák**

A *termikus kipattanás* egy maga után konkáv negatívot hagyó, gombostűfej nagyságú, vagy annál nagyobb, plano-konvex szilánk: termikus összehúzódás és tágulás eredménye izotróp (minden irányban ugyanolyan tulajdonságokkal rendelkező) kőzeteken. Ventrális lapjáról és negatívjáról többnyire hiányoznak a tipikus hullámfodrok és szálkák (Mercieca & Hiscock 2008). A termikus kipattanások leválasztási felülete kerekded, ovális és domború, általában a hátlap középpontja mellett egy kis kúp is felfedezhető, ami egy átlagos szilánk bulbusz-kipattanásának feleltethető meg (Schön, 2012). Angol nyelven *potlid fracture*-nek, azaz fazékkfedő alakú szilánknak vagy törésnek nevezik. A hőkipattanás nem mindig válik fel a felületből, ilyenkor csak a kerek repedést figyelhetjük meg (Richter & Alperson-Afil & Goren-Inbar, 2011). Hőkezelés esetén a termikus kipattanás az elrontott folyamat jele (Mercieca, 2000). A termikus kipattanásokat sokszor nehéz a pattintott leletektől megkülönböztetni, de a talon hiánya a termikus kipattanás árulkodó jele lehet; a ventrális oldal legnagyobb vastagsága, ami a szilánknál az ún. *bulbus*, mindig a darab középső részén helyezkedik el, ami termikus kipattanás-töredékeknél is felismerhető (**Melléklet I, 20. fotó**).

A *zsírfény* termikus stigmaként való besorolását nehezíti, hogy nyers kovás kőzetek kevésbé diagenizáltak, vagy rehidratálódott (opálos-) részein is előfordul, például az avasi limnoszilicit kortexszel határos részein, illetve, hogy egyes kőeszközyersanyagokon, mint például a metarioliton, hő hatására sem jelentkezik (Domanski & Webb, 1992; Rowney & White, 1997, Corkill, 1997).

A kova kellő vasoxid-tartalma esetén a hő hatására történő *színelváltozás* is megfigyelhető. Az elszíneződés termikus stigmaként való besorolását nehezítik egyrészt az adott nyersanyag ismert, esetleg még ismeretlen színváltozatai, másrészt a nyersanyag a természetes mállás során is elszíneződhet (Schindler et al. 1982; Domanski & Webb 1992; Hartai, 2009; Davis & Richter, 2005; Richter & Temming 2006; Weiner, 2012/a; Zhou et al. 2013). A goethit nevű ásvány száraz éghajlati viszonyok között könnyen dehidratálódik: vörös színű hematittá alakul (Hartai, 2009). Szabad tüzes hőkezelési kísérletek során kiderült, hogy a lánggal alig néhány percig közvetlenül érintkező kovadarabok is mutathatják esetenként a hőkezelődés nyomait (Richter et al. 2011). *Túlégetés* esetén a kovák porcelánszerűvé válnak, kalcinálódnak; kifehérednek és megtelnek *rácsos szerkezetű mikrorepedésekkel*. Az ilyen darabok köeszköz készítésre már nem alkalmasak (Schön, 2012). A felhevült kovás kőzetek hirtelen lehűtése során keletkezett repedések szintén egyenesek, a nyersanyag kristályszerkezetének síkjai mentén keletkeznek. Irányultságukban és formájukban eltérnek a mechanikai behatásokra keletkezett repedésektől (Kinnunen, 1993, Weiner, 2012/a).

Megfelelő mértékű hő hatására egy kovás kőzetnek a hővel közvetlenül érintkező felszínének színe eltompul; a nyersanyagra jellemző fény eltűnik, *matt fényű felület* alakul ki. Ez a termikus stigma csak erős hőhatásra képződik.

A felsorolt termikus stigmák természetes eredetű tüzek, illetve nem szándékos emberi cselekmények, például a nyersanyag tűzbe ejtésének hatására is kialakulhatnak. Zsírfényes felületű vagy elszíneződött köeszközöket véletlenül áthevült nyersanyagból is lehet készíteni, de annak az esélye minimális, hogy a nyersanyag ilyenkor megfelelően hőkezelődjön és a megmunkálásra alkalmas maradjon. Ezen kívül, tökéletes hőkezelés és hőkezelődés a modern, termosztátos hőkezelő kemencék feltalálásáig nem létezett. A köeszköznyersanyagok szerkezetük tömörségétől, a hőszigetelő közegben való elhelyezkedésüktől, méretüktől, a hőforrás intenzitásától és a hő eloszlásától függően eltérő mértékben, a legtöbbször részlegesen hőkezelődtek (Weiner, 2012/a). Így például egy termikus stigmákat nem mutató darab is lehet valamennyire „hőkezelődött”, és egy szépen elszíneződött, matt-, pattintva pedig zsírfényes felületű darabról is eltűnhetnek a termikus stigmák a megmunkálás során (Miller, Weboldal/a). Éppen ezért kevés az olyan paleolit régészeti lelőhely -például Hayonim és Ustinovka-, ahol tömegével bukkantak hőkezelődött darabokra (Kononenko & Kononenko & Kajiwara, 1996; Sunseri & Delage, 2016). A Solutréen kultúra azon lelőhelyein, ahol bizonyított a hőkezelés egykori alkalmazása, a hőkezelődött darabok száma alig teszi ki a paleolit leletek 1 %-át. Sütés esetén pedig csak a tűzzel közvetlenül érintkező nyersanyagrészeknek egy kis hányada hőkezelődik, egy része megég, fő tömegén pedig legfeljebb

egy-egy termikus repedés, vagy a megrepedt részek szétválásakor keletkezett ívelt vonalú felület figyelhető csak meg.

Egy átlagos tábor tűz által leadott hőre csak gyengén reagáló pattintott kőszköznyersanyagok (pl. metariolit) esetében, egyértelmű tűzhelynyomok -faszén, égett csontok, elszíneződött felszín- híján szinte lehetetlen megállapítani, hol is a lehetett az egykori táborhely központi része. Mikor mérlegelhető így egyáltalán a sütés vagy a hőkezelés korabeli alkalmazásának gondolata? Vértes László a lovasi festékbánya és a Sümeg-mogyorósdombi tűzkőbánya esetében a rengeteg faszénből, a tűzhelynyomok hiányából és az égett agancs bányászszerszökökből gyanította a sütés korabeli alkalmazását. Az Avas-Tűzkövesen Ringer Árpád a termikus kipattanásokból és a termikus stigmákat hordozó paleolitokból következtetett ugyanerre, a régió paleolit lelőhelyeinek leletanyagában pedig hasonló darabokat azonosított. Mindegyik lelőhelyen viszonylag nagy számban bukkantak valamiféle szándékos hőhatás jeleire, Avas-Tűzkövesen a termikus stigmák igen gyakran, sokszor egyszerre jelentkeztek paleolitokon. Ez már elegendő alap volt az archeometriai vizsgálatok megkezdéséhez.

A sümegi és a lovasi bányák jeleit nevezhetnénk közvetett termikus stigmáknak, az avasiakat pedig közvetlennek, hiszen míg Sümeg-Mogyorósdombon az anyakőzetet aprózhatták fel tűzzel, a francia és német példák alapján valószínűleg a nyersanyagtól legalább 15 cm távolságban, addig az Avason, amennyiben valóban alkalmazták a technikát, közvetlenül a limnoszilit padot sütötték meg (Mészáros, 1978; Mészáros & Vértes, 1954; Vértes, 1958; 1969/b). Ennek során a lerobbant felső cortex és a lerepszett padderab egy része megégett, a nyersanyag kis része pedig hőkezelődhetett.

#### 6.1.20. Kritikus hőmérséklet

A 2000-es évek elejéig a kutatók az általános hőkezelési hőmérsékletet próbálták meg kideríteni. Ez az elméleti kritikus hőmérséklet a különböző eredmények alapján kb. 280-435 °C körül mozgott (Weiner, 2012/a). Hőkezelési kísérletek során kiderült, hogy a nyílt lánggal (300 °C) közvetlenül érintkező kovadarabok is mutathatják esetleg túlélés nyomait (Richter & Alperson-Afil & Goren-Inbar, 2011). Egyes kőszköznyersanyagok, mint például a kovakéreg, magas hőfokra hevíthetőek, még 700-900 °C-on sem égnek használhatatlanná (Mercieca & Hiscock, 2008; Schmidt et al. 2011). Vannak olyan észak-európai tűzkövek is, melyek csak 1100-1300 °C-on égnek túl, viszont az ottani, fekete színű, üveges tűzkövek szövetszerkezetét már a 180 °C-os hőmérséklet is tönkretelheti (Weiner, 2012).

Az ásványok többségében megtalálhatóak elsődlegesen vagy másodlagosan kialakult, folyadékkal teli, mikroszkópikus méretű zárványok, "buborékok", melyek az ásvány képződése vagy metamorfizációja idejében záródtak be. A kialakulási hőmérséklet fölé hevítve a

zárványok szétrepednek, ami morzsolódáshoz, repedéshez vagy akár robbanáshoz is vezethet. A hidratálódott vasásványok, különösen a vasoxidok ( $\text{FeO} \times \text{H}_2\text{O}$ ) is térfogatcsökkenéssel reagálnak a 100 °C-nál nagyobb mértékű hőhatásra (Schulz, 1980). A kovaközetek esetében a "termikus sokk"-hoz elég a kőzet pórusaiban található folyadék. A hőkezelődés során a víztartalom csökken, mivel egy része gőzzé válik (más része a lentebb tárgyalt módon a szövetszerkezet homogenizációjában vesz részt). A tiszta kvarc már 130 °C fölött nem tudja megtartani a vizet (Schulz, 1980), kovás kőzetekben a kémiai reakció általában 200-300 °C között indul el (Bordes, 1969/b; Schmidt et al. 2011). A termikus hatás elsősorban a kőzet gyenge pontjainál (pl. repedéseknél, a legnagyobb víztartalmú rétegeknél, zárványoknál) a legeredményesebb (Weisgerber & Willies, 2001).

A legtöbb kovakőzetben nem mutatható ki szerkezeti változás 200-300 °C közötti hőmérsékletre hevítve, de a kőzet típusától függően előfordul, hogy az elváltozás már 200 °C-on bekövetkezik. 200 °C alatt az áthevítés általában nem okoz színváltozást és nem javítja a megmunkálhatóságot (Schmidt et al. 2012/a; /b; 2013). Ekkora, sőt, még a 200-350 °C közötti hőhatás sem mutatható ki megbízhatóan SEM vizsgálatokkal (Delage & Sunseri, 2005; Sunseri & Delage, 2016). Mivel a legtöbb kova szövetszerkezete 200-300 °C-on homogenizálódik (Bordes, 1969/b), és a kritikus vízellátózási hőmérséklet kovás kőzetekben kb. 365 °C (Richter & Alperson; Afil & Goren-Inbar, 2011), biztosan kijelenthető, hogy a SEM vizsgálatok egymagukban nem alkalmasak a hőhatás bizonyítására (Kinnunen, 1993; Richter & Alperson; Afil & Goren-Inbar, 2011).

## **6.2. Természetes és nem célzatos tüzek avasi limnoszilicitre gyakorolt hatásainak terepi rekonstrukciói**

A hevítés okozta termikus stigmák kialakulása történhetett természetes úton (pl. sztyeppe- és erdőtűz) vagy emberi tevékenységhez kötődően. Utóbbi eset is több részre osztható. Történhetett szándékosan (pl. sütés során) és véletlenül (a nyersanyag őskori tábortűzben vagy a későbbi korokban, pl. tarló vagy szőlővenyige égetése során is „hőkezelődhetett”). A terepi kísérletsorozat során elvégeztem a különféle lehetőségek rekonstrukcióit.

### **6.2.1. Újkori hőhatás rekonstruálása: „Tábortűz kísérlet”**

A kísérlet célja: annak kiderítése, hogy egy viszonylag modern, ember által gyújtott tűz előidézhette-e a 2002-es ásatási leletanyagban található kovák termikus stigmáit. Az intenzív avasi mezőgazdasági tevékenység miatt elképzelhető, hogy a leletanyag ilyen jellegű darabjai feltehetően valamilyen tűzben vagy tűz mellett égtek meg, melyet nem azzal a céllal gyújtottak, hogy a kovapadok fejtését könnyítsék meg vele. Hogy az egész folyamatról pontosabb képet kapjunk, olyan nyersanyagmintákat is bevontunk a kísérletbe, amelynek bányáinál termikus

stigmákat (itt a legszembetűnőbbre, az elszíneződésre gondolunk) viselő darabokat láttunk. Így kerültek be a kísérletbe a 14. fotón látható nagyteveli (11-12.), egerbaktai (egy zöldes és egy sárgásbarna változat; 13-16.) és bükkszentkereszti (17-18.) nyersanyagminták is (**Melléklet I, 21. fotó**). Különböző - kicsi és közepes - méretű mintákat választottunk, melyeket a leendő tűztér alá, illetve köré helyeztünk el. Minden mintából került a külső körbe és a tűz alá is. Utóbbiakat finom szemcsés homokkal kevert földréteggel fedtem le 1 cm vastagon. Néhány közepes avasi kovát darabokra törtem, hogy sűrűn körbevehessem velük a tüzet (**Melléklet II, 39. ábra**). Az ettől eltérő, hevítés közben keletkezett íves törések megfigyelhetőek a mintákról a hevítés után készült fotón (**Melléklet I, 22. fotó**). A főleg apró keményfaágakkal táplált tűz hevesen égett, a meggyújtástól számított tizennégy perc múlva már hallani lehetett a szétpattanó kövek hangját. Néhány szélső minta láthatóan feketére égett.

Eredmények: egy tábortűzben, vagy a mellett a kisebb kovadarabok (pl. a paleolitok) túlének vagy darabokra robbannak. A színváltozás legtöbbször bekövetkezik, de egyes esetekben az égés dacára (a teveli tűzkő és a zöldes baktai nyersanyag színe is fehéres/rózsaszínűre kellene, hogy változzon) csak fekete koromréteg figyelhető meg a mintákon. A metariolit minták bírták a legjobban a hőt, mindkettő egyben maradt, csak szürkés színük halványodott ki. A minták többségét egy ásatási leletanyagban nem igazán tudnánk megkülönböztetni a hőkezelésen átesett vagy a „meleg” technológiával fejtett kováktól (**Melléklet I, 23. fotó**).

Végül szólnom kell a Gyöngyösoroszi-Döggút őskori nyersanyagforrás - és modern ásványgyűjtő lelőhelyen talált modern tűzrakó helyről, melyet nagy hidrotermális eredetű kovakőzet-tömbökkel kerítettek körbe. Ezeken megfigyelhető a tűz hőjének nyoma (**Melléklet I, 24. fotó**).

#### 6.2.2. Mezőgazdasági hőhatás rekonstruálása: „Venyige” kísérlet

A kísérlet célja: Az avasi szőlőművelés és kertgazdálkodás -a gaz- és venyigeégetés- a felszín közelében, különböző mélységekben található paleolitokra gyakorolt hatásának rekonstruálása. A szőlősgazdák a télen - kora tavasszal lemetszett és összegyűjtött venyigét még jóval a második világháború utánig is hazavihették fűteni, vagy kenyérsütő kemence tüzeléséhez használták fel, mivel az összes fánál nagyobb hőt ad le égéskor. Ezen kívül nagyon gyorsan ég, és a tűz megközelítése a nagy hő miatt nagyon nehéz, így víz nélkül bonyolult és veszélyes az eloltása. Ezért, ha mégis a szőlőben égették el, akkor azt a nagy hő és a tűzveszély miatt általában az úton, vagy a szőlősorok végén, a telkek szélén tették.

### **A kísérlet lefolyása:**

A sűrű barna-fehér sávozású avasi limnoszilicit mintákat 4 csoportba osztottam. 3 csoport darabjait koncentrikusan helyeztem el a majdani tűz alá 2, egy kisebb (5 db minta) és egy nagyobb körbe (10 db minta), 3 különböző mélységbe; körülbelül 1, 4 és 8 cm mélyre (**Melléklet II, 40. ábra**). A három szint pontosan egymás fölött elhelyezett mintáit pár mm vastagon finom földréteggel választottam el. Egy-egy nagyobb, vastag, hosszúkás szilánkot pedig mindkét körben elhelyeztem úgy, hogy mindhárom mintaszintet érintsék (**Melléklet I, 25. fotó**). Ezekkel egy hőhatás-átmeneti képet reméltem elérni. A mintaszinteket (a nagyobb darabokon a földbeszűrési irányát) fekete filctollal jeleztem az összes mintán.

A hőhatás terjedését az egyik nagyobb mintán figyelhetjük meg a legjobban. A cortex alatti részen a goethit hematittá alakult, de a minta színe a darab 2/3 részén változatlan maradt.

A felső mintaszint nagy része túlégett, néhány darab a külső mintakörből viszont nem. (**Melléklet I, 26-27. fotók**). Ez a tűz elmozdulásával magyarázható az égési folyamat során. A kb. 4 cm mélységbe elhelyezett második mintaszintből csak néhány (4 db) minta színe változott el, a harmadik, kb. 8 cm mélységbe elhelyezett mintaszint mintái változatlanok tűntek. Ebből az eredményből messzemenő következtetéseket lehet levonni a sokkal kisebb intenzitású bozót-, vagy tábortüzeknek a felső talajrétegben található paleolitikra gyakorolt hatására. A helyzetet bonyolíthatják a különböző földmozgások (újkori mélyszántás, őskori bányaművelés – a meddők mozgatása/áthelyezése) is.

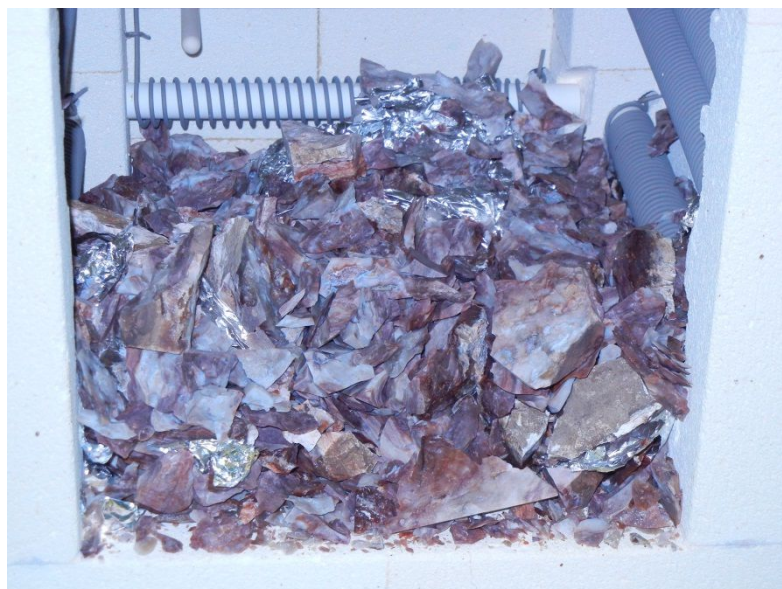
### **6.2.3. Hőkezelési kísérlet „Miskolci-egyetemi-kalcedonon”**

A kísérletet a tábortüzes kísérlet mintájára végeztem. A Miskolc, Avas-Tűzköves 2002-es ásatási anyagában is megtalálható, jellegzetes sötétbarna és szürkés-kék színű nyersanyag színében még túlégés esetén sem változik meg, így ezt a limnoszilicitváltozatot nem vetettük alá további vizsgálatoknak.

## **6.3. Laboratóriumi hőkezelő kemencében végrehajtott hőkezelési kísérletek**

### **6.3.1. Az első laboratóriumi hőkezelő kísérlet (28. fotó)**

Az avasi limnoszilicit Ringer és Szakáll (2005) szerint 360°C-ra hevítve már biztosan elszíneződik. Kísérletünk „kirobbanó sikere”, hogy szemlélteti, hogy már +10 °C milyen romboló hatásra képes a felhevült gőz által.



**28. fotó.** *Mintegy 5 kg, laboratóriumi hőkezelő kemencében túlégetett (370 °C), barna-fehér sávós avasi limnoszilit minták. Mintaelőkészítés: Köteles László, ME Bányászati és Geotechnikai Intézet. A kísérlet eredménye: termikus kipattanások és kékes-lilás-bordó elszíneződések. (Fotó: Kristály Ferenc)*

### 6.3.2. „Hőingadozás” laboratóriumi kísérlet

A sütés technológiájának sokszor része a felhevített kőzet valamilyen folyadékkal történő lelocsolása, hirtelen lehűtése. Ennek hatására egyrészt a felhevítés során valamelyest kitágult nyersanyag térfogata hirtelen lecsökken, a nyersanyagban repedések keletkeznek. A vizezés következtében lehűlt nyersanyagban keletkezett repedések egyenesek, mert a nyersanyag kristályszerkezetének síkjai mentén keletkeznek (Lawrence & Mudd, 2015). Irányultságukban és formájukban eltérnek a mechanikai behatásokra keletkezett repedésektől (Kinnunen, 1993).

A kísérlet célja az volt, hogy megtudjuk, hogy hasonló hatása van-e a felhevült avasi limnoszilitre locsolt víznek. A Kristály Ferenc irányításával elvégzett kísérlet menete: az avasi limnoszilit mintákat az Ásványtani és Földtani Intézet laboratóriumában 0 °C-os közegben, majd ezután rögtön 140 °C-os közegben (laboratóriumi hőkezelő kemencében) tároltuk 60-60 percig. Ezután a III. számú mintát hagytuk lassan lehűlni, az I. számú mintát pedig azonnal hideg folyóvíz alá tartottuk. A hirtelen lehűtés feszültséget idézett elő az anyagban, melynek jelei a fotón szépen megfigyelhető rácsszerű repedések (**Melléklet I, 29. fotó**).

### 6.3.3. Színváltoztatás

Laboratóriumi hőkezelő kemencében végzett hőkezelési kísérlet során kiderült, hogy a 260 °C-ra hevített mintákból pattintott szilánkok makroszkópicusan nem különböznek markánsan

a nem hőkezelt daraboktól. Ez a megfigyelés alátámasztotta azokat a kijelentéseket (pl. Bordes, 1969/a), melyek szerint a hőhatásnak kitett leletanyagok nem mindig ismerhetőek fel szabad szemmel, így arányuk a régészeti anyagban felismerhetetlen, de az avasi limnoszilicit esetében a bordóra égett darabok néhány százaléknyi arányánál mindenképp nagyobb.

Összehasonlító laboratóriumi kísérleteinkkel ennek a problémának a feloldására vállalkoztunk. A cél annak kiderítése volt, hogy az avasi limnoszilicit-változatok milyen magas hőmérsékleten színeződnek el biztosan. Ebben segítségünkre volt a Herman Ottó Múzeum; a 2002-es ásatási leletanyag törmelékeiből rendelkezésünkre bocsátott 2 zacskónyi leltározatlan törmelékkel. Így a különböző avasi limnoszilicit változatokból felállíthattam egy színskálát (3 fő csoportban több mint 60 színváltozattal). A színskála darabjait kétszer, először 260, majd 360 °C-on laboratóriumi hőkezelő kemencében hőkezeltük. A hőkezelés a 2013-as nyílt tüzes hőkezelésnél azért működhetett jobban, mert a kemence zárt terében homogénebben melegedhetett át az anyag, mint egy nyílt tűztérben. 260 °C-on nem figyeltünk meg markáns színváltozást, viszont másodjára a tejszerűen fehér kalcedon-változatok kivételével minden minta elszíneződött. A bordós elszíneződés az avasi limnoszilicit minden változatán a legalább 260-360 °C közötti hőfokon történt hőkezelődés általános termikus stigmájának tekinthető. Viszont 260 °C alatt ez nem általános érvényű. A kiválasztott mintadarabok a méréssorozatok során vizsgált mintákat bemutató táblázatban láthatóak (**Melléklet III, 1/a-h. táblázat**). A három csoport 1-1 darabjából a kísérletsorozat minden stádiumában mintát vettünk (ezért látható bizonyos eltérés az egyes stádiumok elrendezése között a fotókon), melyeket elektronmikroszkópos, röntgen-pordiffrakciós és infravörös spektroszkópiás vizsgálatnak vetettünk alá.

Az így kapott eredményeket a Herman Ottó Múzeum és a Magyar Nemzeti Múzeum jóvoltából összehasonlítottuk a 2002-es és a szintén Ringer Árpád által vezetett 2001-es Miskolc, Avas-tűzkövesi ásatás leletanyagából kiválasztott, gyanús, illetve bordó színűre égett, kortexes avasi limnoszilicitekből és a Szeleta-barlangban talált, avasi limnosziliciteként meghatározott paleolitikából vett mintákkal. Ezen kívül Ringer Árpád egy 2014 áprilisában, Sajóbáony Méhész-tetőn elvégzett szelvénytisztázás során előkerült, vörös színű, kortexes „avaszi limnoszilicit”-ként meghatározott mintát is rendelkezésünkre bocsátott. Az összehasonlítás célja az volt, hogy megtudjuk, a különböző „avaszi limnoszilicit” változatokban a hőhatásra végbement elváltozások megfigyelhetőek-e a 2001-2002-es ásatások kiszemelt darabjain, illetve a Szeletából származó mintákon:

-a 260 és 360 °C-on hőkezelt minták miben különböznek a nem hőkezeltéktől.

-a hőkezelt minták szerkezete és összetevői egyeznek-e a 2001-es-2002-es mintákéval

-ezek egyeznek-e a szeletai mintákkal.



Az avas-tűzkövesi nyersanyagnál a hőre markánsabban reagáló mátrai limnoszilicitekről a termikus elváltozásokat szemléltető képek készültek (**Melléklet I, 20, 41-43. fotók**).

#### 6.3.4. 500 °C-os laboratóriumi hőkezelő kísérlet

A kísérlet célja: Változás elérése a minták kristályszerkezetében, háromszori melegítés hatására.

Mivel korábban felrobbantottunk több kilogrammnyi mintát egy laboratóriumi hőkezelő-kemencés melegítés során (**28. fotó, 6.3.1 fej.**), ki akartuk próbálni, hogy több részletben történő melegítéssel -a minták szétrobbanásáért felelős víztartalom szakaszonkénti eltávolításával- sikerül-e elérni néhány ásatási lelet élénkvörös színét. Ezen kívül a szeletai üveges kvarcporfir (metariolit) hőkezelésre adott reakcióit is meg szeretnénk volna figyelni. Mint ismeretes, Bükkszentkereszt-Szénégető lelőhelyről, illetve a Miskolc, Avas-Tűzköves 2002-es ásatási szelvényének 8. négyzetéből, 40-60 cm mélységből is előkerült hófehér színű kvarcporfir darab (Tóth & Kristály, 2017). Ezen kívül megoldást vártunk arra a kérdésre, hogy az avasi limnoszilicit minták hogyan reagálnak a kiugróan magas hőfokra. Kifehérednek, megszürkülnek, vagy előbb elérik a várva várt élénkvörös, netalán a kék színt (Ringer & Szakáll, 2005)? A mintadarabokat először az avasi limnoszilicitek *látványos* hőkezeléséhez szükséges 350 °C-ra, majd 370 °C-ra hevítettük. Utóbbi hőfokon már a nehezen reagáló metariolit minta is halványodni kezdett. Az előzőleg már többször áthevített avasi limnoszilicit mintát károsodás nélkül tudtuk 500 °C-ra hevíteni. Szemmel látható elváltozást (színváltozást) nem sikerült elérni (**Melléklet I, 30. fotó**).

#### 6.4. A kovás kőzetek szövetszerkezetének homogenizálódása

A kovás kőzetek szándékos hőhatásra bekövetkező reakciója optimális esetben a hőkezelődés. Ennek folyamata lehet gyors és lassú, akár 48 órán át is tarthat. A  $(\text{SiOH})_2 \rightarrow \text{Si-O-Si} + \text{H}_2\text{O}$  képletű folyamat általában 200 és 300 °C között kezdődik, illetve zajlik le nagyrészt. Ekkor jelentős a dehidratáció (Schmidt et al. 2012/b). Általános esetben minimum 50 perc szükséges ahhoz, hogy a nyersanyagból eltávozzon a szilanol. Viszont egy maximális hőfokon végrehajtott gyors hevítés is elég lehet a kémiai folyamat végbemeneteléséhez (Schmidt et al. 2012/a.), különösen a süttött nyersanyag azon részein, melyeket a parázs vagy a lángok hője közvetlenül ért. A legellenállóbb kovakéreg/szilkrét kis darabjainál 30 percnyi hevítés is elég lehet nagy lángú, nyílt tűz mellett, de a nyersanyag hőkezelődése szempontjából a lassú hevítéssel és hűtéssel járó folyamat mindig kontrollálhatóbb (Mercieca & Hiscock, 2008). Egy tűztér alatti hőkezelődés mértéke függ a köztes szigetelőanyag vastagságától, fajtájától és annak víztartalmától. 2-3 cm vastagságú szigetelőréteg alkalmazásakor már nem elég egy tábortűz által leadott, maximum kb. 400 °C-os hője. Az égő avar sem képes erre (Richter et al. 2011).

A folyamat során a vasoxid-tartalmú kőzetekben a gyengén kristályosodott, sárgásbarna goethit ( $\text{FeO OH}$  vagy  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) jól kristályosodott hematittá válik:



Egy kísérlet során a goethit 285 °C-nál vált a legmarkásabban hematittá, de a folyamat 225-től 315 °C-ig terjedő tartományban következett be (Schindler et al. 1982). Egy másik hőkezelési kísérlet során a színelváltozás 225-250 °C-on következett be; 250-450 °C-on már kifakultak a színek. 450-600 °C között pedig nem történt látható elváltozás (Moody, 1976). Az elszíneződés mértéke függ a nyersanyag méretétől és a tűz égési idejétől is (Richter et al, 2011). Az adott nyersanyag a fajtájától függő hőmérsékleten történt hőkezelődése során „rugalmasabbá” válik, nyomószilárdsága csökken (Domanski & Webb, 1992).

A fentebb leírt mindkét folyamat ásványtani megnevezése az ún. termális metamorfózis (Pápay, 2006; Hartai, 2009). Ennek alapjai a kovás kőzetek diagenezise során hátra maradt, ún. intergranuláris (szemcsék közötti) fluidumok, tulajdonképp a kovás kőzetek mikrozárványaiban és szövetszerkezetében jelen lévő szilanol (Hartai, 2009). Bár a kovakőzet nagyon kemény és ellenálló, a szilanol miatt a természetben előforduló egyik leggyengébb kémiai kötés, a hidrogénkötés is jelen van benne. Hidrogéneket tartalmaznak azok a vasoxidok is, melyek az avasi limnoszilicit egyes változatait barnára színezik, de erős hő hatására hematittá válva elvörösödnek.

A termális metamorfózis általánosan elfogadott alsó határa 200 °C (Hartai, 2009). A magas hőmérséklet hatására a fluidumokban oldott anyagok, kovás kőzetek esetében a szilícium és az oxigén, a kovás kőzetek szövetének szálai között található résekben kicsapódhatnak, hasonlóan a metamorf kőzetek repedéseiben megfigyelhető, kvarccal kitöltött erekhez (Hartai, 2009). Ez a folyamat lehet a hőkezelődött kovák friss felületén megfigyelhető zsírfény kialakulásának oka is.

Erős hőhatásra a fluidumokban található oxigén és hidrogén egy része a kovás kőzetek nyílt pórusaiban található, nem kötött vízzel együtt távozik a kőszköznyersanyagból. Ezen kívül a nem kötött víznek a termális metamorfózisban nincs számottevő szerepe, a sikeres sütés és hőkezelés során viszont annál inkább: a nyersanyagtömb, vagy nyersanyagdarab szétrobbanása legfőképp a benne található nem kötött víznek köszönhető.

## 6.5. A három avasi limnoszilicít típus jellemzése a nagyműszeres archeometriai vizsgálatok eredményei alapján

### 6.5.1. A hőkezelés archeometriai vizsgálatának kutatástörténete

Mivel a kőeszköznyersanyagok sütéses fejtésének és hőkezelésének még ma is felismerhető nyomai hasonlóak, egy kicsit előreszaladva itt kell röviden szólnom a 9. fejezetben majd részletesebben bemutatott lelőhelyekről is. A kőeszköznyersanyagok hőkezelésének, ősi nyersanyagjavító technikaként való felismerése és leírása már a XIX. században megtörtént (Weiner, 2012/a). A „gyanús” paleolitokra alkalmazott archeometriai vizsgálati módok stratégiái két alaptípusra oszthatóak:

1. műszeres vizsgálatok, pl. termolumineszcencia (TL) és elektronspin-rezonancia (ESR);
2. hőkezelési kísérletsorozatok régészeti leleteken végezve.

A vizsgált kovafajták eltérő tulajdonságai miatt a kutatások vizsgálati eredményei gyakran ellentmondanak egymásnak, különösen igaz ez az egyes kovák kikövetkeztetett hőkezelődési hőmérsékleteire.

Ringer Árpád és Szakáll Sándor laboratóriumi hőkezelő kemencés kísérlet során azonosították az avasi limnoszilicít termikus hatásra végbemenő elszíneződésének állomásait (Ringer & Szakáll, 2005). Franciaországban Bordes hőkezelési- és az azt követő pattintási kísérleti eredmények figyelembevételével mutatta be a hőkezelődött solutréen paleolitikát (Bordes, 1969/a, /b), mások hőkezelési kísérletsorozatok eredményeként különböző kovák optimális hőkezelésének táblázatát készítették el (Inizan et al. 1976; Tixier & Inizan, 2000). Domanski és Webb szintén hőkezelési kísérletek alapján állapította meg, hogy mind a két alapvető kovaközetfajta, a „mikrokristályos kvarcok” (tűzkő, *chert*, jáspis, kalcedon, achát) és „makrokristályos kvarcok” (kovakéreg, kvarcit, kvarc) 300-400-500 °C-on hőkezelve „rugalmasabbá”, könnyebben megmunkálhatóvá válnak. Összehasonlították a nyers és a hőkezelt minták nyomószilárdságát (Domanski & Webb, 1992). Az Egyesült Államokban többféle radiolariton (pl. *Onondaga Chert-en*) végeztek hőkezelési kísérleteket, ami alapján kijelentették, hogy az általánosságban jó minőségű nyersanyagot nem szükséges hőkezelni (Bleed & Meier, 1980; Cowan, 1987). Itt felmerülhet a természetes-, vagy a véletlen antropogén eredetű tűz és a sütés gyanúja is (Borradaile et al., 1998). A kínai Shuidonggou felső-paleolit lelőhelyen hőkezelődött paleolitikát vizsgáló kutatók 26 órán át tartó (10 óra tüzelés, 16 óra fokozatos lehűtés) nyílt tüzes hőkezelési kísérletek tapasztalatain keresztül ismerték meg a lelőhely kőeszköznyersanyagainak tulajdonságait: a sikeres kísérletek során nem minden minta színeződött el (Zhou et. al., 2013). Az észak-izraeli Hayonim lelőhely paleolitikáit makroszkóposan hasonlították össze a kísérleti hőkezelt, régészeti és geológiai lelőhelyeken

gyűjtött referenciamintákkal, melynek eredményeképp kizárhatták a vörös színű, zsírfényes felületű paleolitok természetes eredetét (Sunseri & Delage, 2016). Ausztráliában hőkezelt kovakérgen eredménytelen archeomágneses vizsgálatokat végeztek (Cochrane et al., 2012). Hasonló vizsgálatokkal az Egyesült Államokban is kudarcot vallottak korábban (Borradaile et al., 1998).

### 6.5.2. Az avasi limnoszilicítváltozatok csoportokba sorolása

Ennek a nyersanyagoknak több tucatnyi színváltozata ismert (Simán, 1979/a; /b; 1995/b; Ringer & Szakáll, 2005; Szolyák & Mester, 2011), melyeket a feldolgozás megkönnyítése érdekében három nagy csoportba (AVK I.: áttetsző, színtelen; AVK II.: fehér-barna sávzott; AVK III.: barna színű) soroltam be (**Melléklet II, 41. ábra**). Az avasi limnoszilicít más, hasonló eredetű, (pl. a Mátrában előforduló) nyersanyagokhoz képest viszonylag jól pattintható. 260-360 °C-os hő hatására egyes változatain (AVK. II.) jellegzetes elváltozások figyelhetők meg, de a hőkezelés után pattintott nyersanyagok tipikus makroszkopikus jellemzője, a zsírfényes felület a nyers avasi limnoszilicít kéreggel határos részein is megfigyelhető. Ezért nem minden avasi nyersanyag-típus alkalmas a sütéssel és hőkezeléssel kapcsolatos vizsgálatokra.

### 6.5.3. A röntgen pordiffrakciós vizsgálat (XRD) eredményei

Az avasi limnoszilicít ásványi összetételét már korábban is meghatározták XRD vizsgálattal (Hartai & Szakáll, 2005). Mivel a laboratóriumi hőkezelési kísérletek során kiderült, hogy a három limnoszilicít-változat eltérő módon reagál az erős hőhatásra, az eltérések okának kiderítése érdekében szükséges volt a három változat nyers és hőkezelt referenciamintáinak XRD vizsgálatának elvégzése.

Az XRD vizsgálatokat Bruker D8 Advance (Cu-K $\alpha$  sugárzás, 40 kV-40 mA generátor menet) készüléken végeztük, Göbel tükörrel előállított párhuzamos nyaláb geometriában, Vantec1 helyzetérzékelő detektorral (1° nyílással), 0,007 °(2 $\theta$ )/14 sec rögzítéssel (**Melléklet I, 31. fotó; Melléklet III, 1. a-h. táblázat**).

#### ***Mintaelőkészítés***

A három avasi limnoszilicít-változat vizsgálatához homogenizált mintákra volt szükség. Az ásványtani összetétel meghatározásához a referenciadarabokból vett mintákat porcelán, majd achát mozsárban kézzel porítottuk a megfelelően kis szemcseméretre.

#### ***Mérési eredmények***

Mindhárom változatnál jól látható, hogy a nyers mintákhoz képest a hőkezelt mintákban növekedett a SiO<sub>2</sub> és csökkent a nano-és mikropórusokban található H<sub>2</sub>O mennyisége, valamint

felfedezhetőek a 3 avasi limnoszilicít ásványi összetétele közötti különbségek. Ahol a három változat nyers mintáinak SiO<sub>2</sub>, moganit, tridimit és amorf anyag-tartalma között esetleg egyezés fedezhető fel, mint például az I. és III. változat SiO<sub>2</sub> tartalmánál, megfigyelhetjük, hogy mennyire eltérő mértékben változik ásványi összetételük SiO<sub>2</sub> aránya a hőkezelés hatására (**Melléklet II, 41. ábra**). Az XRD vizsgálat segítségével az avasi limnoszilicít termális metamorfózisa végigkövethető. Viszont az avasi limnoszilicít-változatok nagy száma és azok szövetszerkezetének összetéveszthetősége (pl. egy jó minőségű AVK I. szövetszerkezete nagyon hasonlít egy hőkezelődött AVK. II. szövetszerkezetére) miatt az eredmények az egyes, avasi limnoszilicítből készült paleolitokra nem alkalmazhatóak megbízhatóan.

#### 6.5.4. Termoanalízis (DTA / TG: Differential thermal analysis, Thermogravimetric analysis).

A méréseket termikus MOM Derivatograph-C mérőműszerrel (Pt/Rh termoelemek, 10 C/perc lineáris felfűtés), levegő atmoszférában, szimultán DTA-TG-DTG módszerrel (differenciális termoanalízis) végeztük (**Melléklet I, 32. fotó**).

##### ***Mintaelőkészítés:***

A három avasi limnoszilicít-változat és egy kiválasztott régészeti lelet (2001-es Miskolc, Avas-tűzkövesi ásatás, bordó színű, III. típusú avasi limnoszilicít; Ltsz. 2003. 23. 923.) vizsgálatához homogenizált mintákra volt szükség. A mintákat porcelán, majd achát mozsárban kézzel porítottuk a megfelelően kis szemcseméretre. A mintákat a mérésekhez kerámiatégelybe helyeztük.

##### ***Mérési eredmények:***

A laboratóriumi hőkezelő kemencében felhevített háromféle avasi limnoszilicít változattól és egy, Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2001-ben végzett ásatás során előkerült, bordó színű leletből származó mintán végzett termoanalitikai vizsgálat eredményeit szemléltető 42. (**Melléklet II**) ábra. A mintavételezett avasi limnoszilicitek fotói a minták mérési görbéi mellett láthatók. Eredmények: 1./ a minták víztartalma markánsan különbözik egymástól. 2./ a 2003. 23. 923. leltári számú leletből vett minta sokkal nagyobb víztartalmú a vártnál (a lelet a hőkezelési kísérletek során tett megfigyelések alapján olyan, III. típusú, eredetileg barna színű avasi limnoszilicít, amelyet 360 °C körüli hőhatás érhetett).

A mérési eredményeket megerősítik az XRD vizsgálatok eredményei is. A három avasi limnoszilicít-változat víztartalma eltér egymástól, így az erős hőhatásra eltérő módon reagálnak (**Melléklet II, 42. ábra**). Ezért az ilyenkor végbemenő átkristályosodás szintén különböző mértékben megy végbe, ami miatt a SEM vizsgálatok során a különböző típusú és különböző hőfokon hőkezelt minták kristályszerkezetei összetéveszthetőek egymással. A FTIR

vizsgálatok ennél megbízhatóbb eredményekkel szolgálnak, de a nyers- és hőkezelt avasi limnoszilicít-változatok termoanalitikai vizsgálatát a jövőben folytatni fogjuk.

#### 6.5.5. Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat (SEM)

A vasoxid tartalmú avasi limnoszilicít-változatok 360 °C körüli hő hatására elszíneződnek. Az ásványkémiai folyamat tudományos magyarázatát már 1982-ben közölték (Schindler et al., 1982). A pennsylvaniai sárga jáspis - egy goethit tartalmú mikrokristályos kvarc - hőkezelésének archeometriai vizsgálati eredményei alapján a sárga/barna → vörös színváltozás (valamint a zsírfényű felület kialakulása) a nyersanyag kalcedonszájai közötti, gyengén kristályosodott, sárgásbarna goethit 225-350 °C-on történő, jól kristályosodott, vörös hematitá alakulásával magyarázható (Schindler et al., 1982).

A kutatók szerint a kalcedonszájak közötti tereket a laza szerkezetű goethitnél sokkal tömörebb hematit sokkal egyenletesebben tölti ki, így a nyersanyag szerkezete homogénebbé válik, amely jól visszaveri a fényt; ezzel magyarázzák a zsírfényű felületek kialakulását. A tömör hematit és a kalcedonszájak között egyenletes, szabályos mikrorepedések alakulnak ki, amik javítják a nyersanyag megmunkálhatóságát. (Schindler et al., 1982). Ringer Árpád és Szakáll Sándor a goethit → hematit átalakuláshoz hasonlóan, a lepidokrokit hematitá alakulásával magyarázzák az avasi limnoszilicít hő hatására történő elszíneződését (Ringer & Szakáll, 2005). A különböző vasoxidok SEM/EDS vizsgálattal kimutathatóak.

A három nyers avasi limnoszilicít-változat, a belőlük előállított hőkezelt referenciaminták és a 2001-es, valamint 2002-es Miskolc, Avas-tűzkövesi ásatási leletanyagból kiválasztott darabok pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatát is elvégeztük.

Ezt a vizsgálati módszert elsősorban a három, a hő hatására nem egyforma mértékben elváltozó avasi limnoszilicít-változat (AVK. I.: színtelen, áttetsző; AVK. II.: fehér színű, barna sávós; AVK. III.: barna színű) ásványtani összetétele közötti különbségek kiderítésére használtuk, abban a reményben, hogy segítségével azt is megállapíthatjuk, érte-e őket erős termikus hatás vagy nem (**Melléklet III, 1. a-h. táblázat; Melléklet IV, 1-10. ábra**).

#### ***Mintaelőkészítés:***

A három nyers avasi limnoszilicít-változatról, a belőlük előállított hőkezelt referenciamintákról és a 2001-es, valamint 2002-es Avas-tűzkövesi ásatási leletanyagból kiválasztott darabokról a SEM vizsgálatokhoz kb. 0,25 – 0,5 mm<sup>2</sup> nagyságú szilánkokat választottunk le.

#### ***Mérések:***

A pásztázó elektronmikroszkópos és energiadiszperzív spektrométeres (SEM+EDS) méréseket a Miskolci Egyetem Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetének

Pásztázó Elektronmikroszkópi Laboratóriumában Kovács Árpád Laboratóriumvezető végezte Zeiss EVO MA10 típusú Pásztázó Elektronmikroszkóppal (W-filamentum, 20 kV gyorsítófeszültség, 10-20 nA közötti mintaáram, Au vezető réteggel bevont mintafelület) (**Melléklet I, 33. fotó**). A felvételeket Kristály Ferencsel értékeltük ki.

#### 6.5.6. Az avasi limnoszilicitek minták felületi, morfológiai vizsgálatának eredményei

Mindhárom limnoszilicitek-változatra jellemző a mikrométeres szemcseméret, cca. 2 µm körüli izometrikus szemcsék (**Melléklet IV, 1. és 3. ábra**) között mikrométer alatti rostos, pelyhes anyaggal. Az izometrikus szemcséket körülölelő anyag 10 µm alatti pikkelyes aggregátumokban válik fel, négyzettel jelölve zajszürt részleteket emeltünk ki, ahol a pikkelyes aggregátumok mérete és alakja jobban észlelhető. A nagyobb 10 és 50 µm közötti üregek feltehetőleg nem törési nyomok, de szerepet játszanak a törés – repedés kialakulásában. A markáns üregek esetében a szilánkok peremén (**Melléklet IV, 1. és 3. ábra**) nem észlelhető a rostos pelyhes anyag.

A hőkezelés hatására az avasi limnoszilicitekben a rostos, pelyhes kitöltő anyag aránya csökken, a pikkelyes aggregátumok szegélye élesebbé válik és jobban elkülönülnek. A legkisebb pikkelyes részecskék mikrométer alattiak, ezek a hőkezelés után válnak egyértelműen láthatóvá. Az *XRD* vizsgálattal tapasztalt amorf anyag csökkenés és átkristályosodás valószínűleg a rostos, pelyhes víztartalmú SiO<sub>2</sub> zsugorodását és kvarccá történő átalakulását mutatja (**Melléklet IV, 2. és 4. ábra**).

A nyers és hőkezelt minták pásztázó elektronmikroszkópos felvételei több esetben nehezen különböztethetőek meg egymástól. Például a rostos, pelyhes kitöltő anyag a II. típusú avasi limnoszilicitekben nagyon hasonlít az III. típusú, 360 °C-on hőkezelt mintában megfigyelhető szövetszerkezetre. Ez a jelenség a három avasi limnoszilicitek-változat eltérő víz- és vasoxid-tartalmából eredhet. A három nyersanyagváltozat ezért reagál eltérő mértékben az erős hőhatásra. Az ilyenkor végbemenő átkristályosodás szintén különböző mértékben megy végbe, ami miatt a *SEM* vizsgálatok során a különböző típusú és különböző hőfokon hőkezelt minták kristályszerkezetei összehasonlíthatóak egymással, és egy ismeretlen vizsgált mintát ért hőhatás körülbelüli értéke sem állapítható meg a módszerrel (**Melléklet IV, 5-10. ábra**).

#### 6.5.7. A három típus makroszkópos jellemzőinek összevetése

Az I. típusú avasi limnoszilicitek csoportjába (AVK I.) soroltam be a szövetszerkezet finomságától függetlenül a nyersanyag minden olyan változatát, melyeknek színe a színtelen, áttetsző fajtától a tiszta fehérig terjedt. Az AVK I. változataira nem jellemző a vasoxidtartalom, tehát a barnás elszíneződések, bár egyes, áttetsző darabok alig észrevehetően barnás, sárgás

színárnyalatúak lehetnek. Egy AVK I. a hiányzó vasoxidtartalom miatt még 360 °C-os hőhatásra is nehezen színeződik el.

A II. típusú avasi limnoszilicitek csoportjába (AVK II.) tartozók fehér felületén barna erek, csíkok láthatóak, vagy rajtuk a vasoxidtartalmú (barna) és vasoxidmentes (fehér) rétegek, sávok váltakoznak. A 260 és 360°C hőmérsékletre hevített darabokon a barna részek színe vörössé, bordóvá válik, valószínűleg azért, mert a viszonylag kis mennyiségű lepidokrokit/goethit a termális metamorfózis során könnyen átalakul hematittá (Ringer & Szakáll, 2005; Hartai, 2009). A fehér színű részekkel szembeni kontraszt miatt az elszíneződés könnyen érzékelhető. Azon AVK II. típusba tartozó paleolit leleteket, melyeken csak néhány vékony vöröses-bordós sáv vagy ér fut keresztül, szinte bizonyosan erős hőhatás érte. Ez az egyetlen változat, ahol a makroszkópos azonosítás könnyen elvégezhető (**Melléklet I, 2/11. fotó**).

A III. típusú avasi limnoszilicitek csoportjába (AVK III.) soroltam be a szövetszerkezet finomságától függetlenül a nyersanyag minden barna színű változatát, melyek színe magas vasoxidtartalmukból ered. Az XRD vizsgálatok alapján az AVK II. és AVK. III. típusok vasoxidtartalma közötti eltérés mindössze néhány század vagy ezred százaléknyi, a III. típusú avasi limnoszilicit mégis nehezebben színeződik el, hiszen csak 360 °C-ra hevítve sikerült a minták színét markánsan megváltoztatni a laboratóriumi hőkezelő kemencében.

#### 6.5.8. A három típus mikroszkópikus jellemzőinek összevetése

A három avasi limnoszilicit típus közötti legfőbb makroszkópikus eltérés (szín = vasoxidtartalom) az archeometriai vizsgálatok eredményein is visszatükröződik.

Mint tudjuk, a kovás kőzetek nyers állapotban átlagosan kb. 0,7 % kristályvizet, 0,7 % ún. szilanolt (SiOH, „amorf anyag”) tartalmaznak, illetve a szabad pórusok körülbelül 0,25 % vizet engednek be egy adott nyersanyagdarabba, de ez a mérték a nyers avasi limnoszilicit minták száraz helyen való tárolása és kiszáradása miatt valamelyest alacsonyabb is lehet. (Schmidt et al. 2011; 2012/a, /b). A szilanol és víztartalom a minták vasoxidtartalmától függően váltakozhat.

Ezen kívül meg kell említeni az avasi kova minőségbeli - szövetszerkezeti - változatosságát, mint a termális metamorfózist befolyásoló tényezőt is. Ez az egyik legfőbb oka, hogy a SEM vizsgálatok eredményeivel - Kinnunen-en (1993) kívül - minket beleértve senkinek sem sikerült megbízhatóan alátámasztania a vizsgált kovakőzetet ért erős hőhatás tényét (Mercieca, 2000; Schmidt et al. 2011). Például egy kitűnő minőségű nyers avasi limnoszilicit elektronmikroszkópos felvétele nagyon hasonló egy hőkezelődött, rosszabb minőségű minta szövetszerkezetére. Ez a tulajdonság sajnos típusfüggetlen és egy vastagabb avasi „kovapadban” a minőség variálhat is, például az opálos kéreg felé haladva általában



folyamatosan javul, így a nyersanyag színösszeállítás szerinti csoportjainak (AVK I-III.) elkülönítésében az ezirányú vizsgálatok sajnos nem használhatóak annak kiderítésére, hogy egy avasi limnoszilitből készült paleolitot ért-e erős hőhatás, vagy nem. Egyedül a három típus ásványtani összetevői állapíthatók meg nagy részletességgel.

Elmondható, hogyha a minőségbeli változatosságot nem számítjuk, akkor a három avasi limnoszilit típus közötti legfontosabb különbség a vasoxidtartalom, amelynek mértéke befolyásolja a nyersanyagdarabban lévő víz, amorf anyag és egyéb fluidumok mennyiségét.

## 7. AZ AVASI LIMNOSZILICITEN VÉGZETT INFRAVÖRÖS SPEKTROSKÓPIÁS VIZSGÁLATOK (FTIR)

### 7.1. A módszer kovás kőzetekre történő alkalmazása

Pattintott kőszköznyersanyagok esetében a  $H^+$  ionoknak a hőkezeléses fejezetben leírt módon történő mozgásából eredően a következő változások mutathatóak ki:  $400$  és  $1300\text{ cm}^{-1}$  hullámszámú mérési tartományban a minták kristályszerkezetének változásai,  $2400$  és  $3800\text{ cm}^{-1}$  hullámszámú mérési tartományban pedig a minták nedvességtartalmának változásai hasonlíthatók össze (**Melléklet II, 43-45. ábrák**). A spektrumok értékelésénél a mért karakterisztikus sávok alapján azonosítjuk a molekulában lévő H és Si kötéseket, illetve csoportokat (spektrum: a hullámszám/frekvencia függvényében ábrázolt intenzitás (abszorbancia/transzmittancia)). Ez az alacsonyabb hullámszámú mérési tartományban azt jelenti, hogy minél nagyobb transzmittanciaértékeket mérünk, annál nagyobb mértékű átkristályosodással számolhatunk a mintában. A magasabb hullámszámú mérési tartományban pedig minél magasabb transzmittanciaértékeket kapunk, annál kisebb a minta molekuláris víztartalma. Mivel ez a műszer nem a közeli infravörös méréstartományban mér, a régészeti minták mérési eredményeit laboratóriumi hőkezelő kemencében, illetve mérőműszerrel ellenőrzött, nyílt tüzes hőkezelési kísérletek során előállított referenciaminták mérési vizsgálati eredményeivel hasonlítottuk össze.

#### 7.1.1. A minták előkészítése

Egy méréshez néhány milligrammnyi minta is elegendő. Minden mintát kerámia, majd achátmozsárban porítottam homogén állapotúra. Egyes,  $360\text{ °C}$ -on hőkezelt minták előkészítése során feltűnt, hogy a nyers mintáknál könnyebben lehet őket porítani (**Melléklet III, 1. a-h. táblázat**).

#### 7.1.2. A vizsgálatok leírása

A  $\sim 20$  mg-nyi avasi- és a referencia-pormintákon a Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópiás vizsgálatokat (ATR-FTIR) egy Jasco FT/IR-4200typeA típusú berendezéssel, ATR feltétellel, a  $349,053\text{ cm}^{-1}$  es kiindulási hullámszám tartománytól  $7800,65\text{ cm}^{-1}$  hullámszám értékig haladva,  $4\text{ cm}^{-1}$ -es felbontással,  $7,1\text{ mm}$ -es apertúra nyílással,  $2\text{ mm/sec}$ -os adatgyűjtési sebességgel,  $30000\text{ Hz}$ -es filter alkalmazásával Molnár Zoltán, a Miskolci Egyetem Fémtechnika és Anyagtudományi Tanszékének munkatársa végezte (**Melléklet I, 34. fotó**).

### 7.2. A mérési eredmények kiértékelése

Az Avas-Tüzköves 2002-es ásatásának leletanyagában található, feltehetően termikus stigmákat mutató avasi limnoszilicite leletek pontosabb elkülönítését az FTIR vizsgálatok

eredményei alapján végeztem. A vizsgálsorozat központi elemei a három avasi limnoszilicít-típusból (I.: áttetsző, színtelen; II.: fehér színű, barna sávós; III. barna) kiválasztott nyers minta, illetve ugyanezen mintákról leválasztott és laboratóriumi hőkezelő kemencében 260 és 360 °C-ra hevített darabjai, összesen tehát 9 db referenciaminta volt. A nyers mintákat a miskolci Herman Ottó Múzeum által a vizsgálatokhoz rendelkezésre bocsátott 2002-es ásatási leletanyagból választottam ki, a felszíni szórványok törmelékes darabjai közül. A 3 nyers avasi limnoszilicít változat között az eddig elvégzett műszeres vizsgálatokhoz hasonlóan az infravörös spektroszkópos vizsgálat bizonyos különbségeket mutatott ki. Ez a különbség a 3 változatnak a színében is megmutatkozó, eltérő vasoxid- és amorf anyag (például a diagenézis során belecementálódott szerves anyag, agyag stb.) tartalmából ered, amiért az I. változat víztartalma valamivel magasabb, mint a II. változaté. Hasonló módon, a II. változat víztartalma valamivel magasabb, mint a barna színű, vas-oxidokban gazdag III. változaté. A minták pontos leírása a kísérletsorozat összefoglaló táblázatában található (**Melléklet III, 1/a-h. táblázat**). Az elszíneződés, mint egyértelműen felismerhető termikus stigma, csak a 360 °C-ra hevített mintáknál jelentkezett markánsan.

### **7.3. Az I. és a II. avasi limnoszilicít-változat vizsgálati eredményei**

Mindkét avasi limnoszilicít-változat mérési eredményei kimutatták, hogy a nyers mintákhoz képest a 260 °C-on hőkezelt mintákban átkristályosodás és vízvesztés ment végbe, azaz a szilanolcsoportok felbomlásával a mintákból H távozott és SiO<sub>2</sub> képződött (Schmidt et al. 2011; 2012/a; /b). A nyers és a 360 °C-on hőkezelt minták közötti különbség még szembetűnőbb. A 260 és 360 °C-on hőkezelt minták így kapott referenciagörbéi megfelelő viszonyítási alapot képeznek a 2001-es és 2002-es Avas-tűzkövesi ásatási leletanyagokból kiválasztott, feltehetően termikus stigmákat mutató leletek mintáinak vizsgálatánál (**Melléklet II, 46-47. ábra**).

### **7.4. A III. típusú avasi limnoszilicít-változat vizsgálati eredményei**

A III. típusú avasi limnoszilicít változat nyers- valamint a 260 és 360 °C-on hőkezelt mintáinak FTIR vizsgálata nem hozott a másik két változathoz hasonló, egyértelmű eredményt. Ennek oka mérési hiba, vagy a III., barna színű változatnak a másik kettőnél magasabb vasoxid- és amorf anyag tartalma lehet. Az átkristályosodás mértéke az előző két változat mérési eredményeihez hasonló, de a vízvesztés mértéke teljesen más képet mutat (**Melléklet II, 48-49. ábra**). Az ásatási leletanyagból kiválasztott paleolitokból vett mintákat az itt kapott eredményekkel is összehasonlítottuk, de helyesebbnek ítéltük az ásatási leletanyagokból kiválasztott, III. típusba sorolt (a laboratóriumi hőkezelő kemencében 360 °C-on bordóra színeződött mintákhoz hasonló színű) minták mérési eredményeit egymással összevetni.

Különösen azért, mert a 2001-es ásatási anyag kiválasztott darabjai mind bordó színűek voltak, felületükön pedig termikus kipattanások negatívjai voltak megfigyelhetők. Amennyiben a belőlük vett minták mérési görbéi megegyeznek, valószínűsíthető lehet, hogy hasonló mértékű (semmilyen, vagy a laboratóriumi hőkezelési kísérletek során keletkezett termikus stigmák alapján, valószínűsíthetően 360 °C körüli) hőhatás érte őket.

**7.5. A 2001-es és 2002-es ásatási leletanyagok mintáinak, valamint a Szeleta-barlang ásatásaiból és Sajóbáony, Mész-tető 2014-es réteghitelesítő ásatásáról származó, valószínűleg avasi limnoszilit paleolitokból vett minták vizsgálati eredményei**

**2003.23.365.**

Az Avas-Tűzkövesen 2001-ben végzett ásatás leletanyagából származó limnoszilit; mély, bordó színe hőhatást feltételez. Vastag, törmeléken szilánk, dorzális oldalán kortexszel. 3. négyzet, mélység: 80 cm. A laboratóriumi és terepi hőkezelő kísérletek során tett megfigyelések szerint biztosan magas hőhatásnak kitett leletet III. avasi limnoszilit („AVK III.) változat referenciaminta-görbék alapján 360 °C fölötti hőhatás érte. Ez az eredmény azért nem egyértelmű, mivel a mérési görbék alapján megállapítható a lelet szövetének a nyers mintához képest nagymértékű átkristályosodása, de a víztartalom csökkenése nem. Tehát a leletet az AVK III. mérési görbéi alapján valószínűleg jelentős hőhatás érte. Ezt a következtetést a többi 2001-es ásatási lelet mintájának mérési görbéivel való összehasonlítás megerősíti (Melléklet II, 50-51. ábra).

**2003. 23. 923.**

A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2001-ben végzett ásatás leletanyagából származó avasi limnoszilit; mély, bordó színe, a zsírfény és a hőkipattanás-negatív is hőhatást feltételez. Dorzális kortex. 4. négyzet, mélység: 78 cm. A laboratóriumi és terepi hőkezelő kísérletek során tett megfigyelések szerint biztosan magas hőhatásnak kitett leletet III. avasi limnoszilit („AVK III.) változat referenciaminta-görbék alapján 360 °C fölötti hőhatás érte. Ez az eredmény azért nem egyértelmű, mivel a mérési görbék alapján megállapítható a lelet szövetének a nyers mintához képest nagymértékű átkristályosodása, de a víztartalom csökkenése nem. Tehát a leletet az AVK III. mérési görbéi alapján valószínűleg jelentős hőhatás érte. Ezt a következtetést a többi 2001-es ásatási lelet mintájának mérési görbéivel való összehasonlítás megerősíti (Melléklet II, 52. ábra).

**2003.23.1050.**

A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2001-ben végzett ásatás leletanyagából avasi limnoszilit; mély, bordó színe hőhatást feltételez. Vaskos szilánk, dorzális oldalán kortexszel, zsírfénnyel, termikus kipattanással. 3. négyzet, mélység: 89 cm. A laboratóriumi és terepi hőkezelő

kísérletek során tett megfigyelések szerint biztosan magas hőhatásnak kitett leletet III. avasi limnoszilicit („AVK III.) változat referenciaminta-görbék alapján 360 °C fölötti hőhatás érte. Ez az eredmény azért nem egyértelmű, mivel a mérési görbék alapján megállapítható a lelet szövetének a nyers mintához képest nagymértékű átkristályosodása, de a víztartalom csökkenése nem. Tehát a leletet az AVK III. mérési görbéi alapján valószínűleg jelentős hőhatás érte. Ezt a következtetést a többi 2001-es ásatási lelet mintájának mérési görbéivel való összehasonlítás megerősíti (**Melléklet II, 53. ábra**). Mindhárom lelet dorzális felén kortexmaradvány található. A limnoszilicit bordó színű, és ventrális oldalukon termikus kipattanások negatívjai találhatóak. Jelentős mélységből kerültek elő, így az Avason folytatott mezőgazdasági tevékenységgel járó tüzek nagy valószínűséggel kizárhatóak, mint a leleteken megfigyelhető termikus strigmák okozói.

#### **2003.6.140.**

A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett ásatás leletanyagából származó fehér színű, barna és bordó sávós limnoszilicit; aurignacien magkővéső. 5. négyzet, szórvány. A fehér és barna sávós II. avasi limnoszilicit-változat referenciagörbéivel való összehasonlítás alapján a leletet körülbelül 360 °C-os hőhatás érte (**Melléklet II, 54. ábra**).

#### **2003.6.222.**

A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett ásatás leletanyagából származó barna színű avasi limnoszilicit, bifaciális eszköz- vagy pengemagkő készítés során keletkezett szilánk, hőkipattanás nyomával (a hőkipattanás a 211. Ltsz. darab) 6. négyzet, mélység: 75 cm. Az avasi limnoszilicit III, barna színű változat, és a 2001-es minták mérési görbéivel való összehasonlítás alapján nem kaptunk egyértelmű eredményt a fentebb vázolt okok miatt. Valószínűleg nem érte magas hőmérséklet a leletet. A rajta megfigyelhető termikus repedések és kipattanások természetes eredetű hőingadozás eredményei lehetnek (**Melléklet II, 55-57. ábra**).

#### **2003.6.406.**

A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett ásatás leletanyagából származó fehér színű, barna és bordó sávós avasi limnoszilicit szilánk. 10. négyzet, mélység: 20-30 cm. A fehér és barna sávós II. avasi limnoszilicit-változat referenciagörbéivel való összehasonlítás alapján a leletet 260 és 360 °C közötti hőhatás érte (**Melléklet II, 58. ábra**).

#### **2003.6.530.**

A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett ásatás leletanyagából származó áttetsző, színtiszta avasi limnoszilicit-változat; mindkét szélén kortexes, zsírfényes felületű, disztális pengetöredék, ellentétes irányú leválasztási negatívval-facettált talonnal. 9. négyzet, mélység:

10-40 cm. Az áttetsző, I. avasi limnoszilicít-változat referenciagörbéivel való összehasonlítás alapján a leletet körülbelül 260 °C-os hőhatás érte (**Melléklet II, 59. ábra**).

#### **2003.6.554.**

A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett ásatás leletanyagából származó, főként barna színű, fehér és lila sávós limnoszilicít; vastkos, nagy szilánk. 9. négyzet, mélység: 35 cm. Az avasi limnoszilicít II. változat referencia mérési görbéivel való összehasonlítás alapján 360 °C körüli hőhatás érte, de a III. változattal (a lelet nagyrészt barna színű) összehasonlítva az eredmény a fentebb vázolt okok miatt nem egyértelmű (**60-61. ábra, Melléklet II**).

#### **Pb. 1814 (1393), „Szeleta I.”**

A Szeleta-barlang ásatása során a "főfolyosó hátsó részé"-ből (II-IV. szint, leomlott agyagból) származó avasi limnoszilicít. Magyar Nemzeti Múzeum. A minta mérési görbéjének mindhárom avasi limnoszilicít-változat mérési görbéjével való összehasonlítás alapján a leletet 360 °C körüli hőhatás érte (**Melléklet II, 62-63. ábra**).

#### **Pb. 1815 (1276), „Szeleta II.”**

A Szeleta-barlang ásatása során a "főfolyosó elejé"-ről (C/49. négyzet, I. szint, vörösesbarna agyag) származó avasi limnoszilicít. Magyar Nemzeti Múzeum. A minta mérési görbéjének mindhárom avasi limnoszilicít-változat mérési görbéjével való összehasonlítás alapján a leletet 360 °C körüli hőhatás érte (**Melléklet II, 64. ábra**).

#### **Sajóbáony-Méhész-tető**

Sajóbáony-Méhész-tető 2014-es tisztázó ásatásából származó, zsírfényes felületű, vörös színű limnoszilicít, egyik sarkán kortexszel. Előkerülési mélysége: 120 cm. A leletet a referenciaminták görbéivel való összehasonlítás alapján valószínűleg 260 és 360 °C közötti hő érte (az AVK III. mérési görbéinél felmerült hibalehetőség szabta kereteken belül) (**Melléklet II, 65. ábra**).

### **7.6. Összehasonlító FTIR vizsgálatok más pattintott kőeszköznyersanyagokon**

#### **7.6.1. Metariolit (szeletai üveges kvarcporfír) leletek**

Miskolc, Avas-Tűzköves 2002-es ásatása során 95 db olyan paleolit került elő, melynek nyersanyaga a Bükk-szentlászló és Bükk-szentkereszt térségében található geológiai forrású metariolit. Ezek közül 6 db színe fehér. Laboratóriumi hőkezelő kemencében elvégzett hevítési kísérleteink során kiderült, hogy a világosszürke, szürke sávoktól mentes metariolit az egyetlen, amelynek színe hő hatására teljesen fehérre változhat. Az ehhez szükséges hőmérséklet legalább 870 °C. Ekkora hőt semmilyen tűz nem ad le az alatta lévő talajnak. A nyers és hevített metariolit referenciamintákat, illetve a nyersanyag őskori kitermelőhelyein gyűjtött, fehér színű paleolitokból származó mintákat szintén infravörös spektroszkópos vizsgálatnak vetettük alá.

Az eredmények alapján a 2002-es avas-tűzkövesi ásatási leletanyag fehér színű metariolitjait jelentős hőhatás érthette. Ugyanez mondható el több, a Szeleta-barlang ásatásai során előkerült metariolit levéleszközzől is. Mivel az eredmények külön cikkben kerültek publikálásra, a metariollal kapcsolatos átfogó vizsgálatok részleteit itt nem fejtem ki (Tóth & Kristály, 2017).

#### 7.6.2. Az egerbaktai kőeszköznyersanyag mérési eredményei

Az egerbaktai nyersanyag az 1979-es avas-alsószentgyörgyi és a 2002-es avas-tűzkövesi ásatási leletanyagban is képviseltette magát (Nagy, 2013). A nyersanyag őskori kitermelőhelyén gyűjtött mintákat a metariolithoz hasonlóan referenciamintákként (nyers, 260 és 360 °C-ra hevített darabokat) használtuk fel az avasi limnoszilicit archeometriai vizsgálatához.

Az infravörös spektroszkópos vizsgálatok során egy termikus stigmákat viselő (fehér és vörös színű) mintát hasonlítottunk össze a gyűjtés helyén csak zöldeskék változatban előforduló nyers mintával, illetve az előző gyűjtési helytől kb. 60 méterre gyűjthető, barna színű nyersanyag-változattal (Tóth, 2016). Sajnos egyik mérésnél sem kaptunk egyértelmű eredményt, így a jövőben a nyersanyag további vizsgálatát tartjuk szükségesnek, különös tekintettel a bécsi Természettudományi Múzeum ásványtárában megtalálható barna és vörös színű változatokra. Mivel minden vizsgálat ilyen eredményt hozott, csak egy grafikonon mutatjuk be az eredményeket (**Melléklet II, 66. ábra**).

#### 7.7. Az avasi limnoszilicit-változatok FTIR mérési eredményeinek kiértékelése:

##### a) Az I. és II. avasi limnoszilicit-változatok és a csoportjukba sorolt nyersanyagú régészeti leletek

Az áttetsző, színtelen és a fehér színű, barna sávavasi limnoszilicit-változatok mintáinak FTIR vizsgálatai egyértelmű eredményeket hoztak. Mindkét változat nyers, 260 és 360 °C hőmérsékletre hevített mintáinak mérési spektrumai jól megkülönböztethetően eltérnek egymástól. Így a referenciagörbéket könnyen össze lehetett hasonlítani a két limnoszilicit-csoportba sorolt régészeti leletminták mérési görbéivel (Tóth, 2016).

A fenti eredmények alapján kijelenthető, hogy a 2002-es ásatási leletanyagból az I. és II. avasi limnosziliciti-változatok Ringer Árpád által leírt, illetve a hőkezelési kísérletek során megfigyelt termikus stigmái (zsírfényes felszín; bordó színű sávok az általános barna sávok helyett) alapján kiválasztott mintákat valamikor valóban jelentős hőhatás érte.

##### b) A III. limnoszilicit-változat és a csoportjába sorolt nyersanyagú régészeti leletek

A barna színű, 360 °C-on hőkezelődve már bordó avasi limnosziliciti-változatok mintáinak FTIR vizsgálatai kétséges eredményeket hoztak. A nyers, 260 és 360 °C hőmérsékletre hevített minták mérési spektrumainak egymáshoz való helyzete nem egyezik meg a másik két

változatával a víztartalom változását mutató, 2100 és 3100 cm<sup>-1</sup> hullámszámú mérési tartományban. Ennek oka mérési hiba, vagy a III., barna színű változatnak a másik két változatnál magasabb vasoxid- és amorf anyag tartalma lehet. Bár az ásatási leletanyagból kiválasztott, a III. típusba sorolt paleolitikából vett mintákat az itt kapott eredményekkel is összehasonlítottuk, helyesebbnek tartottuk ezek mérési eredményeit összevetni egymással.

Az eredmények alapján kiderült, hogy a 2002-es ásatási leletanyag 2003. 6. 222. leltári számú darabját valószínűleg nem érte semmilyen jelentős hőhatás. Az eredményt azért szükséges külön kiemelni, mert ez a szilánktöredék a 2003. 6. 211-es termikus kipattanással együtt az egyetlen összeilleszthető leletpár. A szilánktöredék alakját részben ívelt vonalú termikus repedések szabják meg. A mérési eredmények alapján ezeket a termikus stigmákat fagyhatás és/vagy természetes hőingadozás okozhatta, azaz ezek a paleolit lelet természetes mállásának jelei.

A 2003. 6. 222. leltári számú lelet és a 2001-es, erős termikus behatás jeleit hordozó, bordó színű, termikus kipattanás-negatív leletek mintáinak összehasonlítása során kiderült az is, hogy a III. avasi limnoszilit-változatok mérési spektrumai között nem olyan markáns az eltérés, mint a másik két változat mintáinak mérési spektrumai között. Ennek oka valószínűleg a III., barna színű változatnak a másik két változatnál magasabb vasoxid- és amorf anyag tartalma, mint ahogy az már fentebb említésre került. A 2001-es ásatási leletanyagból kiválasztott minták mérési spektrumai a 222. leletéhez képest mindenképpen magas hőhatást jeleznek.

A Szeleta-barlang ásatásaiból és Sajóbáony, Méhész-tető hitelesítő ásatásáról származó, valószínűleg avasi limnoszilit mintákat, mivel nem lehetett őket egyértelműen sem a II., sem a III. változatok közé sorolni, mind a II. változat referenciamintáinak, mind pedig a 2001-es ásatás bordó színű leletanyagainak mérési görbéivel összevetettük. A vizsgálat alapján valószínűleg ezeket a leleteket is erős hőhatás érte valamikor.

## **7.8. Következtetések**

A FTIR vizsgálati módszer jól alkalmazható annak a kérdésnek az eldöntésére, hogy az ismeretlen vagy valószínűsített eredetű termikus stigmákat mutató avasi limnosziliteteket érte-e jelentős hőhatás. Ehhez mindössze pár mg mennyiségű minta vétele és referenciaminták előállítása szükséges. A vizsgálat gyors, és csak kismértékű leletroncsolódással jár. Az I. és II. avasi limnoszilit-változatba sorolt leletek esetében egyértelmű eredményekkel szolgál, a III. változat esetében viszont valószínűleg a módszer finomítása szükséges. Ez elmondható az egerbaktai nyersanyaggal kapcsolatban is, viszont a termikus stigmákat hordozó (főként fehér színű) metariolitok vizsgálatához jól alkalmazható (**Melléklet II, 67. ábra**).



A FTIR vizsgálatok alapján valószínűsíthető, hogy a Miskolc, Avas-Tűzköves 2001-es és 2002-es ásatási leletanyagából kiválasztott paleolitok, valamint a Szeleta-barlang ásatásaiból és Sajóbábony, Méhész-tető hitelesítő ásatásáról származó, feltehetően avasi limnoszilit nyersanyagú régészeti leleteket erős hőhatás érte. A laboratóriumi hőkezelő kemencében, kontrollált körülmények között előállított és a vizsgálati eredményekkel hitelesített termikus stigmák alapján meg lehetett kezdeni a 2002-es ásatási leletanyag újbóli áttekintését, a vizsgált mintákhoz hasonló termikus stigmákat mutató leletek felmérése céljából.

## 8. AZ AVASI LIMNOSZILICIT MAGAS HŐMÉRSEKLET HATÁSÁRA BEKÖVETKEZŐ ELVÁLTOZÁSAI

### 8.1. A hőkezelt/hőkezelt/lehőkezelt nyersanyag színének értékelése

Az AVK II. csoport kivételével az elszíneződés sem a sütés folyamán bekövetkező hőkezelt/lehőkezelt, sem pedig a szándékos hőkezelés tényének megállapításához nem használható teljes biztonsággal. Egy lepidokrokittól és/vagy goethittől barnára színeződött nyersanyagban természetes kémiai úton – pl. természetes eredetű termikus metamorfózissal – is kialakulhattak hematitos zónák, a természetes eredetű tűz hatására történt elszíneződés (nagyobb nyersanyagtömbnek a talajból kiálló részén, lsd. a 2003. 6. 623. nagyméretű ütőkövet, **Melléklet I, 1. fotó**) pedig csak fokozza a nehézségeket. A hőhatásra történő elszíneződés mértéke akár cm<sup>3</sup>-ként is változhat a nyersanyagban, hiszen függhet a hőhatás mértékétől, eloszlásától és időtartamától, valamint a nyersanyag tömörségétől, a benne lévő vasoxidok ellenálló képességétől, azok kötéseinek erősségétől is.

A kísérletsorozat 360 °C-ra hevített referenciamintáinak színe alapján viszonylagos pontossággal lehetett azonosítani a leletanyag hőkezelt/lehőkezelt darabjait. A szakirodalomban említett vörös és kék színű avasi limnoszilicit-változattal eddig még egyik vizsgált avasi leletanyagban sem találkoztam, és a 2001-es és 2002-es ásatás területén egykor létezett kovabánya területén nem fordulnak elő. Valószínűsíthető létezésük mindenképp gyengíti a dolgozat eredményeit (Simán, 1979/a; /b). A vizsgálati eredmények alapján kétféle avasi limnoszilicit-változatot lehet hőkezelt/lehőkezeltnek minősíteni: a fehér színűt, ritkás bordó sávozással, illetve a mélybordó színűt. Az utóbbi kategóriába sorolható paleolitik *FTIR* vizsgálati eredményeit referenciaként használtam fel más, III. típusba sorolt avasi limnoszilicitek vizsgálatokhoz. Ezekon a darabokon kívül egyértelműen túlgett, fehéres/szürkés/fekete színű darabok is előfordulnak a leletanyagban (**Melléklet I, 2; 35. fotó**).

### 8.2. A termikus stigmák meghatározásának problémái

A hőkezelt/lehőkezelt nyersanyagok nem minden esetben mutatnak egyes termikus stigmákat. Más esetben a stigmák nyers formában is megfigyelhetők rajtuk (**Melléklet I, 36-40. fotó**). Az avasi limnoszilicitet a lehetséges hőhatás irányából, felülről (kellő vastagság esetén a fizikai erőhatásoknak ellenálló és a nyersanyagpad kívánt fokú darabolását gátló, opálos, így magas víztartalmú) kortextréteg fedé, melynek lerobbantása lehetett a sütéses fejtés egyik célja. Így a tulajdonképpen avasi nyersanyag nem alakulhat ki a hőkezelt/lehőkezelt nyersanyagok többségére jellemző matt felület. A bukkszentkereszti metariolit hővel érintkező felülete szintén nem, vagy csak nehezen felismerhetően mattul be, az ezután megmunkált darab felületén pedig az egerbaktai nyersanyag összes változatához hasonlóan hiába keresünk zsírfényt. Az avasi

limnoszilicit opálos kortexével érintkező nyersanyag felülete kb. 1 cm vastagságban már nyers állapotban is zsírfényű, így ezt csak komoly fenntartásokkal, illetve más - lehetőleg minél több - termikus stigmával együtt történő jelentkezésénél könyvelhetjük el valószínűleg termikus stigmaként. Termikus kipattanások, ívelt mikrorepedések pedig a kovaközetek víztartalma miatt bármilyen nagy, hirtelen vagy rendszeres hőingadozás hatására képződhetnek. Az ívelt repedések elkülöníthetőek a rácsszerkezetű mikrorepedésektől, amelyek az avasi limnoszilicit esetében a laboratóriumi kísérletek alapján az áthevült, majd hirtelen lehűtött (pl. erdőtűz, majd eső; venyigeégetés, majd lelocsolt tűzhely) nyersanyagban alakulnak ki.

### **8.3. Különbségek egyes mátrai nyersanyagok és az avasi limnoszilicit termikus stigmái között**

Az avasi limnoszilicit a repedezett és az üreges zárványrétegekkel tagolt sávos változatait kivéve, a mátrai limnoszilicitek többségénél jobb minőségű, jól pattintható nyersanyag. Frissen tört felülete sima, a kortexrétegek közelében zsírfényesen csillogó. Így például a 2002-es ásatásból származó, 2003. 6. 533. leltári számú, két élén kortexes, zsírfényes felületű, pengeszerű szilánktöredékről (színtelen, áttetsző, I. típusú avasi limnoszilicit-változat) csak a *FTIR* vizsgálat során derült ki, hogy kb. 260 °C-os hőhatás érte. Ezért a nyers avasi limnoszilicitet nemcsak makroszkópikusan, hanem mikroszkópikusan is nehéz vagy lehetetlen elkülöníteni a hőkezelődött daraboktól. Ezzel szemben egyes mátrai nyersanyagok esetében szembetűnő a nyers és a hőkezelődött darabok felületei közötti különbség (**Melléklet I, 41-43. fotók**).

### **8.4. A Miskolc Avas-Tűzköves 2002-es ásatási leletanyag erős termikus hatást mutató darabjai**

Az archeometriai vizsgálatok eredményeiből, valamint a rekonstrukciós és laboratóriumi kísérletekből nyert tapasztalatok alapján a leletanyag 352 darabját, a teljes leletanyag 3,59 % -át minősítettem „hőkezelődöttnek”. Együttes tömegük 3585 g (**Melléklet II, 68-69. ábra**). Ez a szám valószínűleg lehet, hogy több, lehet, hogy kevesebb (lásd a termikus stigmákról szóló fejezetet). Térbeli eloszlásuk egyezik a teljes leletanyag eloszlásával. A leletanyagon belüli arányuk meghaladja a németországi Sesselfelsgrötte jól dokumentált, több tűzhellyel rendelkező paleolit lelőhelyén talált, termikus stigmákat viselő kovák arányát (Richter, 1997). A Szeleta-barlang Markó András által megvizsgált 1439 palaeolit lelete közül mindössze 22 db (1,52 %) mutat egyértelműen hő hatására keletkezett termikus stigmákat; ezek közül csak 3 db került elő tűzhelyfoltból (Markó, 2016).

## 9. A SÜTÉS ÉS HŐKEZELÉS ÖSSZEVETÉSE

### 9.1. Hőkezelés

A kőkorszak embere a tűz segítségével célzottan változtatta meg különféle nyersanyagok fontos tulajdonságait. A középső paleolitikumtól a neolitikumig ismert volt a pattintott-kőeszköz nyersanyagok minőségének „hőkezeléssel” történő feljavítása (T. Biró, 2002; Schmidt et al., 2012/b). A hőkezeléssel csökken annak a valószínűsége, hogy a nyersanyag megmunkálása során pattintási hibák, pl. lépcsős törések, csapott leválasztások történjenek. A hőkezelt nyersanyagokon sokkal könnyebben lehet nyomóretusálást végezni (Weiner, 2012/a). Hővel befolyásolható a nehezen megmunkálható kovaközetek minősége és az ékszerként használt közetek színe. A kőeszköznyersanyagok hőkezelésének, mint technológia felismerése és leírása már a XIX. században megtörtént (Weiner, 2012/a).

Az őskori ember először véletlenszerűen hőkezelhetett követ. Ez történhetett természetes tűzben, véletlenül a tábortűzbe került kovával, vagy ha egy nyersanyag-lelőhelyen a kovaközetet gyújtották meg a tábortűz, vagy akár a Kőbaltás ember c. regény elején leírt módon természetes tűz által (Szentiványi, 1972). E dolgozat szerzője lehetségesnek tartja, hogy a sütés alkalmazása során is megtapasztalhatták az áthevített nyersanyag előnyeit. Az őskori ember megfigyelte, hogy az áthevült, majd lassan kihűlt nyersanyag a többihez képest könnyebben pattintható, szilánkjai élesebbek, felülete fényes és színe is szebb (Weiner, 2012/a).

A hőkezelés fogalma: *„A kőeszköz-készítés részeként alkalmazott hőkezelés során pontosan szabályozott hőhatásnak teszünk ki rideg, vagy túl inhomogén kovás közeteket azért, hogy törési ellenállásukat csökkentsük és megmunkálhatóságukat növeljük. A sikeres hőkezelés úgy csökkenti le többféle mikrokristályos kvarc nyomószilárdságát, hogy a törésmutató kivételével nem változtatja meg a nyersanyag egyéb tulajdonságait. A hőkezelt nyersanyagot a kőeszköz-készítő sokkal jobban és pontosabban tudja megmunkálni.”* (Cowan, 1987).

#### 9.1.1. A hőkezelés elkülönítése a természetes tüzeiktől, valamint a véletlen és célzott antropogén eredetű hőhatásoktól; a hőkezelés módszerei

Az egyes paleolitikon felfedezhető termikus stigmák általában nem állnak összefüggésben a hőkezeléssel. Hőkezelés során a száraz kőanyagot kontrollált körülmények között, levegőtől elzárta, védőrétegbe burkolva hevítik a kívánt hőmérsékletre. A nyersanyagot megfelelő, szükséges ideig hűn tartják, majd igen lassan lehűtik a műveleti sor elején; a *débitage* előtt, pl. egy szilánkot, esetleg *façonnage* (az eszköz féltermékből történő kialakítása) közben, pl. egy félkész bifaciális eszközt (Akerman, 1979; Bordes, 1969/a/b). Mindez azért történik, hogy a pattintó a nyers kovánál sokkal homogénebb, könnyebben megmunkálható nyersanyagot

kapjon (Bordes, 1969/a; Inizan et al. 1976; Tiffagom, 1998; Tixier & Inizan, 2000, Mercieca, 2000).

A hőkezelés nyomai csak archeometriai módszerek segítségével deríthetők fel, melyek többsége lassú, drága és a leletek károsodásával jár (Schmidt et al., 2012/b). Az esetek döntő többségében pedig, ha az ősember egy hőkezelődött nyersanyagdarabot eszközkészítésre használt, sajnos lehetetlen eldönteni a darab hőkezelődésének természetes vagy mesterséges voltát. A mesterséges hőkezelés kérdésével akkor érdemes foglalkozni, ha az adott leletanyagban több termikus behatást elszenvedett lelet található (Weiner, 2012/a). A meghatározást nehezíti, hogy a hőkezelésnek és a sütésnek nem mindig van makroszkopikusan felfedezhető nyoma. Legfőbb fogódzóink a nyersanyag elszíneződése és a termikus kipattanások.

A kovaközetek hőkezelésének nem volt egységes módszere (**Melléklet II, 70. ábra**). A sikeres hőkezelési technikák mindig az adott nyersanyagra lettek kidolgozva, és egy-egy nyersanyagot több módon, például gyorsan és lassan is lehetett hőkezelni (Mercieca & Hiscock 2008; Weiner, 2012/a; Schmidt et al., 2011; 2012/a). A különféle kovák eltérő víztartalmuk miatt különbözően reagálnak a hőre, illetve a felmelegítés és a lehűtés időtartamára. A szívós nyersanyagok, mint a hidrotermális és limnikus eredetű kovaközetek megmunkálásához pl. a kiváló minőségű, könnyen megmunkálható obszidiánnál sokkal nagyobb kinetikus energiára van szükség, de megmunkálásuk nyers állapotban is lehetséges (Weiner, 2012/a). A hőkezelést akkor alkalmazták, ha a munka, a nyersanyag és a ráfordított idő mennyisége megérte a könnyebb nyomóretusáló megmunkálás eredményét. A hőkezelés tehát nem létfontosságú, hanem opcionális technika (Cowan, 1987).

Egyes ausztrál őslakosoknak a nyomóretussal kialakítható finomabb él elérése volt a céljuk; ezen kívül a nyersanyag jobb kontrollálása, a pattintási hibák képződésének csökkentése a retusálás során (Akerman, 1979). A hőkezelés a retuszilánk hosszát fél hüvelykről kéthüvelyknyire is növelhette, ugyanis a homogenizálódott szövetszerkezet jobban pattintható: a nyersanyag hőkezelődése során bekövetkező „újrakristályosodás” kis mértékben a hibátlan megmunkálást akadályozó mikrorepedéseket is eltünteti. A szorosan illeszkedő, különböző méretű kvarckristályok egyforma méretűvé válnak. A hőkezelődött nyersanyagok éle ezekből következően már nem olyan tartós, mint a nyers daraboké (Domanski & Webb, 1992). Mercieca és Hiscock (2008) laboratóriumi hőkezelési kísérleteket végeztek kovakérgen a nyersanyag – hőmérséklet - térfogat tekintetében. Azt tapasztalták, hogy általánosságban a kisebb darabok jobban hőkezelhetőek: a nagyobb méretű mintáknál homogénebben melegednek át és hűlnek ki, kevesebb termikus repedés keletkezik rajtuk. A kovakérget 700-900°C-ig is hevítették károsodás nélkül; a minták vizsgálata során kiderült, hogy a minták térfogata nincs lineáris

arányban a hőmérséklet emelésével, viszont a térfogat a termikus repedések képződésével igen. Ezzel kapcsolatban európai kutatók arra az eredményre jutottak, hogy nagyobb nyersanyagdarabokat ajánlott lassabban hőkezelní, hogy azok víztartalma akadálymentesen távozhasson; így nem keletkeznek mikrorepedések és nem is robban szét a hőkezelt nyersanyag (Schmidt et al. 2011). A hőkezelési folyamat időtartama akár 48 óra (325°C-on) is lehet, ám nagy hőhatású tűz mellett a kis kovakéreg darabok hőkezeldéséhez 30 perc is elég, viszont a lassú hőkezelés kontrolálhatóbb, mint a gyors (Mercieca & Hiscock, 2008). Amerikai „gyors”, tábortüzes hőkezelési kísérletek során a nagyobb nyersanyagdarabok szélei vöröstre színezödtek, a belsejük (és nagy részük) sárga maradt. Kívül hatásos volt a hőkezelés, belül nem (Schindler et al., 1982). A kelet-oroszországi Ustinovka 3. paleolit lelöhely kutatói terepi kísérleteik során kétféle tűzgödörös eljárást alkalmaztak: az 1. sz., 70 cm mély gödörbe helyezett rétegek lentről fölfelé a következők voltak: izzó szén - 3 cm vastag hőszigetelő homok – nyersanyag - 3 cm homok - izzó szén. A 2. sz., 40 cm mély gödör rétegei lentről fölfelé: nyersanyag – homok - tűz. Nem sok különbség mutatkozott a két módszer eredményei között, a nyersanyagoknál átlagosan 3 % súlyvesztéséget mértek a hőkezeldést megelőző méréshez képest (Kononenko & Kononenko & Kajiwara, 1996). A dél-afrikai Blombos-barlang és Pinnacle Point lelöhelyekről vett minták friss törési felületeit hőkezeldés megállapításának szempontjából eredménytelen, roncsolásos TL, archeomágneses vizsgálatnak vetették alá (Mourre et al., 2010). A tűztér alatti hőkezeldés mértéke függ a köztes szigetelőanyag vastagságától, fajtájától és annak víztartalmától: 2-3 cm vastagságú szigetelőréteg alkalmazásakor már nem elég egy tábortűz 300-400°C hőmérsékletű hője (Richter et al. 2011).

Egy szerencsés ausztrál kutatónak lehetősége volt terepen dokumentálni természeti népek hőkezeldési technikáit: az ausztrál őslakos *kidja* törzs tagjai a kifejtett és előkészített nyersanyagdarabokat (nagyobb magköveket, nagy szilánkokat és bifaciális szupportokat) a következő módon helyezték egy 100 x 60 x 50/60 cm méretű gödörbe, lentről fölfelé haladva: homok – nyersanyagdarabok – homokréteg - izzó faszén - forró homok – majd lesúlyozott földréteggel fedték be. A hőkezeldés 36-48 óra hosszán át tartott. A *djam* törzs tagjai ezzel szemben a nyersanyagdarabok fölé forró földet/homokot szórtak, majd arra helyezték az izzó faszénparazsat (**Melléklet II, 70-71. ábra**). A hőkezeldt nyersanyagot könnyebb pattintani, felülete zsiros fényű és opalizáló (Akerman, 1979). Dél-Afrikában egyre több lelöhelyen (Blombos-barlang, Pinneackle Point, Mertenhof-sziklaeresz) fedeznek fel 60-70 ezer évesre datált, hőkezeldt paleolitokat (Schmidt et al. 2011; 2012/a, /b; 2013; 2015).

A modern kőszköznyersanyag-hőkezeldők tapasztalatai sem hagyhatóak ki a felsorolásból. Mára már a legtöbb közkedvelt, és megmunkálási tulajdonságait hőkezeldéssel feljavítható kőszköznyersanyagról találhatunk pontos és optimális hőkezeldési paramétereket (Miller,

Weboldalak/a). Ezen kívül a hőkezelés megfigyelésekre és tapasztalatokra épülő alapvető szabályzata is ismert: túl magas vagy túl hirtelen emelkedő hőmérséklet hatására a nyersanyag darabokra robbanhat. A túlhevített nyersanyagdarab egyben is maradhat, de a termikus kipattanások és repedések miatt további megmunkálása nem lehetséges. A termikus kipattanás keletkezése ("*potliding*") a legtöbb esetben azt jelzi, hogy a nyersanyagdarab belsejében is termikus repedések alakultak ki ("*crazing*"). Ezt két módszerrel lehet elkerülni: a légmentesen hőszigetelő közegbe ágyazott hőkezelendő nyersanyagdarab hosszú időn (4-40 óra) át tartó, kb. 100 °C-on történő kiszáritásával és a szintén hosszú időn át tartó, fokozatos lehűtésével. Az előszáritás során a nyersanyagdarab külső, részben nyitott pórusaiban tárolt vizet távolítjuk el, így megakadályozzuk a nyersanyagdarabot szétrepesztő gőz keletkezését a tulajdonképpeni hőkezelési hőmérsékletre történő hevítés során. Az áthevítés hatására a nyersanyagdarab térfogata megnő, a hirtelen lehűlés hatására pedig térfogata túl gyorsan lecsökkenne. Az ekkor fellépő feszültség a nyersanyagdarabot szétrepeszteti, valamint termikus kipattanásokat idéz elő; a lassú lehűtéssel ez előzhető meg (Miller, Weboldalak/a).

A modern hőkezelők által előállított nyersanyagokkal dolgozva is meglepő dolgokat tapasztalhatunk: hőkezelt tömbből is készülhetnek nem hőkezelődött eszközök. Egy adott kődarab sikeres hőkezeléshez körülbelül 3 centiméteres nyersanyagvastagság az optimális. Előfordulhat, hogy egy vastagabb nyersanyagdarab belseje már nem hőkezelődik és ha teljesen lebontjuk róla a hőkezelődött részt, termikus stigmáktól és azok kedvező hatásaitól mentes kőeszközt kapunk (Schindler et al. 1982).

## **9.2. Mely régészeti lelőhelyeken találták meg a hőkezelés nyomait?**

A kőeszköz- és ékszernyersanyagok, valamint az okker tulajdonságai hő segítségével való megváltoztatásának régészeti és néprajzi nyomai a világ több pontjáról ismertek: a dél-afrikai Pinnacle Point, a Mertenhof-sziklaeresz és a Blombos-barlang 164 ezer és 72 ezer éves korra datált régészeti rétegeiben talált leletek arra utalnak, hogy már a középső-paleolitikum eszközkészítői a fazonázis (az eszközkészítés műveleti sorának végén) közben hőkezelték a szilkrétet (Mourre et al. 2010; Schmidt et al., 2011; 2012/a, /b; 2013; 2015; Schmidt & Mackay, 2016). A lelőhelyeken talált kőhegyek fejlettebbek a későbbi, 58-40 ezer éves unifaciális dél-afrikai kőhegyeknél (Mourre et al., 2010). A magyarul kovakéregnek nevezett nyersanyag egy „nem vagy nem teljesen konszolidált alluviális vagy tavi üledékeknek vagy különféle más kőzetek mállástermékeinek felszíni-felszínközeli kovásodásával képződött kőzet, amely kemény lepelként vonja be fekvőjét...” (Balogh, 1992). Az őskori kőpattintók a megmunkálás

előtt tartották szükségesnek hőkezelné a nyersanyagot. A kovakéreg gyorsabban, könnyebben (magasabb hőfokon, 500 °C-on), egy tábortűzzel is hőkezelhető (Schmidt et al., 2011).

Ausztrália legidősebb, a hőkezelés használatára utaló lelete 25 000 éves (Mercieca & Hiscock, 2008). Észak-Queenslandben 20-17 ezer éve hőkezelt darabok kerültek elő (Lamb, 1996). 1500 éves nyomok árulkodnak arról, hogy az őslakosok gödörben hőkezelték a kőeszköznyersanyagot (Mercieca & Hiscock, 2008). A Kimberley-terület keleti felén a XX. századig javították kőeszköznyersanyagok minőségét a hó segítségével (Akerman, 2006). Acheuli szakócákhoz hasonló nagy, bifaciális szuportokat hőkezelték. Finoman megmunkált lándzsahegyeket készítettek belőlük aztán és azokkal kereskedtek is (Akerman, 2006).

Shuidonggou, kínai felső-paleolit, 20-10 ezer éves korú lelőhelyről is ismertek hőkezelődött kovák; a kutatók szerint a köveket 3-400 °C-os hőhatás érhetette (Zhou et. al., 2013). Az észak-izraeli Hayonim lelőhely késő-epipaleolitikus (Kr.e. 13. 000 - 10. 300 uncal.) leletanyagában nagyszámú, a térség kőeszköznyersanyagaitól eltérő (vöröses) színű és fényesebb felületű, vélhetően 200 és 300 °C között hőkezelődött paleolit található (Sunseri & Delage, 2016; Barzilai et al, 2017). Közé-keleti lelőhelyeken az őskori ember okkerpirító-gödreire bukkantak (Delage & Sunseri, 2005). A kelet-oroszországi Ustinovka 3. paleolit lelőhelyen először erdőtűzre gyanakodtak a felszínen látható, vörösre égett paleolitok miatt, de az ásatások során az alsóbb rétegekben is találtak hőhatásnak kitett paleolit koncentrációkat, még a debítázs darabok között is (Kononenko & Kononenko & Kajiwara, 1996). Termikus hatásra kipattant és levált darabokat az alsó paleolitikumtól kezdve a legutóbbi időkig gyakran felhasználtak eszközkészítésre. Ilyen darabokra bukkantak pl. a délnyugat-franciaországi La Micoque- és a kínai Chou Kou Tien lelőhelyeken, a németországi Hannover melletti lelőhelyen pedig masszív termikus (fagyási) kipattanásból kialakított szakóca került elő (Schön, 2012).

A franciaországi Abri du Brugas lelőhely 4. rétegéből (középső-paleolitikum) termikus kipattanásos, elváltozott színű, zsírfényes felületű és mikrorepedéses kovák is előkerültek. Sajnos nem lehet megállapítani, hogy szándékos hőkezelés bizonyítékai-e (Weiner, 2012/a). Magyarországon 2005-ben laboratóriumi hőkezelő kemencében előállított elváltozott színű minták mellett mutatták be a Bükk hegység barlangi lelőhelyeiről erőkerült, hasonló színű, valószínűleg hőkezelődött avasi limnoszilitből készült paleolitokat (Ringer & Szakáll, 2005). A megbízható európai leletek a felső-paleolitikum, a mezolitikum és a neolitikum idejéből származnak. A hőkezelésnek a középső-, a felső- és a késői-solutréen-ben is van nyoma. Összesen 5 darab paleolit: valószínűleg 200-300 °C hőmérsékleten hőkezelt levélhegy-töredékek és szilánkok kerültek elő Laugerie-Haute lelőhelyről (Bordes, 1969/a). Valószínűleg félkész eszközöket hőkezelték, amire az eredetileg sárgás színű nyersanyagból, a leválasztott szilánkok zsírfényes felületű és enyhén elvörösödött színű negatívjaiból következtek. Egy



pattintókísérlet során a nyers kován a megmunkálás következtében keletkezett lépcsős töréseket a hőkezelt darabról könnyedén el lehetett távolítani (Bordes, 1969/b). Az összes leletanyagnak még az 1 %-át sem teszik ki a hőkezelt darabok; valószínűleg az addigi kutatások során nem ismerték fel mindegyik hőkezelt darabot (Collins, 1973). Hasonló korú hőkezelt paleolitikus kerültek elő a spanyolországi Parpalló barlangban is (Tiffagom, 1998). A Solutréen kultúra kőeszközeire jellemző a nyomóretus technikája, és a hőkezeléssel foglalkozó kutatók nagy része úgy gondolja, hogy épp e technika alkalmazásának megkönnyítése miatt hőkezelték a kovákat, azonban az eddig előkerült hőkezelt solutréen eszközökön nem figyelhető meg nyomásos retusálás nyoma (Weiner, 2012/a). Az ugyanebben az időszakban használt francia Les Maîtres és Combe Saunière nyíltszíni kovafeldolgozó- és vadásztáborhelyen is okker hőkezelésének (vörös színű festék előállításának) nyomaira bukkantak, a technika nyomai a Magdaléni kultúra idejéből is ismertek (Salomon et al. 2015).

A németországi Peterfels lelőhely két hajógerinc alakú vakarójának nyersanyaga hőkezelt, csakúgy, mint a Rajna alsó folyásánál található Kleinbroich felső-paleolitikumi leletanyagának egy része (Weiner, 2012/a). A hőkezelés alkalmazása a mezolitikum idején vált széles körűvé a mai Németország területén. A németországi Schwäbisch Alb mezolitikumi lelőhelyein néha a jura-szarukő leletanyag 60 %-ka is hőkezelt (Schulz, 1980). Kérdés, hogy miért hőkezelt az őskori ember olyan kiváló minőségű kovákat, mint pl. a bajorországi arnhofeni Plattensilex-et? Talán a hőkezelt nyersanyag szép színe és zsírfényű felülete lehet a válasz (Weiner, 2012/a), hiszen az anyagövet nem igényelte a sütés alkalmazását. Lengyelországban a mezolitikumtól egészen a bronzkorig megtalálhatóak a technika alkalmazásának régészeti bizonyítékai: a mezolitikumi Janislavocien kultúra, és a kora-bronzkori Harangedényes kultúra kőeszköz-készítői is hőkezelték a krzemionki-i tűzkövet (Domanski et al. 2009). A franciaországi Chasséen lelőhelyen előkerült nyomásos leválasztással előállított pengék és lamellák nyersanyagát is hőkezelték (Schmidt et al., 2012/b; Léa et al., 2012).

A Csendes-óceán szigetein is hőkezelték pattintott kőeszköznyersanyagot (White, 1995), a kaliforniai *pomo* indiánok magnezitből készített gyöngyeik nyersanyagának színét és megmunkálhatóságát javították hőkezeléssel; az indiai Khambatban az achátgyöngyök mélyvörös színét tízszeres hőkezeléssel érték el; Jemenben a karneolból készült gyöngyök és ékkövek színét a mai napig hőkezeléssel javítják fel (Weiner, 2012/a).

Az észak-amerikai őslakosok ún. „*Heat and drip*” módszerének valóságát, miszerint a felhevített, még forró nyersanyag megmunkálható élére szalmaszálon át csepegtettek vizet, a modern kutatás elvetette (Bordes, 1969/b; Weiner, 2012/a).

### 9.3. A hőkezelés nyomai Magyarországon

Ringer Árpád szerint Miskolc, Avas-Tűzkövesen már 60 ezer éve hőkezelték a helyi kőszköznyersanyagot, annak tűz segítségével történő fejtése során (Ringer & Szakáll, 2005). T. Biró Katalin a Denevér utcai (Farkasrét, Budapest), rossz minőségű budai szarukő-gumók hőkezelését valószínűsíti a nyersanyag széleskörű használatának egyes, utolsó időszakaiban, a késő rézkorban és a Bádén-kultúra idején; de a technológia középső-bronzkori alkalmazásának lehetősége (Vatya-kultúra) még nem merült fel (T. Biró, 2002; Horváth, 2005).

### 9.4. Miben tér el egymástól a hőkezelés és a sütés?

Ringer Árpád (2003; 2004; 2011) hipotézise szerint az Avas őskori bányászai teljesen lebontották a limnoszilicit-padokat fedő talajrétegeket, csak pár cm vastag homokot hagyva a nyersanyagot felülről határoló kéregréteg fölött (Ringer & Szakáll, 2005). Ezen friss csonttal táplált, nagy alapterületű tüzet gyújtottak, amely legalább egy napig égett. A tűz leadott hője lerobbantotta az ütéseknek ellenálló felső, „opálos” kérget, szétégette a limnoszilicit-pad rosszabb minőségű részeit, feldarabolta a padot, és egyúttal hőkezelt is a nyersanyagot (Ringer & Szakáll, 2005). Tehát a teljes kitakart nyersanyagpadot hőkezelték. Az, hogy a sütéssel fejtett nyersanyagoknak (jáspis és achátkavicsoknak Észak-Amerikában és nagy átkovárosodott homokkötömböknek Ausztráliában) a hőnek közvetlenül kitett része a maximum néhány órás folyamat során hőkezelődik és ezt a sütést végzők érzékelik is, nem példanélküli (Gould, 1976; Akerman, 2006), de az Avason elméletileg így kitermelt nyersanyag- és a kitermelésre fordított idő és erőforrások mennyisége mindenképp.

Minden kovakőzetnek más és más a kritikus minimum hőmérséklete (Inizan et al. 1976; Tixier & Inizan, 2000; Miller, 2010, Weboldalak/a). De általánosságban a kisebb darabok jobban hőkezelhetőek. Homogénebben melegednek át és hűlnek ki, mint a nagy darabok, ezért nem is repedeznek be annyira. A kovakérget (*silcrete*) 700-900 °C-ig is hevítették! A hőmérséklet nagysága és a hőkezelendő darab térfogata nem áll lineáris arányban egymással, viszont a térfogat és a repedezés aránya igen, ezért nagyobb nyersanyagdarabokat ajánlott lassabban hőkezelné, hogy a víz akadálymentesen távozhasson (Schmidt et al., 2011). Így nem keletkeznek mikropedések és nem is robban fel a hőkezelt nyersanyag, tehát a sütéssel ellentétben a hőkezelés idő- és energiaigényes folyamat.

A sütés célja a nyersanyag fejtésének, darabolásának megkönnyítése, a hőkezelése pedig a nyersanyag minőségének feljavítása. De mivel mind a két folyamat során hőkezelődik a nyersanyag (hőkezelés során optimális esetben minden darab, sütés során a nyersanyag elenyésző része), a két technológia nyomai összetéveszthetőek. A termikus kipattanásból arra következtethetünk, hogy az egész áthevített nyersanyagtömb a benne keletkezett

mikrorepedések miatt a további megmunkálásra alkalmatlan. Ezért egy lelőhelyen megfigyelt nagyszámú termikus kipattanás a sütés jele lehet, a hőkezelés lehetőségét pedig erősen csökkenti. Hőkezelési kísérletek során kiderült, hogy a nyílt lánggal (300 °C) közvetlenül érintkező kovadarabok is mutathatják esetleg túlégetés nyomait (**Melléklet II, 71. ábra**) (Richter & Alperson-Afil & Goren-Inbar, 2011).

Amennyiben a Miskolc, Avas-Tűzköves limnoszilicijét sütéssel is fejtették, a technológiát az adott körülményekhez alkalmazkodva, többféle módon is alkalmazhatták. A tüzet rakhatták a limnoszilicit padon, a pad alatt vagy a pad mellett is. A sematikus ábrákon a legelső eset szerinti eljárás vázlatai láthatóak (**Melléklet II, 24-31; 70-71. ábrák**).

A kazános hőkezelőkísérletek során „bányanedves” (a szabadban esőben ázott, így a molekulárisan és zárt pórusaikban kötött vízen kívül a nyitott pórusokban is vizet tartalmazó) limnosziliciteket is áthévítettem (Tóth, 2011; Tóth & Kristály, 2017). A hamuba ágyazott tömbök és szilánkok – a kazán tetején több napon át előszárított limnoszilicitekkel ellentétben – kivétel nélkül szétrobbantak. Ezután a nagyobb maradványokat a bennük található mikrorepedések miatt nem lehetett megmunkálni. Ezért feltételezhető, hogy az avasi, frissen kibontott majd vékony homokréteggel befedett kovapadokon nem gyújtottak nagy alapterületű tüzet és nem táplálták azokat hosszú ideig (Ringer & Szakáll, 2005), mivel így tönkretették volna a nyersanyag jó részét, hasonlóan a 2005-ös tűzkövesi ásatás után végzett helyszíni kovapadégetéshez.

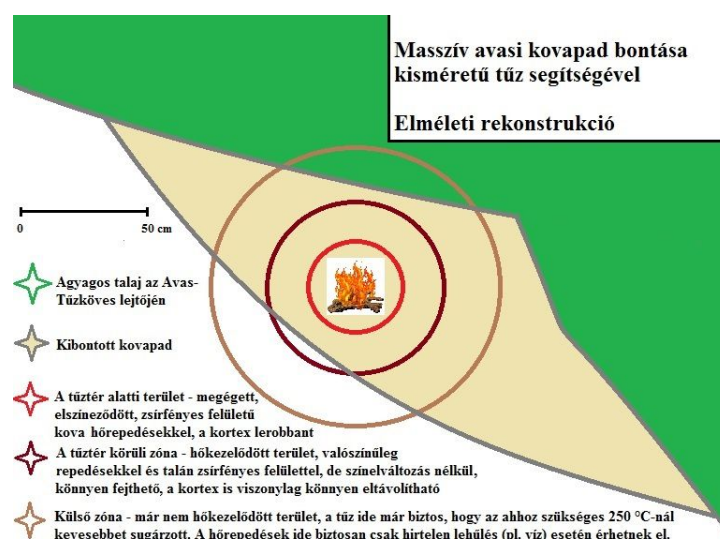
A limnoszilicit-sütéses kísérlet alapján azonban a kis területre koncentrált, termikus eredetű feszültség előidézésével gyorsan és ütési sokkból eredő károsodás nélkül lehet nagyobb tömböket darabolni.

A fentebb vázolt tények alapján leszögezhető, hogy az őskorban a sütést és a hőkezelést az eszközkészítési műveletsor két, egymástól világosan elkülöníthető részének megkönnyítése céljából végezték (Holló et al., 2002). A sütést a fejtés során, a hőkezelést pedig a debitage folyamatának legvégén alkalmazták. A sütés gyors, a hőkezelés nagyon lassú folyamat.

## **9.5. A sütés lehetséges módja az Avason**

A kérdésre, miszerint lehetséges-e, hogy az Avas-Tűzkövesen a kőkor valamelyik szakaszában a limnoszilicit fejtéséhez használták a sütés technológiáját, a dolgozatban bemutatott eredmények alapján a válasz: igen. Véleményem szerint Ringer Árpád helyesen ismerte fel a jeleket, de az általa leírt nagy tüzes fejtés alkalmazását jelenleg elképzelhetetlennek tartom. Vannak jelek a leletanyagban, melyek a kis tüzes sütés használatára utalhatnak, így annak lehetőségét a jelenlegi ismereteim alapján nem zárhatom ki. Az ütőköves törésteszt alapján az alig 15 cm vastagságú ép paddarabot sem könnyű ütőkővel feldarabolni.

A 20-30 cm vastagságúnak is leírt, masszív, repedésmentes limnoszilitpadok fejtését, illetve darabolását a sütés alkalmazása jelentősen megkönnyíthette (Ringer & Szakáll, 2005). Az ütőkövek csapásai a leválasztandó nyersanyagtömbben a későbbi megmunkálást negatívan befolyásoló repedéseket idézhetnek elő. A Tűzköves bányászai a sütéssel egyrészt eltávolíthatták az ütéseket részben elnyelő kortextréteget (mivel ez akár pár percen belül bekövetkezhet, hiába is keresnénk hőhatás nyomait), másrészt kezelhető méretű és repedésektől mentes nyersanyagtömböket nyerhettek ki a limnoszilit padokból (72. ábra). Utóbbi gazdaságossági szempontból előfeltétele volt a nagyméretű, jól kiaknázható szilánk- és pengemagkövek előállításának. Ha a limnoszilitpad kiterjedése, vastagsága vagy repedezettsége megengedte, a bányászok ütőköveket és egyéb kéziszerszámokat használtak a fejtéshez.



**72. ábra.** *Avasi limnoszilit-pad fejtése kis tüzes sütéssel; elméleti rekonstrukció.*

Más európai kovabányákhoz képest, ahol a kemény anyagövet bontották meg sütéssel, az Avason magán a kőszköznyersanyagon rakhattak tüzet, így sokkal kisebb és kevesebb tűz volt szükséges. Az avasi limnoszilit esetében a sütés során nem volt szükség a pad locsolására a nyersanyag (azon belül is az opálos kortex) magas víztartalma miatt. A tűz egyértelmű jeleit, ti. más lelőhelyeken viszonylag nagy számban talált fa- vagy csontszénmaradványokat, amik az átfogatás és talajmozgások miatt a 2002-es szelvény fölötti részekről is a vizsgált területre kellett volna, hogy kerüljenek a paleolitikkkal együtt, a talajerózió tüntethette el. Ez a körülmény utalhat a sütés opcionális (nem gyakori), a kovapadrészek eltérő tulajdonságaitól függő alkalmazására is.

A részben (a felső ásatási rétegekben, kb. 40 cm mélységig mindenképpen) átfogatott ásatási leletanyagoknak az esetleges számítási hibákat figyelembe véve hozzávetőlegesen 4 %-át érthette hőhatás. Ez az érték a talajmozgások és a leletanyag-keveredés miatt esetleges és nem

sok, de megalapozottá teszi a gyanút, hogy az Avas-Tűzköves limnoszilicijét tűzzel is fejthették. A sütés jellegzetességeinél, ti. a technológia opcionális használatánál és a korlátozott hőhatásnál fogva más leletanyagokban is hasonló lehet a nagyfokú hőhatást mutató kőeszköznyersanyagok maximális aránya. Ehhez jön a hőkezelődött kőeszköznyersanyagok azon tulajdonsága is, hogy a termikus stigmákat nem mindig mutatják egyformán sem a felületükön, sem pedig keresztmetszetükben. Ez annyit jelent, hogy mind a zsírfényes felületet, mind az elszíneződött részeket le lehet dolgozni egy hőkezelődött nyersanyagdarabról. Ez a körülmény is megnehezíti a sütött darabok azonosítását.

A 2005-ben elvégzett avasi limnoszilicid-hőkezelési kísérlet során elért élénkvoros és kékes elszíneződést sem a laboratóriumi, sem a rekonstrukciós kísérletek során nem sikerült reprodukálni (Ringer & Szakáll, 2005). A legelső, túlhevítés következtében szétrobbant laboratóriumi minták is csak egy tompább, bordó és kékesfehér színt kaptak. Valószínűleg a felhasznált minták között nem volt meg a 2005-ben bemutatott, szépen elszíneződő avasi limnoszilicid-változat (Ringer & Szakáll, 2005).

Az infravörös spektroszkóp segítségével, a minták porítását nem számítva, rövid időn belül egyértelműen kideríthető, hogy egy avasi limnoszilicidből készült paleolitot ért-e jelentős hőhatás. Ehhez a referenciaminták rendelkezésre állnak, és a leletekről csak pár milligrammnyi minta vétele szükséges. A módszer segítségével elpusztult őskori tűzhelyek lokalizálása is lehetséges, de a kérdés végérvényes tisztázására, nevezetesen az Avas környéki lelőhelyek termikus hatásokat mutató leleteinek gyors és olcsó archeometriai vizsgálatára nincs is más lehetőség. A dolgozatban bemutatott kísérletek és vizsgálatok eredményei a további kutatások alapjául szolgálhatnak.

## 10. ÖSSZEFOGLALÁS

Doktori értekezésemben annak az elméletnek a helyességét vizsgáltam archeometriai módszerekkel, miszerint Miskolc, Avas-Tűzköves paleolit limnoszilit-bányájában tűz segítségével („sütéssel”) fejtették a pattintott kőeszköznyersanyagot; Ringer Árpád a Bükk több paleolit lelőhelyéről ismertetett termikus hatás nyomait magukon viselő, avasi nyersanyagból készült paleolit eszközöket (Ringer & Szakáll, 2005).

A téma kutatástörténetének áttekintése alapján megállapítható, hogy az őskori ember mindennapi tevékenységei során a tüzet egyfajta mindenes eszközként használta, a tűznek az általa felhasznált nyersanyagokra gyakorolt hatásaival tisztában volt. Ha a rendelkezésre álló kőeszköznyersanyagot mérete vagy magának a nyersanyagnak, illetve anyakőzetének szívóssága miatt nem lehetett gazdaságosan fejteni, az őskori bányászok esetenként a tűz segítségét vették igénybe (Kinnunen, 1993; Akerman, 2006).

A nyersanyaglelőhelyeken alkalmazott fejtési módok nem jelzik a kitermelők technikai, társadalmi és kulturális fejlettségi szintjét; a bányászok mindig az adott kitermelőhely geológiai viszonyaihoz és a nyersanyag iránti kereslethez alkalmazkodva választották ki az adott fejtési módot (Gayck, 2000). A geológiai viszonyok és a kereslet változása esetén, például, ha keményebb vagy sokkal puhább anyakőzetre, nagyobb méretű, ellenállóbb nyersanyagtömbre bukkantak; esetleg az emberek valamilyen okból más méretű kőeszközök használatára tértek át, akkor változhattak a fejtési módok is. Az egyik ilyen a kemény, ellenálló anyakőzet fellazításához és nagyméretű, ellenálló nyersanyagok darabolásához opcionálisan alkalmazott fejtési mód a tűzrakás, más néven sütés volt (Faller et al, 1997). Ennek nyomait már néhány magyarországi őskori bányában is felismerni vélték, de ahol nincsenek egyértelműen ráutaló nyomok, mint pl. a bányaterületen fellelt, nagy mennyiségű faszén, égett agancs bányászszerszámok, ott a nyersanyaglelőhely geológiai viszonyaiból (pl. kemény anyakőzet; a kézi eszközökkel való gazdaságos feldolgozást megnehezítő, ellenálló nyersanyag) a sütés közben hőkezelődött, ún. termikus stigmákat viselő nyersanyagból pattintott paleolitikából és bányahulladékból következtethetünk rá (Mészáros & Vértes, 1954; Vértes, 1969/b). Ebben az esetben az elmélet helyességét archeometriai vizsgálatokkal kell igazolni.

Az avasi limnoszilit tulajdonságait mind empirikus, mind experimentális és teoretikus módon megvizsgáltam a rendelkezésemre álló 2002-es avas-tűzkövesi ásatási leletanyagot összevetve más, az Avas paleolit lelőhelyein előkerült pattintott kőeszköznyersanyagokkal, ún. a bükk-szentlászlói metariolittal és az egerbaktai nyersanyaggal is, melyek geológiai előfordulási helyein szintén megfigyelhetőek a tűz nyomai. Az itt gyűjtött, valamint barlangi és nyílt színi régészeti lelőhelyekről származó mintákat Kristály Ferenc (ME, ÁKT) pótolhatatlan

közreműködésével archeometriai kísérlet- és vizsgálatsorozatoknak vetettük alá. A többtucatnyi avasi limnoszilit-változatot színük/vasoxidtartalmuk alapján három alaptípusba soroltam be, a régészeti lelőhelyekről származó, a korábbi kutatási eredmények alapján meghatározott, valószínűleg termikus stigmákat (termikus kipattanás, vöröses elszíneződés, zsírfényű felület, ívelt, termikus repedések) mutató leletek vizsgálati eredményeit pedig laboratóriumi hőkezelő kemencében előállított referenciaminták mérési eredményeivel hasonlítottuk össze. Azt, hogy egy paleolitot ért-e jelentős hőhatás, a vizsgált nyersanyagok esetében sajnos sem a röntgen por-diffrakciós-, sem a pásztázó elektronmikroszkópos-, sem a termoanalitikai vizsgálattal nem lehetett egyértelműen kimutatni. A külföldi kollégák kutatási eredményeinek megfelelően, az avasi limnoszilit esetében ezt csak az infravörös spektroszkópia segítségével sikerült megállapítani. A vizsgálatok alapján több, az Avas-Tűzkövesről, a Szeleta-barlangból és a metariolit geológiai lelőhelyéről származó leletet ért legalább 200-300 °C -os hőhatás. A hőhatás kérdésének egyidejű és sikeres makroszkópos és nagyműszeres archeometriai (FTIR) vizsgálatára egyedül a fehér színű, barna sávós, az avasi limnoszilit-változatok közül a közepes mennyiségű vasoxidot tartalmazó típusok (AVK II.) alkalmasak nagy biztonsággal. A nyers avasi limnosziliten is megfigyelhetők bizonyos termikus stigmák, mint például a kortexszel határos nyersanyag felszínén látható zsírfény és a fagyhatásra is létrejövő termikus kipattanások. Ezért – bár az archeometriai vizsgálatok a hőhatás tényét bizonyították – nem lehetett a 2002-es ásatási leletanyag darabjait egyértelműen a „nyers” és „hőkezelődött” kategóriákba besorolni. Az alapján viszont, hogy az Avas közelében található bukkszentlászlói metariolit előfordulásoknál, valamint a Szeleta-barlangban előkerült paleolit szilánkokon és eszközökön is sikerült kimutatni hőhatás nyomait és, hogy a vastag, ellenálló kérgű avasi limnoszilit gazdaságos darabolását egy kisméretű, rövid ideig égő tűz is jelentősen megkönnyíti, véleményem szerint valóban elképzelhető, hogy az Avas-Tűzköves bányájában sütéssel is fejtették a limnoszilitet a paleolitikumban. A lelőhelyen megfigyelt nagyszámú termikus kipattanás miatt elvethetjük a nyersanyag szándékos hőkezelésének elméletét. A téma természetesen további kutatást igényel, hiszen jelen értekezéshez a paleolit lelőhelyekben rendkívül gazdag régió csupán néhány lelőhelyének leletanyagát volt alkalmam tanulmányozni.

## 11. SUMMARY

During the excavations conducted by Árpád Ringer in the Palaeolithic quarries of Avas-Tűzköves in Miskolc, located at the eastern foot of the Bükk Mountains, Northeast Hungary, signs of thermal alteration were observed on many of the finds. According to the hypothesis of the excavator, prehistoric miners quarried the benches of limnic origin (in fact, postvolcanic siliceous rock, i.e. – limnosilicite) not only by using large hammerstones, but employing another technique. After clearing of the limnosilicite benches, the quarrymen applied a thin layer of sand, then set extensive fire on this surface fed with fresh bones. The heat exploded the thick upper cortex of the rock, breaking it up into small pieces, and, at the same time, heat-treating the good quality Avas limnosilicite (Ringer & Szakáll, 2005). This method is basically similar to the flint extracting technique by fire-setting employed in many places all over the world (e. g. Norway, Australia), in the course of which pieces of sizes easier to handle were split from bigger blocks of raw material by using small fires (Akerman, 2006; Storemyr, 2013, Websites/b; /c). At the same time, Árpád Ringer presented several Palaeolithic artefacts made of Avas limnosilicite and probably had been quarried by using the fire-setting method. Finally, the results of the short experiment conducted under laboratory conditions were also published (Ringer & Szakáll, 2005).

Within the scope of my PhD Thesis I examined the available finds from the excavations carried out on the Avas hill in 1928–1935, 1961, 2001 and 2002 (Ringer, 2011). Since the lithic assemblage from the last excavations conducted contains a relatively high proportion (3, 59 %) of pieces showing macroscopic signs of thermal alteration, samples were subjected to archaeometrical analysis in the University of Miskolc, Department of Mineralogy and Petrology.

- 3 samples of cortical Avas limnosilicite with probable traces of thermal alteration from the excavations of 2001;
- 2 samples of the same rock type from the Szeleta-cave with probable signs of thermal alteration;
- 1 piece of Avas-typerock from the archaeological site of Méhész-tető, in Sajóbáony with probable traces of heat alteration;
- samples from the debitage excavated in 2002 on Avas-Tűzköves were heat-treated in the laboratory in 2014. The variations found were divided into three groups by their colouration and exposed to heat (260 °C and 360 °C) in a heat-treatment kiln.



- geological samples collected on the Tüzköves site were also subjects of simulation experiments controlled by measuring instruments by different methods. 9 pieces from our experiments were also placed among the reference samples.

The heat release rate of bonfires fed with bone, wood or dried dung were compared to show the thermal effects on lithic samples placed next and underneath the fires.

Due to its higher water content, the Avas rock made up of microcrystalline quartz and moganite (Hartai & Szakáll, 2005) reacts more decisively to heat than tuffite or metarhyolite. It is highly possible, that Avas-type limnosilicite heated over 360 °C, explodes into pieces. That is the main reason, in my view, for which the extensive fire setting method reconstructed by Á. Ringer might not have been applied. Besides, there are a number of causes that makes difficult a distinction between heat-treated and untreated pieces:

- Unlike other rock types, it takes a long time for the Avas limnosilicite of brown colour variation to turn red. In mineralogical point of view goethite transforms to hematite;
- the greasy luster of the layers underlying the cortex of the raw Avas rock is identical with that one observed on the surface of the fractured stone altered by heat;
- microfractures typical for heat-treated pieces can also be found in the raw material without heating – probably freezing?
- natural reddish discoloration occasionally occur under the cortex of the rock, as well as burgundy discoloration can be seen along the micro-fractures;
- it is virtually impossible to determine the origins of the signs of thermal alteration (e. g. pot lid fractures, micro-fractures - Schmidt et al., 2012/a)

Scanning electron microscope (SEM), X-ray diffraction analyses and thermoanalytical techniques did not give satisfactory answers to the questions if the samples had ever been subjected to heat and how high had been the temperatures transmitted to them. Contrarily three discrete variants of Avas limnosilicite could have been distinguished by applying SEM and thermoanalytical methods (MOM Derivatograph). Sharing the view of colleagues studying the same area (Schmidt et al., 2012/b), we are also of the opinion that those methods are unsuitable for analysing thermal effects on silicified rock. The application of infrared spectroscopic imaging (ATR-FTIR), on the other hand, following the investigations of Schmidt et al., (2011; 2012/a), brought satisfactory results. With this method at hand, we could distinguish several pieces with greasy luster from the assemblage of the 2002 excavations at Avas-Tüzköves, which might have been made after being subjected to thermal alteration. F.e. the broken blade of transparent material (Inv. no. in the Herman Ottó Museum, Miskolc: 2003. 6. 530.) and three reference pieces – untreated, heated 1 (260 °C) and heated 2 (360 °C), from the same type of Avas limnosilicite were compared. Due to its optimal ferric oxide content, the Type II. Avas

material proved itself as ideal candidate for the macroscopic and FTIR research. The lone red or purple stripes of the mainly heat-treated material of mainly white color are easy to recognise for the eyes and its samples show clear the recrystallisation and the loss of water.

To prove the hypothesis of fire setting and to interpret the results of IR spectroscopy investigation it is important to ask: Why should have Stone Age people use fire-setting to extract stone at Miskolc, Ávas-Tűzköves? The notion of producing more suitable raw material for toolmaking by using the method is out of question, since hardly any palaeoliths have been found in the area made of reddish and shiny lithic raw material. We can only believe, that by creating high shear stress using small, controlled fires, their aim was to crack bigger blocks of raw material and limnosilicite benches, without using hammerstones that would have pulverised the stonetool material. This could have happened when they ran out of smaller pieces in the quarries, due to the increased need for raw material. On the basis of our results achieved so far, the Palaeolithic use of fire-setting to extract lithic raw material on the Ávas Hill cannot be excluded.

## TÉZISEK

Dolgozatomban a miskolci Avas-Tűzkövesen 2002-ben folytatott ásatás során előkerült, helyi kőeszköznyersanyagból készült paleolitikon megfigyelt, az ásatásvezető régész által egy egyedi fejtési és/vagy hőkezelési technika jeleként aposztrófált tűznyomok régészeti, kísérleti régészeti és archeometriai vizsgálatának eredményeit mutatom be (Ringer 2003; 2004; 2011; Hartai & Szakáll, 2005; Ringer & Szakáll, 2005, Tóth, 2011; 2016). A régészeti, kísérleti régészeti, makroszkópos és laboratóriumi nagyműszeres vizsgálatok alapján az ásatási leletanyag egyes darabjait valóban erős hőhatás érthette (Tóth, 2016), és a problémakör alapos tanulmányozása után az alábbi következtetésekre jutottam:

### 1. tézis

Az avasi limnoszilicit több tucatnyi színváltozata ismert (Simán, 1979/a; /b; 1995/b; Ringer & Szakáll, 2005; Szolyák & Mester, 2011), melyeket a feldolgozás megkönnyítése érdekében három nagy csoportba (AVK I.: áttetsző, színtelen; AVK II.: fehér-barna sávozott; AVK III.: barna színű) soroltam be (Tóth, 2016). A három avasi limnoszilicit típus közötti legfőbb makroszkópikus eltérés (szín = vasoxidtartalom) az archeometriai vizsgálatok eredményein is visszatükröződik: elmondható, hogyha a minőségbeli változatosságot nem számítjuk, akkor a három avasi limnoszilicit típus közötti legfontosabb különbség a vasoxidtartalom, amelynek mértéke befolyásolja a nyersanyagdarabban lévő víz, amorf anyag/fluidumok (szilanol) mennyiségét (Schmidt et al. 2011; 2012/a; 2012/b; 2013; 2015).

### 2. tézis

Az avasi limnoszilicit egyes változatain 260-360 °C-os hő hatására (AVK. II., AVK III.) jellegzetes elváltozások figyelhetők meg, de a hőkezelés után pattintott nyersanyagok tipikus makroszkópikus jellemzője, a zsírfényes felület a nyers avasi limnoszilicit kéreggel határos részein is megfigyelhető, csakúgy, mint a vöröses elszíneződés, melynek egyik oka a vasoxidoknak a nyersanyag természetes repedései mentén történő részleges, felületi kiszáradása lehet (Hartai, 2009). Ezért a hőhatás kérdésének egyidejű és sikeres makroszkópos, valamint nagyműszeres archeometriai (FTIR) vizsgálatára egyedül a fehér színű, barna sávok, az avasi limnoszilicit-változatok közül a közepes mennyiségű vasoxidot tartalmazó típusok (AVK II.) alkalmasak nagy biztonsággal: ezek a hőre jól reagálnak - a barna sávok színe vörössé, bordóvá változik - és a bennük végbemenő ásványkémiai elváltozások (vízvesztés és átkristályosodás) is jól követhetők infravörös spektroszkópiás vizsgálattal.

### 3. tézis

A kovás kőzetekben 200 °C feletti hő hatására végbemenő folyamat az ún. *termális metamorfózis* (Pápay, 2006; Hartai, 2009). Ennek alapjai a kovás kőzetek diagenezise során hátra maradt, ún. *intergranurális* (szemcsék közötti) *fluidumok*, tulajdonképp a kovás kőzetek mikrozárványaiban és szövetszerkezetében jelen lévő *szilanol* (Hartai, 2009). A kovakőzet nagyon kemény és ellenálló, de a szilanol miatt a természetben előforduló egyik leggyengébb kémiai kötés, a hidrogénkötés is jelen van benne. Hidrogéneket tartalmaznak azok a vasoxidok is, melyek az avasi limnoszilit egyes változatait barnára színezik, de erős hő hatására hematittá válva elvörösödnek. A magas hőmérséklet hatására a *fluidumok*-ban oldott anyagok, kovás kőzetek esetében a szilícium és az oxigén, a kovás kőzetek szövetének szálai között található résekben kicsapódhatnak, hasonlóan a metamorf kőzetek repedéseiben megfigyelhető, kvarccal kitöltött erekhez (Hartai, 2009). Erős hőhatásra a *fluidumok*-ban található oxigén és hidrogén egy része a kovás kőzetek nyílt pórusaiban található, nem kötött vízzel együtt távozik a pattintott kőeszköznyersanyagból. Schindler et al. (1982) a goethitnél tömörebb szerkezetű hematit kialakulásához kötötte a hőkezelődött kovák friss törési felületén látható zsírfény kialakulását és a nyersanyag megmunkálhatóságának javulását, de véleményem szerint mindezt nagyrészt a fluidumokban oldott anyagok kristályosodása okozza.

### 4. tézis

Az őskorban a sütést és a hőkezelést az eszközkészítési műveletsor két, egymástól világosan elkülöníthető részének megkönnyítése céljából végezték (Holló et al., 2002). A sütést a kőeszköznyersanyag fejtése és/vagy darabolása során, a hőkezelést pedig a debitage folyamatának, azaz a féltermék elkészítésének legvégén alkalmazták (Mercieca, 2000; Akerman, 2006). A sütés darabolja, a hőkezelés pedig nemesíti a nyersanyagot. A sütés gyors, a hőkezelés nagyon lassú folyamat: a sütés sokkal kevesebb hőkezelődött és sokkal több túlégetett nyersanyagot eredményez a hőkezeléshez képest. Hőkezelés során a féltermékek roncsolódását a nyersanyag gondos előszáritásával és nagyon sokáig tartó, óvatos lehűtésével kell kerülni, sütés során viszont törekedni kell a kis tűz megfelelő területre irányított hője által kiváltott, minél gyorsabb és nagyobb hősokra.

### 5. tézis

A Ringer Árpád által feltételezett nagyüzemes fejtési technika alkalmazását az archeometriai vizsgálati eredmények, a 2002-es ásatási leletanyag vizsgálata, valamint a nyers, bányanedves avasi limnoszilit tulajdonságai miatt nem tartom valószínűnek (Ringer, 2003; 2004; 2011; Ringer & Szakáll, 2005; Tóth, 2016). A kazános hőkezelő-kísérletek során „bányanedves” (a

szabadban esőben ázott, így a molekulárisan és zárt pórusaikban kötött folyadékon kívül a nyitott pórusokban is vizet tartalmazó) limnosziliciteket is áthevítettem. A hamuba ágyazott tömbök és szilánkok – a száraz limnoszilicitekkal ellentétben – szinte mindig szétrobbantak. Ezután a nagyobb maradványokat a bennük található mikrorepedések miatt nem lehetett megmunkálni. Az egyetlen sikeres kísérlet pedig az eredményhez képest aránytalanul sok időt, energiát és alapanyagot szükségeltetett, valamint sokkal több elszíneződött leletet kellett volna produkálnia. E megfigyelések alapján úgy gondolom, hogy az őskori bányászok a frissen kibontott avasi limnoszilicitpadokat a rajtuk rakott nagy tüzekkel csak tönkretették volna. A kísérleti régészeti vizsgálatok eredményei alapján a 2002-es ásatási leletanyagban található, egyértelmű termikus stigmákat mutató, nagyméretű, ép paleolitok (többek között **Melléklet I, 2. fotó/11.**) többségének esetében kizárható a természetes és mezőgazdasági tüzek hatása (lásd pl. a venyigégetős terepi kísérlet eredményeit) hatása is. Ilyen minták csak a legkritkább esetben keletkeztek a terepi égetések során. A nagyméretű ütőkő egyik vége viszont ilyen tűzben színeződhetett el (**Melléklet I, 1. fotó**). Az eredeti kérdésre, miszerint lehetséges-e, hogy az Avas-Tűzkövesen a kőkor valamelyik szakaszában a limnoszilicit fejtéséhez használták a sütés technológiáját, a dolgozatban bemutatott eredmények alapján a válasz: igen, lehetséges. Ringer Árpád helyesen ismerte fel a kis tüzes sütés használatára utaló nyomokként értelmezhető jeleket.

Az avasi nyersanyag célzatos hőkezelését a következők miatt tartom kizártnak: a termikus kipattanásból arra következtethetünk, hogy az egész áthevített nyersanyagtömb nagy része a benne keletkezett mikrorepedések miatt a további megmunkálásra alkalmatlan. Ezért egy lelőhelyen megfigyelt nagyszámú termikus kipattanás és hőkezelődött paleolit és törmelék (a 2002-es ásatási leletanyag körülbelül 4 %-a) a sütés jele lehet, a hőkezelés lehetőségét pedig erősen csökkentti (Miller, 2010, Weboldalak/a). Az ütőköves törésteszt alapján az alig 15 cm vastagságú ép paddarabot sem könnyű ütőkővel feldarabolni, azaz nagyméretű szilánk- és pengedebitázsra alkalmas szupportokat kapni. A masszív, repedésmentes, 20-30 cm vastagságúnak is leírt limnoszilicitpadok fejtését, darabolását a sütés alkalmazása jelentősen megkönnyíthette (Ringer & Szakáll, 2005). A nagy ütőkövek sikertelen csapásai a leválasztandó nyersanyagtömbben a későbbi megmunkálást negatívan befolyásoló repedéseket idézhettek elő. Az Avas-Tűzköves bányászai vastag limnoszilicit padok fejtésekor a sütéssel egyrészt eltávolíthatták az ütéseket részben elnyelő kortextréteget, másrészt könnyebben kezelhető méretű és repedésektől mentes nyersanyagtömböket nyerhettek ki a padokból.

## A TÉZISEKHEZ KAPCSOLÓDÓ SAJÁT PUBLIKÁCIÓK

**Tóth Z. H.** (2010): Egy őskori kőbánya: A mátraderecskei Kanászvár ciszternája. *AGRIA: Annales Musei Agriensis: Az Egri Múzeum Évkönyve: Jahrbuch Des Dobó István Burgmuseums* (Xlvi) pp. 5-10.

**Tóth Z. H.** (2011): Újabb adalék a szeletai üveges kvarcporfir előfordulásához: Bükkszentlászló, Hideg-víz. *GESTA MISKOLC X*: pp. 147-149.

<https://vm.mtmt.hu/www/index.php?AuthorID=10029974>

**Tóth Z. H.** (2011): Egy hőkezelési kísérlet a Rátka-herceggövesi limnokvarciton. *ARCHEOMETRIAI MŰHELY VIII:(2011/3)* pp. 219-224.

**Tóth Z. H.** (2016): Additional Data on the Suspicion on Palaeolithic Heat Treating in Northeastern Hungary: Short Report on the Archaeometrical Examination of the Possible Use of Firesetting in Stone Age Stone Quarries in the Bükk Area. *ARCHAEOLOGIA POLONA* 54. pp. 129-135.

Gutay, M., Bálint, Cs., Péntek, A., Szegedi, K. I., **Tóth, Z. H.** (2016): Feldebrő-Bakoldal 1. számú lelőhely kutatásának előzetes eredményei (Preliminary report of an Upper Palaeolithic site Feldebrő-Bakoldal 1). *Litikum* 4: 45-52.

[http://www.litikum.hu/project/a0018\\_gutay/](http://www.litikum.hu/project/a0018_gutay/)

**Tóth Z. H.**, Kristály, F. (2017): Egy igazi „tűzkő”: A fehér színű szeletai kvarcporfir archeometriai vizsgálata. in: *Archeometriai Műhely 2017/XIV./2.* pp. 85-98.

**Tóth Z. H.** (in press): Vértes László munkássága a Miskolci Avason. *Folia Archaeologica* 55.

Ringer Á., Németh N., **Tóth Z. H.** (in press): Neuer Beitrag zum Vorkommen des Seletien Quarzporphyr in Bükkszentlászló. *Praehistoria*. 11.

### *A kutatási témában tartott tudományos előadások*

**Tóth Z. H.** (2011): Újabb adalék a szeletai üveges kvarcporfir előfordulásához: Bükkszentlászló-Hidegvíz. II. Kőkor Kerekasztal Konferencia, Miskolc.

**Tóth Z. H.** (2011): Egy hőkezelési kísérlet a Rátka-herceggövesi limnokvarciton. Miskolci Egyetem, Archeometria és Kognitív Régészeti Konferencia.

**Tóth Z. H.**, Ringer Á., Németh N. (2012): Újabb metariolit (szeletai kvarcporfir) elsődleges geológiai előfordulás és kőnyersanyag kitermelőhely Bükkszentlászló fölött. III. Kőkor Kerekasztal Konferencia, Miskolci Egyetem.

**Tóth Z. H.** (2012): A middle- and upper palaeolithic workshop in North-East Hungary. *Archeology International University Meeting, Firenze–Siena, Olaszország.*

**Tóth Z. H.** (2013): Óskori leletek Domoszlón. IV. Kőkor Kerekasztal Konferencia, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest.

**Tóth Z. H.** (2013): Hőkezelési kísérletsorozat avasi kován. Miskolci Egyetem, Archeometria és Kognitív Régészeti Konferencia.

Kristály F., Ringer Á., **Tóth Z. H.** (2014): Laboratóriumi hőkezelési kísérletsorozat avasi kován. Miskolci Egyetem, Archeometria és Kognitív Régészeti Konferencia.

**Tóth Z. H.** (2014): A large palaeolithic workshop in Northeast Hungary. 11th SKAM Lithic Workshop, nemzetközi Konferencia, Miskolc, Herman Ottó Múzeum. Archeometria, kognitív-és szociálarcheológia konferencia.

**Tóth Z. H.** (2014): Vértés László munkássága a miskolci Avason. Emlékezés Vértés László születésének 100. évfordulója alkalmából. Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest.

**Tóth Z. H.**, Kristály F. (2015): Kovaközetek hevítésének ásványtani hatásai. Miskolci Régészettudományi Konferencia, Miskolci Egyetem.

**Tóth Z. H.**, Kristály F. (2015): A tűz nyomai őskori kőbányáinkban. VI. Kőkor Kerekasztal Konferencia, Miskolc.

**Tóth Z. H.**, Péntek A., Gutay M., Szegedi K. (2016): Három mátraaljai gravetti lelőhely kőeszköznyersanyagainak összehasonlítása. VII. Kőkor Kerekasztal Konferencia, Dornyai Béla Múzeum, Salgótarján.

**Tóth Z. H.** (2016): Die steinzeitliche Quarzporphyr-Minen im Bükk Gebirge in Ungarn. 9 th. International Flintknapping- Symposium, MAMUZ, Asparn an der Zaya, Ausztria.

**Tóth Z. H.**, Kristály F. (2017): A magas hőmérséklet néhány hazai pattintott kőeszköznyersanyagra gyakorolt hatásai. VIII. Kőkor Kerekasztal Konferencia, Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest.

## THESES

### ARCHAEOMETRICAL STUDIES ON FIRE TRACES IDENTIFIED AT THE STONE AGE 'FLINT' QUARRIES OF MISKOLC, AVAS-TÚZKÖVES (NE. HUNGARY)

Tóth Zoltán Henrik

PhD thesis

During the archaeological excavations at the Palaeolithic flint quarries of Miskolc, Avas-Túzköves (NE. Hungary) discolorations, pot lid fractures and other thermal alterations have been recognised on tools and debris made of the Avas material of limnic origin („limnoquartzite” or „limnic silica”, „AVK”), identified as traces of a unique art of ancient fire setting and/or lithic heat treatment method of mine-fresh limnoquartzite banks with large fires and local sand as isolating material (Ringer 2003; 2004; 2011; Hartai & Szakáll, 2005; Ringer & Szakáll, 2005, Tóth, 2011; 2016).

The results of the experimental archaeological, archaeometrical (macroscopic and microscopic –XRD, SEM, DTA/TG and ATR-FTIR) and field studies detected indeed traces of thermal exposure on a number of the studied lithics (Tóth, 2016; Tóth & Kristály, 2017) and after extensively research on the subject I came to the following conclusions:

#### Thesis 1.

For easier work I distinguished the dozens of types of Avas material with different colorizations and grain sizes (Simán, 1979/a; /b; 1995; Ringer & Szakáll, 2005; Szolyák & Mester, 2011) in three large groups (**Appendix II, Table 41.**). The main chemical differences shown by the results of the archaeometrical studies between these groups is their ferric-oxide (goethite, FeO (OH)) content (Tóth, 2016). „AVK I”: translucent Avas material types with no color - very few FeO content; „AVK II”: white materials with more or less brown stripes – medium FeO content; „AVK III”: brown materials with high FeO content.

On the other side, this has a great influence on the grade of amorphous material-, chemical bounded water- and silanole content in AVK I, II and III (Schmidt et al 2011-2015; Tóth 2016).

#### Thesis 2.



Glossy surface can't be used as a sign of heat treated Avas material since the parts next to the top and bottom cortex layers of the raw limnoquartzite banks already have this shine due to the high opalite content of the cortex (Hartai & Szakáll, 2005). Some natural red parts caused by the drying out of the material can also be observed on the surfaces of natural cracks (Hartai, 2009).

The brown parts (goethite) of AVK II and III turns on 260-360 °C heat into a reddish (hematite) color (Schindler et al, 1982; Ringer & Szakáll, 2005), but the ATR-FTIR method - the detecting of water loss and recrystallization - can be used only on AVK II with great safety due to its ideal FeO content. The brown parts of AVK II samples had always turned red during the experiments in the heat treating kiln, so Palaeolithic samples of this type are very usable both for macroscopic and archaeometric studies (Tóth, 2016).

### Thesis 3.

The alteration process in knappable materials which happens over 200 °C is called *thermal metamorphosis* („TM”; Pápay, 2006; Hartai, 2009). This process is based on the so called *intergranular fluids* („silanole”) remained after the diagenesis in microcrystalline quartz types (MQ); these fluids are stocked between the length-fast chalcedony strings and in micro-inclusions (Hartai, 2009; Schmidt et al, 2011). MQ-s are very hard but because of silanole they contain one of nature's weakest chemical bonds: the H-bond. Even the different FeO-s which give MQ-s their colorations contain them, that's why brown parts of AVK turn red during heat treating. Parts of the materials dissolved in the fluids, such as silica and oxygen precipitate on high temperature in the space between the length-fast chalcedony and fill most of the natural tiny cracks and micro-inclusions of the material, like quartz veins in the cracks of volcanic and metamorphic rocks (Hartai, 2009). Some of the hydrogen and oxygen exit the MQ through open pores together with the chemically unbounded water.

Schindler (1982) suspected the loose structured goethite → denser structured hematite alteration as the origin of increased workability and the glossy surface of freshly knapped, heat treated MQ-s. According to my results, these might be caused by the silica recrystallization during TM.

### Thesis 4.

Differences between fire setting and heat treating: fire setting and heat treating was used to facilitate working process in two completely different parts of tool making in the *chaîne opératoire* (Holló et al., 2002). Fire setting was a mining technique while heat treatment

had been and is used just before the *faconage* (Mercieca, 2000; Akerman, 2006). The aim of fire setting is to split a piece of knapping material out of a rock without damaging it too much; heat treating refines workability of knapping materials. Fire setting of knappable rocks is in most cases done under one hour, while heat treating is a very slow process which can last several days.

A very small amount of the moistured, „mine fresh” rock becomes heat treated while the short time and rapidly applied heat shock by using fire setting (Akerman, 2006), some more gets burned and becomes useless for further work (Storemyr, 2013, webpages/b). Most part of the split rock remains macroscopically raw.

By heat treating very slowly raised, long held and slowly reduced heat allows the thin debitage pieces isolated in sand or ash to get heat treated well, without crazing and potlidding (Miller, 2010, webpages/a).

#### Thesis 5.

According to the results of the archaeological, experimental archaeological, archaeometrical (macroscopic and microscopic –XRD, SEM, DTA/TG and ATR-FTIR) and field studies, and the attributions of raw, mine-fresh AVK, Ringer’s hypothesis of the fire setting-heat treating method with large fires can be excluded (Ringer, 2003; 2004; 2011; Ringer & Szakáll, 2005; Tóth, 2016). Field and laboratory heat treating experiments on minefresh AVK samples mostly ended up with potlids and crazing, though reddish pieces unusable for further work. The only successful experiment took too much effort in time and resources for the end result. Based on my observations, the mine-fresh AVK banks would have had only been destructed with large fires set on their top and the technique should have produced far more reddish pieces.

Based on the results of the experimental archaeological studies, I can exclude unintended -natural and agricultural- fires as causes of thermal alteration of the studied larger, intact AVK lithics from the 2002 excavation in most cases (**Appendix I, Photo 2/11.**) but they can’t be excluded in case of the large hammerstone (**Appendix I, Photo 1.**). According to the relatively high portion (approx. 4 %) of Avas lithics and the results of field investigations in other quarries, the optional use of the traditional and relatively wide known small fire setting technique can be possible in the Palaeolithic on the Avas Hill of Miskolc (Kinnunen, 1993; Akerman, 2006; Tóth, 2016; Tóth & Kristály, 2017). Ringer possibly recognised the traces of this mining technique.

Because of the high number of potlidded and microfractured pieces, the intentional heat treating of AVK can also be excluded. Potlidding is a sign of crazing in the heat treated

material, thus in the case of heat treating, it assumes a failed process (Miller, 2010, Webpages/a). But, on the other hand, it can be a sign of successful fire setting.

The hammerstone-test showed the difficulties breaking up a large and 15 cm thick AVK bank-piece with a thick and intact cortex using hammerstones. Fire could have facilitated the quarrying of large, 20-30 cm thick (Ringer & Szakáll, 2005), solid and intact banks: to break up the thick top cortex and split the material in suitable pieces for further work, without any cracks resulted from failed heavy hammerstone blows.

## IRODALOM

Agricola G. (1556) De re metallica. Bázél.

Altorfer, K. (2010) Die prähistorischen Feuchtbodensiedlungen am Südrand des Pfäffikersees –Eine archäologische Bestandsaufnahme der Stationen Wetzikon-Robenhausen und Wetzikon-Himmerich. Monographien der Kantonsarchäologie Zürich 41

Altorfer, K., Affolter, J. (2011) Schaffhauser Silex-Vorkommen und Nutzung – Virtschaftsarchäologische Untersuchungen an den Silices der jungneolithischen Stationen Büttenhardt-Zelg, Schaffhausen (Herblingen)-Grüthalde und Lohn-Setzi. Beiträge zur Schaffhauser Archäologie 5

Akerman, K. (1979) Heat and heating technology in the Kimberleys, WA. in: Archeology & Physical Anthropology in Oceania 14, No. 2. 144-151.

Akerman, K. (2006) High tech-low tech: Lithic technology in the Kimberley Region of Western Australia. in: Skilled Production and Social Reproduction. SAU Stone Studies 2 Uppsala 2006. 323-346.

Akridge, D. G., Benoit P. H. (2001) Luminescence Properties of Chert and some Archaeological Applications. Journal of Archaeological Science 28, 143-151.

Audouze, F. (2007) Uses of Fire at the Magdalenian Site of Verberie, France. in: The Archaeology of Fire. Understanding Fire as Material Culture. ARCHAEOLOGIA Series Minor 23. Budapest. 169-182.

Baales, M., Pollmann, H.- O., Stapel, B. (2013) Westfalen in der Alt- und Mittelsteinzeit. Landschaftsverband Westfalen-Lippe, Münster. 115.

Bácskay E. (1995) The flint-mine of Sümeg-Mogyorósdomb. Catalogue of flint mines: Hungary. Archaeologia Polona, vol. 33, 383-395.

Balogh K. (1992) Kováüledékek. in: Balogh K. (Szerk.): Szedimentológia III. Akadémiai Kiadó, Budapest. 11-52.

Barzilai, O., Rebollo, N., Nadel, D., Bocquentin, F., Yeshurun, R., Lengyel Gy., Bermatov-Paz, G., Boaretto, E. (2017) Radiocarbon dating of human burials from Raqefet Cave and contemporaneous Natufian traditions at Mount Carmel. Antiquity 91(359), 1137-1154.

Bäsemann, R. (1986) Natural alterations of stone artefact materials. Őskori kovabányászat és kőeszköznyersanyag-azonosítás a Kárpát-medencében. Nemzetközi konferencia Budapest-Sümeg, 1986 május 20-22. 23-30.

Berg, von A., Wegner, H-H. (1995) Antike Steinbrüche in der Vordereifel. In: Arch. an Mittelrhein und Mosel 10. 22.

Bleed, P., Meier, M. (1980) An Objective Test of the Effects of Heat Treatment of Flakeable Stone. Society of American Archaeology, Vol 45, No. 3. 502-507.

- Bordes, F. (1969/a) Traitement thermique du silex au Solutréen. in: Bulletin de la Société Préhistorique Française, vol. LXVI, No 7. 197.
- Bordes, F. (1969/b) Reflections on Typology and Techniques in the Paleolithic. in: Arctic Anthropology, 6. 1-29.
- Borradaile, G. J., Stewart, J. D., Ross, W. A. (1998) Characterizing Stone Tools by Rock-Magnetic Methods. *Geoarchaeology: An International Journal*, Vol. 13, No. 1, 73–91.
- Bosinski, G. (1986) Archäologie des Eiszeitalters – Vulkanismus und Lavaindustrie am Mittelrhein. Mainz.
- Brandl, M. (2016) The multi layered chert sourcing approach (mla) analytical provenance studies of silicite raw materials - többrétegű stratégia kovaközetek proveniencia vizsgálatára, in: T. Biró K. (Szerk.): *Archeometriai Műhely / Archaeometry Workshop No. 2016/3. "New methods and interpretation techniques for petroarchaeology" / "Új módszerek és értelmezési lehetőségek a petroarcheológiában"* 145-156.
- Brodard, A., Guibert, P., Léveque, F., Mathé, V., Carozza, L., Burens, A. (2012) Thermal characterization of ancient hearths from the cave of Les Fraux (Dordogne, France) by thermoluminescence and magnetic susceptibility measurements. in: Rainer Grün (Ed. in Chief) *Quaternary Geochronology* 10. 353-358.
- Cochrane, G.W.G., Habgood, P.J., Doelman, T., Herries, A.I.R., Webb, J.A. (2012) A progress report on research into stone artefacts of the southern Arcadia Valley, central Queensland. *Australian Archaeology Number 75*. 104-109.
- Collins, M. B. (1973) Observations on the Thermal Treatment of Chert in the Solutrean of Laugerie Haute, France. in: *Proceedings of the Prehistoric Society*, vol. 39. 461-466.
- Conard, N. J. (2012) Klingentechnologie vor dem Jungpaläolithikum Steinartefakte vom Altpaläolithikum bis in die Neuzeit, in: Harald Floss (Herausgeber) *Kerns Verlag Tübingen*. 245-265.
- Corkill, T. (1997) Red, yellow and black: Colour and heat in archaeological stone. *Australian Archaeology*, Number 45. 54-55.
- Cowan, F.L. (1987) Heat-Treating Experiments With Onondaga Chert: Preliminary Results. For a graduate course in ethnoarchaeology at the University at Buffalo, May 11.
- Csorba P., Takács-Biró K. (1986) Experiments on the effects of climate on Szentgál Flint. in: T. Biró k. (Szerk.): *Proceedings of the 1st International Conference on Prehistoric Flint Mining and Lithic Raw Material Identification in the Carpathian Basin*. Budapest-Sümege. 53-56.
- Davies, W., Richter, D. (2005) The impact of TL dating of burnt stone on the chronology of the Middle to Upper Palaeolithic transition in Central and Eastern Europe. *Praehistoria Vol 6*. 85-90.

- Delage, C., Sunseri, J. (2005) Lithic heat treatment in the late Epipalaeolithic of Southern Levant: Critical review of the Evidence. Department of anthropology, University of California, Santa Cruz, CA 95064. 161-173.
- Domanski, M., Webb, J. (1992) Effect of heat treatment on siliceous rocks used in prehistoric lithic technology. in: *Journal of Archaeological Science* 19. 601–614.
- Domanski, M., Webb, J. (2009) Fire and Stone. *Science*, Vol. 325. 820-821.
- Domanski, M., Webb, J., Glaisher, R., Zakościelna, A. (2009) Heat treatment of Polish flints. *Journal of Archaeological Science* 36 (7) 1400-1408.
- Dove, P.M., Rimstidt, J. D. (1994) Silica-Water Interactions, in: Szerk: Heaney P.J., Prewitt C.T. & Gibbs G.V. *Silica – Physical Behavior, Geochemistry And Materials Applications, REVIEWS in MINERALOGY* Volume 29. 259-308.
- Faller G., Kun B., Zsámboki L. (Szerk.) (1997) A magyar bányászat évezredes története. I. Kötet. Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület, Budapest.
- Feathers, J.K. (2003) Use of luminescence dating in archaeology. *Institute of Physics Publishing, Meas. Sci. Technol.* 14. 1493–1509.
- Fiedler, L. (1983) Jäger und Sammler der Frühzeit Alt-und Mittelsteinzeit in Nordhessen. Vor- und Frühgeschichte im Hessischen Landesmuseum in Kassel. Herausgegeben von den Staatlichen Kunstsammlung Kassel Heft 1.
- Fiedler, L. (2012) Diskoide Kerne. Steinartefakte vom Altpaläolithikum bis in die Neuzeit, in: Harald Floss (Herausgeber) *Kerns Verlag* Tübingen. 237-243.
- Fletcher, R. (1995) Az emberi viselkedés fejlődése. Az első emberek –Az ember származása és őstörténete. 17-31.
- Florek, S. (1989) Fire in the Quarry. in: *The Australian Museum.* 22-27.
- Fober, L., Weisberger, G. (1980) Feuersteinbergbau – Typen und Techniken. 5000 Jahre Feuersteinbergbau – Die Suche nach dem Stahl der Steinzeit, Bochum Szerk: Gerd Weisgerber, *Deutschen Bergbau-Museum Bochum*
- Fülöp J. (1973) Funde des Prähistorischen Silexgrubenbaues am Kálvária-Hügel von Tata. in: *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 35. 3-25.
- Gábori Csánk V. (1990) Európa legrégebb bányászati emléke Farkasréten. in: *Földtani Közlöny.* 120. kötet, 3-4. szám. 3-14.
- Gábori Csánk V. (2006) Európa legrégebb bányászati emléke Farkasréten. in: *bányászattörténeti Közlemények* 2. 3-14.
- Gayck, S. (2000) Urgeschichtlicher Silexbergbau in Europa –Eine kritische Analyse zum gegenwärtigen Forschungsstand. in: *Beiträge zur Úr- und Frühgeschichte Mitteleuropas* 15 Weissbach.

- Garam, É. (2011) A tűz csíholója. in: T. Biró Katalin - Markó András (Szerk.): Emlékkönyv Violának - Tanulmányok T. Dobosi Viola tiszteletére. 161-180.
- Godfrey-Smith, D.I., Bouchet-Bert, L., Von Bitter, P.H., Storck, P.L. (2005) Thermal activation characteristics and thermoluminescence of chert from the red wing, Ontario Region, and its putative heat treatment in Prehistory. *Geochronometria*, Vol. 24. 13-20.
- Gooren-Inbar, N., Alperson, N., Kislev, M.E., Simchoni, O., Melamed, Y., Ben-Nun, A., Werker, E. (2004) Evidence of Hominin Control of Fire at Gecher Benot Ya'aqov, Israel. [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org) Science, Vol. 304. 725-727.
- Gould, R.A. (1976) A Case of Heat Treatment of Lithic Materials in Aboriginal Northwestern California. *Journal of California Anthropology*. 142-144.
- Graetsch, H. (1994) Structural characteristics of opaline and microcrystalline silica minerals, in: (Szerk: Heaney, P.J., Prewitt, C.T., Gibbs, G.V.) *Silica – Physical Behavior, Geochemistry And Materials Applications, Reviews In Mineralogy, Volume 29*. 209-232.
- Gregg, M.L., Grybush, R.J. (1976) Thermally Altered Siliceous Stone from Prehistoric Contexts: Intentional versus Unintentional Alteration. *American Antiquity*, Vol. 41. Issue 2. 189-192.
- Groenendijk, H., Smit, J. (1990) Mesolithische Herdstellen: Erfahrungen eines Brennversuchs in: *Archäologische Informationen* 13(2). 213-220.
- Gyenis Gy., Hevesi A., Kordos L., Mester Zs., Ringer Á. (Szerk.), T. Dobosi V. (2001) Emberelődök nyomában. Az őskőkor emlékei Északkelet-Magyarországon. Miskolc:Borsod-Abaúj-Zemplén Megyei Levéltár.
- Hajdúné Molnár K. (1993) Az Avas geológiai felépítése. in: Dobrossy I. (Szerk.): *A miskolci Avas*. 49-53.
- Halaváts Gy. (1894) Miskolcz városa földtani viszonyai. in: Staub Móríc - Zimányi Károly (Szerk.): *Földtani Közlöny*, XXIV. kötet, 1-3. füzet, 1894. január-március. Budapest. 18-22.
- Hála J. (1986) Archaic methods for lighting fire in the Carpathian Basin, with special regard to the use of siliceous materials. In: Biró, K.T. ed., *International Conference on Flint Mining and Lithic Raw Material Identification in the Carpathian Basin, Sümeg 1986* (1), Budapest. 323-342.
- Harder, H. (1971) Quartz and Clay Mineral Formation at Surface Temperature. *Mineral Soc. Japan, Spec. Pap.* 106-108.
- Hartai É. (2009) *A változó Föld*.
- Hartai É., Szakáll S. (2005) Geological and mineralogical background of the Palaeolithic chert mining on the Avas Hill, Miskolc, Hungary. in: Ringer Árpád (Szerk.): *Praehistoria* Nr. 6. Miskolc. 15-22.
- Hauck, T. C., Rentzel J., Schulte P., Heinze S., Ringer Á., Richter, J., Chu W., Lehmkuhl, F., Vogels, O. (2016) Neanderthals or Early Modern Humans? A Revised 14C Chronology and

Geoarchaeological Study of the Szeletian Sequence in Szeleta Cave (Kom. Borsod-Abaúj-Zemplén) in Hungary. in: Archäologisches Korrespondenzblatt Jahrgang 46 · Heft 3. Herausgegeben vom Römisch-Germanischen Zentralmuseum Mainz, in Verbindung mit dem Präsidium der Deutschen Verbände für Archäologie 2016 Verlag des Römisch-Germanischen Zentralmuseums. 271-290.

Hegman N., Pekker P., Kristály F., Váczi T. (Szerk.) (2011) Nanometrológia. Miskolc.

Heldal, T., Storemyr, P. (2015) Fire on the rocks: Heat as an agent in ancient Egyptian hard stone quarrying. In: Lollino G., Manconi A., Guzzetti F., Culshaw M., Bobrowsky P., Luino F. (Szerk.) Engineering geology for society and territory - Volume 5. Springer, Cham. 291-295.

Herman O. (1893) A miskolczi paleolith lelet. Archaeológiai Értesítő. 13. 1-25.

Hillebrand J. (1928) Über ein Atelier des "Proto-Campignien" auf dem Avasberg in Miskolcz (Ungarn). Eiszeit und Urgeschichte 5, 53–59.; Eiszeit und Urgeschichte 6. 12-25. old.

Holló Zs., Lengyel Gy., Mester Zs. (2001) Egy pattintott kőeszköz életútja. Magyar kifejezések a technológiai vizsgálatokhoz 1. Ősrégészeti Levelek 3. 51–57.

Holló Zs., Lengyel Gy., Mester Zs. (2002) Egy pattintott kőeszköz elkészítése: rendszer és technika. Magyar kifejezések a technológiai vizsgálatokhoz 2. Ősrégészeti Levelek 4. 98–104.

Holló Zs., Lengyel Gy., Mester Zs., Szolyák P. (2004) Egy pattintott kőeszköz vizsgálata. Magyar kifejezések a technológiai vizsgálatokhoz 3. Ősrégészeti Levelek 6. 62–80.

Holzkämper, J. (2006) Die Konzentration IV des Magdalénien von Andernach-Martinsberg, Grabung 1994-1996. Doktori disszertáció, Mönchengladbach.

Horváth T. (2005) Stone finds from excavation seasons 1998, 1999 and 2000. Typological and technical analysis, in: Poroszlai I., Vicze M. (Szerk.): Százhalombatta Archaeological Expedition SAX Report 2 Matrica Museum-Százhalombatta.135-155.

Horváth T., Kozák M., Pető A. (2001) Factual Information for Researching Bronze Age Stone Instruments. Szerk.: Dani J., Hajdú Zs., Nagy E. Gy., Selmeczi L., In: ΜΩΜΟΣ I. Fialat Őskoros Kutatók I. Összejövetelének konferenciakötete Debrecen, 1997. november 10-13. Debrecen. 199-214.

Inizan, M.-L., Roche, H., Tixier, J. (1976) Avantages d'un traitement thermique pour la taille des roches siliceuses. Quaternaria XIX, 1975-1976. Róma. 1-18.

Jelínek, J (1979) Anthropology of the Rembranga People – A Contribution of the Czechoslovak Anthropos Expedition to Arnhem Land N.T.Australia. Anthropos Institute – Moravian Museum Brno

Jöris, O. (2008) Der Altpaläolithische Fundplatz Dmanisi (Georgien, Kaukasus). Archäologische Funde und Befunde des Liegenden Fundkomplexes im Kontext der Frühen Menschheitsentwicklung.



Juhász J. (Szerk.), Fuchs P., Goda L., Hajdúné M. K., Simkó I., Szabó I., Wallacher L. (1979) Magyarázó Miskolc város építésföldtani atlaszához. Avas-Észak, Avas-Dél. A Központi Földtani Hivatal kiadványa.

Kinnunen, A. (1993) mineralogical methods applied to the study of stone age quartz quarries in Finland. in: Fennoscandia Archaeologica X. Editorial Board Joakim Donner et al. Archaeological Society of Finland Ekenäs. 9-17.

Klaunzer, M., Goldenberg, G., Hye, S., Tomedi, G. (2009) Untersuchung des spätbronzezeitlichen bis früheisenzeitlichen Kupfererzbergbaus im Maukental (Grube Mauk E). In: Jahresbericht des Zentrums für Alte Kulturen. 22–24.

Kononenko, A.V., Kononenko, N.A., Kajiwara, H. (1996) Implications of heat treatment experiments on lithic materials from the Zerkalnaya River Basin in the Russian Far East. Proceedings 11.

Kozák M., Rózsa P., McIntosh R.W., Papp I., Mocsár-Vámos M., Pláztán J. (2014) A miskolci Avas-domb őskori kőipara és földtani környezete. Prehistoric stone industry in the Avas Hill, Miskolc and its geological conditions. Fehér B. (szerk.): Az ásványok vonzásában. Tanulmányok a 60 éves Szakáll Sándor tiszteletére. Herman Ottó Múzeum és Magyar Minerofil Társaság, Miskolc. 135–145.

Lanzinger, M. (1986) Mount Aven:Quarrying and chipping stone activity in an Aurignacian open-air site in the East Alps. Absztrakt. Proceedings of the 1st International Conference on Prehistoric Flint Mining and Lithic Raw Material Identification in the Carpathian Basin. Budapest-Sümege. 83-88.

Lamb, L. (1996) Investigating changing stone technologies, site use and occupational intensities at Fern Cave, north Queensland. Australian Archaeology, Number 42. 1-7.

Laueremann, E. (2014) Die Babies an der Donau. Der jungpaläolithische Fundplatz Krems-Wachtberg. Schatz Reich Asparn. Ur- und Frühgeschichtliche und Mittelalterarchäologie in Niederösterreich. 40-43.

Lawrence, T.S., Mudd, D.J. (2015) Before the fire was lit: using the effect of heat on flint to understand disturbed palimpsests at Lyminge, Kent, UK in: CHU W. (Szerk.): Lithics. The Journal of the Lithic Studies Society. No. 36. 18-40.

Léa, V., Roque-Rosell, J., Torchy, L., Binder, D., Sciau, P., Pelegrin, J., Regert, M., Cousture, M-P., Roucau, C. (2012) Craft Specialization and Exchanges during the Southern Chassey Culture: An Integrated Archaeological and Material Sciences Approach. in: Rubricatum. Revista del Museu de Gavà, 5. 119-127.

Lengyel Gy. (2004) Késő-paleolit telep Miskolc határában (Rózsás-hegy). in: Mőmos II. Őskoros Kutatók II. Összejövételének konferenciakötete. Debrecen. 12-20.

Lengyel Gy. (2009) Radiocarbon Dates of the „Gravettian Entity” in Hungary. in: Ringer Á. (Szerk.): Praehistoria 9-10. 241-264.

- Lengyel Gy. (2016) Reassessing the Middle and Late Upper Palaeolithic in Hungary. in: *Acta Archaeologica Carpathica* LI. 47-66.
- Markó, A (2009) Raw Material Use at the Middle Palaeolithic Site of Vanyarc (Northern Hungary). *Praehistoria* 9-10. 2008-2009.183-194.
- Markó, A (2016) Considerations on the Lithic Assemblages from the Szeleta Cave. *Communicationes Archaeologicae Hungariae* 2015-2016. 5-44.
- Meller, H. (2005) *Geisteskraft. Alt- und Mittelpaläolithikum. Begleithefte zur Dauerausstellung im Landesmuseum für Vorgeschichte Halle Band 1. Halle (Saale)*
- Mercieca, A. (2000) Burnt and broken: An experimental study of heat fracturing in silcrete. *Australian Archaeology*. Number 51. 40-47.
- Mercieca, A., Hiscock, P. (2008) Experimental insights into alternative strategies of lithic heat treatment. *Journal of Archaeological Science* 35. 2634–2639.
- Mester Zs. (1989) A Subalyuk-barlang középső paleolitikus iparainak újraértékelése. In: *Folia Archaeologica XL.*, Magyar Nemzeti Múzeum, Bp. 99-106.
- Mester Zs. (2005) Le contexte archéologique du silex de l'Avas dans deux gisements de la montagne de Bükk. In: Ringer Árpád (Szerk.): *Praehistoria* Nr. 6. Miskolc. 33-46.
- Mester Zs. (2008) A Suba-lyuk vadászai: két kultúra, két világ. In: *A Suba-lyuk barlang Neander-völgyi ősember a Bükkben*, Bükki Nemzeti Park Igazgatóság, Eger. 2008/1. 85-98.
- Mester Zs. (2010) Új paleolitikutatók Eger környékén. in: *GESTA IX. A Miskolci Egyetem Történelemtudományi Intézetének elektronikus folyóirata*. 40-54.
- Mester Zs. (2013) The Lithic Raw Material Sources and Interregional Human Contacts in the Northern Carpathian Regions: Aims and methodology. in: Mester Zs. (Szerk.): *The Lithic Raw Material Sources and Interregional Human Contacts in the Northern Carpathian Regions*. Budapest. 9-23.
- Mester Zs., Faragó N., Lengyel Gy. (2012) The Lithic Raw Material Sources and Interregional Human Contacts in the Northern Carpathian Regions: A Research Program. *Anthropologie*, L/3. 275–293.
- Mester Zs., Kozłowski, J. K. (2012) Modes de contacts des Aurignaciens du site d'Andornaktálya (Hongrie) Á la Lumière de leur Économie particulière de matières premières. *ArchéoLogiques* 5. 349-367.
- Mészáros Gy., Vértes L. (1954) A Paint Mine from the Early Upper Palaeolithic Age Near Lovas (Hungary, County Veszprém) in: *Acta Archaeologica Hungarica* 5. Budapest. 1-34.
- Mészáros Gy. (1978) A kőkori ember piros festéke. in: Szombathy V. (Szerk.): *Régészeti barangolások Magyarországon*. 9-28.
- Meyer C., Fawakhir B. U. (1997) Insights into Ancient Egyptian Mining. in: *JOM: the journal of the Minerals, Metals & Materials Society* 49.(3). 64-67.

- Moody, D. (1976) Thermal Alteration Of Quartzite From Spanish Diggings, Wyoming - A Pre-Historic Quarry. Transactions of the Nebraska Academy of Sciences and Affiliated Societies. 8-11.
- Moser, M. (1978) Der vorgeschichtliche Bergbau auf Plattensilex in den Kalkschiefern der Altmühlalb und seine Bedeutung im Neolithikum Mitteleuropas. Archäologische Informationen 4. 45-81.
- Mourre, V., Villa, P., Henshilwood, C.S. (2010) Early Use of Pressure Flaking on Lithic Artifacts at Blombos Cave, South Africa. www.sciencemag.org SCIENCE. vol. 330.
- Nagy G. (2013) A miskolci Ávas Alsó-Szentgyörgy kőszközeinek statisztikai vizsgálata. Diplomamunka.
- Odgaard, U. (2007) The Fireplace as Centre of Life. in: Gheorghiu, Dragos-Nash, George (Szerk.): The Archaeology of Fire. Understanding Fire as Material Culture. ARCHAEOLOGIA Series Minor 23. Budapest. 61-84.
- Pápay L. (2006) Kristálytan, Ásvány-, Kőzettan. Szeged.
- Papp K. (1907-1908) Miskolcz környékének geológiai viszonyai, in: A Magyar Kir. Földtani Intézet Évkönyve, XVI. Kötet. Budapest. 89-136.
- Patou-Matis, M. (2002) Nouvelle analyse du matériel osseux du site de Lovas (Hongrie). Praehistoria Vol. 3. 161-176.
- Patou-Mathis, M., Vercoutère, C., Lengyel Gy., Szolyák P., Mester Zs. (2016) New Interpretation of the Upper Palaeolithic Human Occupations at Istállóskő Cave (Bükk Mountains, Hungary). in: Eurasian Prehistory, 13 (1–2). 77–90.
- Porat, N., Ronen, A. (2002) Luminescence and ESR Age Determinations of the Lower Paleolithic Site Evron Quarry, Israel. Advances in ESR Applications, vol. 18. 123-130.
- Renfrew, C., Bahn, P. (1999) RÉGÉSZET. Elmélet, módszer, gyakorlat. Budapest.
- Richter, D., Temming, H. (2006) Testing heated flint palaeodose protocols using dose recovery procedures. Sciens Direc, Radiation Measurements 41. 2006. 819 – 825.
- Richter, D., Alpers-Afil, N., Goren-Inbar, N. (2011) Employing TL methods for the verification of macroscopically determined heat alteration of flint artefacts from palaeolithic contexts. Archaeometry 53, 4. 842–857.
- Richter, D., Grün, R., Joannes-Boyau, R., Steele, T. E., Amani, F., Rué, M., Fernandes, P., Raynal, J.-P., Geraads, D., Ben-Ncer, A., Hublin, J.-J., McPherron, S. P. (2017) The age of the hominin fossils from Jebel Irhoud, Morocco, and the origins of the Middle Stone Age. in: Nature 546, 293–296 (08 June 2017)
- Richter, J. (1997) Der G-Schichtenkomplex der Sesselfelsgrötte zum Verständnis des Micoquien. Quarter-Bibliothec, Band 7, Sesselfelsgrötte III. Saarbrücker Druckerei und Verlag

- Richter, J. (2012) Das Levallois-Konzept Steinartefakte vom Altpaläolithikum bis in die Neuzeit, in: Harald Floss (Herausgeber) Kerns Verlag Tübingen. 227-236.
- Ringer Á. (1983) Bábonyien. Eine mittelpaläolithische Blattwerkzeugindustrie in Nordostungarn, Dissertationes Archaeologicae, Ser. II. No. 11, Budapest.
- Ringer Á. (1993) Északkelet-Magyarországi geomorfológiai szintek és régészeti adataik. Felsőpleisztocén folyóteraszok, löszök és barlangi üledékek kronosztratigráfiai rendszere. Kandidátusi disszertáció. I. kötet - Szövegrész. Miskolc.
- Ringer Á. (2003) Őskőkori kovabányászat és kovakő-feldolgozás a miskolci Avason. in: Veres László – Viga Gyula (Szerk.): A Herman Ottó Múzeum Évkönyve XLII. Miskolc. 5-15.
- Ringer Á. (2004) Old Stone Age Stone Mine, Miskolc, Avas Hill 2004-2005 excavations and its beginnings. in: RINGER Á. (Szerk): Praehistoria 4-5. 233-235.
- Ringer Á. (2011) Paleolithic chert mines on the Avas Hill in Bükk Mountains, North-East Hungary. in: Annales d'Université Valahia Targoviste, Section d'Archéologie et d'Histoire, Tome XIII, Numéro 2. 7-11.
- Ringer Á., Mester Zs. (2000) Résultats de la révision de la grotte Szeleta entreprise en 1999 et 2000., in: Anthropologiei (Brno) 38/3. 261-270.
- Ringer Á., Holló Zs. (2001) Sajószentpéter, Margit-kapu-dűlő, egy felső-paleolit lelőhely a Sajó völgyében. in: A Herman Ottó Múzeum Évkönyve 40. 63-70.
- Ringer Á., Lengyel Gy. (2001) Miskolc-Rózsás-hegy késő-paleolitikus leletei. in: A Herman Ottó Múzeum Évkönyve 40. 39-60.
- Ringer Á., Szakáll S. (2005) Palaeolithic stone raw material mining and processing on the Avas Hill of Miskolc. in: Ringer Árpád (Szerk.): Praehistoria Nr. 6. Miskolc. 23-32.
- Roebroeks, W., Villa, P. (2011) On the earliest evidence for habitual use of fire in Europe. PNAS, March 29, vol. 108, no. 13. 5209–5214.
- Rottländer, R. C. A. (2012) Entstehung und Verwitterung von Silices, in: Steinartefakte vom Altpaläolithikum bis in die Neuzeit, Harald Floss (Herausgeber) Kerns Verlag Tübingen. 93-99.
- Rowlett, Ralph (2007) Detecting Ancient Fires and Simple Fireplaces in the Old World. in: Gheorghiu, Dragos-Nash, George (Szerk.): The Archaeology of Fire. Understanding Fire as Material Culture. ARCHAEOLOGIA Series Minor 23. Budapest. 229-240.
- Rowney, M., White, J.P. (1997) Detecting Heat Treatment on Silcrete: Experiments with Methods. Journal of Archaeological Science 24. 649–657.
- Rösler, B. (1700) Speculum Metallurgiae Politissimum/Hell-polierten Berg-Bau-Spiegel. Drezda.

- Sajó I. E, Kovács J., Fitzsimmons, K.E., Jáger V., Lengyel Gy., Viola B. (2015) Core-Shell Processing of Natural Pigment: Upper Palaeolithic Red Ochre from Lovas, Hungary. *PLoS ONE* 10(7): e0131762.
- Salomon, H., Vignaud, C., Lahlil, S., Menguy, N. (2015) Solutrean and Magdalenian ferruginous rocks heat-treatment: accidental and/or deliberate action? *Journal of Archaeological Science* 55. 100-112.
- Schiegl, S., Thieme, H. (2007) Auf den Spuren des Feuers am Fundplatz Schöningen 13 II-4. Die Schöninger Speere: Mensch und Jagd vor 400 000 Jahren. 166-171.
- Schindler, D.L., Hatch, J.W., Hay, C.A., Bradt, R.C. (1982) Aboriginal Thermal Alteration of a Central Pennsylvania Jasper: Analytical and Behavioral Implications. *American Antiquity*, vol. 47, Issue 3, 526-544.
- Schmidt, P., Badau, A., Fröhlich, F. (2011) Detailed FT near-infrared study of the behaviour of water and hydroxyl in sedimentary length-fast chalcedony, SiO<sub>2</sub>, upon heat treatment. *Spectrochimica Acta Part A* 81, 552– 559.
- Schmidt, P., Porraz, G, Slodczyk, A., Bellot-Gurlet, L., Archer, W., Miller C.E. (2012/a) Heat treatment in the South African Middle Stone Age: temperature induced transformations of silcrete and their technological implications, *Journal of Archaeological Science*,
- Schmidt, P., Masse, S., Laurent, G., Slodczyk, A., Le Bourhis. E., Perrenoud, C., Livage, J., Fröhlich, F. (2012/b) Crystallographic and structural transformations of sedimentary chalcedony in flint upon heat treatment. *Journal of Archaeological Science* 39. 135-144.
- Schmidt, P., Léa, V. Sciau, Ph., Fröhlich, F. (2013) Detecting and quantifying heat treatment of flint and other silica rocks: a new non-destructive method applied to heat-treated flint from the neolithic chassey culture, southern France. *University of Oxford Archaeometry* 55. 794-805.
- Schmidt, P., Porraz, G., Bellot-Gurlet, L., February, E., Ligouis, B., Paris, C., Texier, J-P., Parkington E. J., Miller, E. C. Nickel G. K., Conard J. N. (2015) A previously undescribed organic residue sheds light on heat treatment in the Middle Stone Age. in: *Journal of Human Evolution*, 85. 22-34.
- Schmidt, P., Mackay, A. (2016) Why Was Silcrete Heat-Treated in the Middle Stone Age? An Early Transformative Technology in the Context of Raw Material Use at Mertenhof Rock Shelter, South Africa. in: *PLoS ONE* 11(2): e0149243.
- Schön, W. (2012) Veränderungen an Steinartefakten durch Wind, Hitze und Frost, in: *Steinartefakte vom Altpaläolithikum bis in die Neuzeit*, Harald Floss (Herausgeber) Kerns Verlag Tübingen. 101-104.
- Schréter Z. (1940) A miskolci Avas pincebeomlásai. in: *MÁFI Évi Jelentései 1933-35-ről*. 1741-1754.

- Schulz, M., E. (1980) Zur Genese und zum Chemismus des Feuersteins. 5000 Jahre Feuersteinbergbau – Die Suche nach dem Stahl der Steinzeit, Bochum Szerk: Gerd Weisgerber, Deutschen Bergbau-Museum Bochum. 21-26.
- Schyle, D. (2010) Der Lousberg in Aachen –Ein jungsteinzeitlicher Feuersteintagebau mit Beilklingenproduktion. Mainz am Rhein.
- Schyle, D., Matzerath, S. (2015) Rohstoffe aus der Tiefe. Früher Bergbau in Europa und Austauschnetzwerke im rheinisch-westfälischen Neolithikum. In: Revolution Jungsteinzeit: Archäologische Landesausstellung Nordrhein-Westfalen Gebundene Ausgabe – 1. 200-211.
- Seemayer M. (1929) A miskolci prehisztórikus lelőhelyek geológiai viszonyai. Jelentés a Borsod-Miskolci Múzeum részére az avasi prehisztórikus ásatások alkalmával végzett tanulmányokról. Manuscript.
- Simán K. (1979/a) Kovabánya az Avason. Herman Ottó Múzeum Évkönyv, 17-18. 87-102.
- Simán K. (1979/b) Régészeti ásatások és leletgyűjtések az Avason. in: Herman Ottó Múzeum Közleményei 17, Miskolc. 12-15.
- Simán K. (1986) Limnic quartzite mines in Northeast-Hungary. In: T. Biró Katalin (Ed.): Papers for the 1st International Conference on Prehistoric Flint Mining and Raw Material Identification in the Carpathian Basin. Budapest-Sümeg. 95-99.
- Simán K. (1995/a) The Korlát-Ravaszyuktető workshop site in North-Eastern Hungary (H4). *Archaeologia Polona*, vol. 33. 41-58.
- Simán K. (1995/b) Miskolc-Avas Hill - Prehistoric mine on the Avas Hill in Miskolc. In: Jaček Lech (Szerk.), *Archaeologia Polona* 33. 371-382.
- Sunseri, J.U., Delage, C. (2016) The Color of Transformation: Investigations into Heat Treatment of Natufian Artifacts from Hayonim Terrace (Israel). in: *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, Vol. 16, No. 3. 51-64.
- Sümegei P. (2001) A negyedidőszak földtani és öskörnyezettani alapjai. Szeged.
- Szentiványi J. (1972) A kőbaltás ember.
- Szolyák, P. (2009/a) New Radiocarbon Data with Stratigraphical, Climatic and Archaeological Contexts to the Palaeolithic Assemblage of the Herman Ottó Cave, Miskolc-Alsóhámar, Northeast Hungary. in: Ringer, Á. (Szerk): *Praehistoria* Vol 9-10. 213-224.
- Szolyák, P. (2009/b) Upper Palaeolithic Blade Cores and Flake Cores from the Herman Ottó Cave, Miskolc-Alsóhámar, Northeast Hungary. in: Ringer, Á. (Szerk): *Praehistoria* Vol 9-10. 225-240.
- Szolyák P., Mester Zs. (2011) Középső paleolitikus kaparó a miskolci Avas-hegyről (Görgey Artúr u. 4.) in: T. Biró Katalin - Markó András (Szerk.): *Emlékkönyv Violának - Tanulmányok T. Dobosi Viola tiszteletére*. 43-54.

- T. Biró K. (1995) Szentgál-Tűzköveshegy, Veszprém County. Catalogue of flint mines: Hungary. *Archaeologia Polona*, vol. 33. 402-408. Dokumentáció: T. Biró K.: <http://www.ace.hu/szentgal/b.html> 2017.06.30.
- T. Biró K. (1999) A kőanyag értékelése. in: Petercsák, T., Szabó J. J.(Szerk.): Kompol-Kistér. Újkőkori, bronzkori, szarmata és avar lelőhely. Leletmentő ásatás az M3-as autópálya nyomvonalán. Heves megyei Régészeti Közlemények. Eger. 255-278.
- T. Biró K. (2002) New data on the utilisation of Buda hornstone in the Early Bronze Age. in: Budapest Régiségei 36. 131-143.
- T. Biró K. (2008) Őskori bányászok a Kárpát-medencében. in: Ilon, G. (Szerk.): Régészeti nyomozások Magyarországon. 41-50.
- T. Biró K. (2010) Prehistoric mining in Hungary. — Őskori bányászat Magyarországon. A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése. 149-154.
- T. Biró K. (2011) Magyarországi Kovaközetek Kutatása. in: Archeometriai Műhely - Elektronikus folyóirat. 2011. VIII. 3. 1-8.
- T. Biró K., Pálosi M. (1986) A pattintott kőeszközök nyersanyagának forrásai Magyarországon (Sources of lithic raw materials for chipped artefacts in Hungary). *MÁFIJ* 1983 407–435.
- T. Biró K., Regénye J., Pusztai S., Thamóné Bozsó E. (2010) Előzetes Jelentés a Nagytevel-Tevel-Hegyi Kovabánya Ásatásának Eredményeiről. *Archaeologiai Értesítő* 135. 5–25.
- T. Dobosi V. (2006) Tűzhelyek Vértesszőlősön. in: *Archeometriai Műhely* 2006/3.1-7.
- T. Dobosi V. (2010) Az állati eredetű nyersanyagok felhasználása az őskőkorbán. Csont és bőr. Az állati eredetű nyersanyagok feldolgozásának története, régészete és néprajza. Budapest. 69-78.
- Tiffagom, M. (1998) Témoignages d'un traitement thermique des feuilles de laurier dans le Solutrén supérieur de la grotte du Parpalló (Gandia, Espagne)/Testimonios de un tratamiento térmico de las ojas de Laurel en el Solutrense superior de la cueva del Parpalló/Evidence for thermal treatment of Laurel Leaf points in the Upper Solutrean of the grotte du Parpalló. in: *Paléo. Revue d'Archéologie Préhistorique* 10. 147-161.
- Tixier, J., Inizan, M.-L. (2000) L'émergence des arts du feu: le traitement thermique des roches siliceuses. In: *Paléorient*. Vol. 26 N°2. 23-36.
- Tóth L. (1975) A Miskolci Ávas őskőkori problémái. in: A Herman Ottó Múzeum Évkönyve. 13-14. 31-64.
- Tóth, Z. H. (2011) Egy hőkezelési kísérlet a Rátka-hercegkövesi limnokvarciton. *Archeometriai Műhely* 2011/3. 9-13.
- Tóth, Z. H. (2016) Palaeolithic heat-treating in Northeastern-Hungary? An archaeometric examination of the possible use of fire-setting in Stone Age quarries in the Bükk Area. *Archaeologia Polona* 54. 129-135.
- Tóth Z. H. (in press): Vértés László munkássága a Miskolci Ávason. *Folia Archaeologica* 55.

- Tóth Z. H., Kristály, F. (2017) Egy igazi „tűzkő”: A fehér színű szeletai kvarcporfr archeometriai vizsgálata. in: Archeometriai Műhely 2017/XIV./2. 85-98.
- Van Peer, P., Vermeersch, P., M., Paulissen, E. (2010) Chert Quarrying, Lithic Technology and a Modern Human Burial at the Palaeolithic Site of Taramsa 1, Upper Egypt Egyptian Prehistory Monographs 5
- Vermeersch, P. M. (2002): Palaeolithic Quarrying Site sin Upper and Middle Egypt Egyptian Prehistory Monographs 4, Leuven.
- Vermeersch, P. M. (2005) Middle Palaeolithic Chert Extraction Structures in Egypt. in: PRAEHISTORIA Vol. 6. Miskolc 2005. 57-69.
- Vermeersch, P., M., Paulissen, E., Gijssels, G., Otte, M., Thoma, A., Van Peer, P., Lauwers, R. (1984) 33,000-yr old chert mining site and related *Homo* in the Egyptian Nile Valley. in: Nature vol 309. 342-344.
- Vermeersch, P. M., Paulissen, E., Van Peer, P. (1995) Palaeolithic chert mining in Egypt. Archaeologia Polona, vol. 33. 11-30.
- Vermeersch, P., M., Paulissen, E. (1997) Extensive Middle Palaeolithic Chert Extraction in the Qena Area (Egypt). Man and Flint Proceedings of the VIIth International Flint Symposium Warszawa – Ostrowiec Swietokrzyski September 1995. 133-142.
- Verri, G., Barkai, R., Bordeanu, C., Gopher, A., Hass, M., Kaufman, A., Kubik, P., Montanari, E., Paul, M., Ronen, A., Weiner, S., Boaretto, E., Lal Source, D. (2004) Flint Mining in Prehistory Recorded by in situ-Produced Cosmogenic 10 Be. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Vol. 101, (21), 7880-7884.
- Vértés L. (1955) Neuere Ausgrabungen und paläolithische Funde in der Höhle von Istállóskő. in: Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae 5. 111-131.
- Vértés L. (1964) Eine prähistorische Silexgrube am Mogyorósdomb bei Sümeg. Acta Arch Hung 16. Budapest. 187-215.
- Vértés L. (1965) Az őskőkor és az átmeneti kőkor emlékei Magyarországon. Budapest. 217-219.
- Vértés L. (1969/a) Kavics Ösvény.
- Vértés L. (1969/b) Őskori bányák Veszprém megyében. Lovas, a legősibb bánya; A sümegi ősbánya. Veszprém Megyei Múzeumi Igazgatóság. Veszprém.
- Viczián I. (1986) X-ray diffraction investigations of silica rocks. in: T. Biró (Szerk): International flint mining and lithic raw material identification conference in the Carpathian Basin. Budapest-Sümeg. 197-200.
- Vollbrecht, J. (1997) Untersuchungen zum Altpaläolithikum im Rheinland. Universitätsforschungen zur Prehistorischen Archäologie 38. Bonn
- Vörös I. (2000) Antler remains from the prehistoric flint mine of Denevér street (Farkasrét, Budapest). in: ERAUL 95. 2000. 117-124.



- Vörös I. (2007) Sümeg-Mogyorós dombi őskori kovabánya agancsleletei, in: T. Biró K. (Szerk.) *Archeometriai Műhely* 2007/1. 19-31.
- Weiner, J. (2012/a) Hitzebehandlung (Tempern), in: *Steinartefakte vom Altpaläolithikum bis in die Neuzeit*, Harald Floss (Herausgeber) Kerns Verlag Tübingen. 105-116.
- Weiner, J. (2012/b) Schlaggeräte aus Stein, in: *Steinartefakte vom Altpaläolithikum bis in die Neuzeit*, Harald Floss (Herausgeber) Kerns Verlag Tübingen. 141-146.
- Weiner, J. (2012/c) Klingenerzeugung im Neolithikum, in: *Steinartefakte vom Altpaläolithikum bis in die Neuzeit*, Harald Floss (Herausgeber) Kerns Verlag Tübingen. 689-716.
- Weiner, J. (2012/d) Feuerschlagsteine und Feuererzeugung, in: *Steinartefakte vom Altpaläolithikum bis in die Neuzeit*, Harald Floss (Herausgeber) Kerns Verlag Tübingen. 943-960.
- Weiner, J. (2012/e) Flintensteine, in: *Steinartefakte vom Altpaläolithikum bis in die Neuzeit*, Harald Floss (Herausgeber) Kerns Verlag Tübingen. 961-972.
- Weisgerber, G., Willies, L. (2001) The use of fire in prehistoric and ancient mining-firesetting in: Philippe Schuwer (Szerk.) *Paléorient*, vol. 26/2. 131-149.
- White, P., J. (1995) Hőkezelés: Ötvenezer éves technológia. Az első emberek. Az ember származása és őstörténete. Budapest. 176-177.
- Zhou, Z.Y, Guan, Y., Gao, X., Wang, C. (2013) Heat treatment and associated early modern human behaviors in the Late Paleolithic at the Shuidonggou site. *Chin Sci Bull*, 58. 1801-1810.
- Zschocke K., Preuschen, E. (1932) Das urzeitliche Bergbauggebiet von Mühlbach-Bischofshofen. In: *Materialien zur Urgeschichte Österreichs* 6. kötet. Bécs. 250 - 252.

## WEBOLDALAK

a)

Miller, J. (2010) Heat Treating Guide - with Temperature/Time/Thickness Table

[http://www.pugetsoundknappers.com/how\\_to/Heat%20Treating%20Guide%20with%20Table.html](http://www.pugetsoundknappers.com/how_to/Heat%20Treating%20Guide%20with%20Table.html) 2016.05.13.

b)

Storemyr, P.: Burning rock: Fire setting in the stone age Melsvik chert quarries.

<http://www.pasthorizonspr.com/index.php/archives/11/2013/burning-rock-fire-setting-stone-age-melsvik-chert-quarries> 2015.01.23.

c)

Storemyr, P.: The rhyolite quarries at Bomlo in Norway: Traces of fire setting in the Neolithic (Per Storemyr Archaeology & Conservation)

<https://per-storemyr.net/2015/10/11/the-rhyolite-quarries-at-bomlo-in-norway-traces-of-fire-setting-in-the-neolithic/> 2017.01.01.

d)

[http://www.canal-tv/video/cerimes/langda\\_1\\_herminette\\_de\\_pierre\\_polie\\_en\\_nouvelle\\_guinee.8557](http://www.canal-tv/video/cerimes/langda_1_herminette_de_pierre_polie_en_nouvelle_guinee.8557) 2015.10.10.

e)

Novaculit:

[https://www.youtube.com/watch?v=\\_D0m4kcAthU](https://www.youtube.com/watch?v=_D0m4kcAthU) 2016.12.12.

## MELLÉKLETEK

Melléklet I (Fotók): 122-143. old.

Melléklet II (Ábrák): 144-184. old.

Melléklet III (Táblázatok): 185-197. old.

Melléklet IV (Pásztázó elektronmikroszkópos felvételek): 198-207. old.

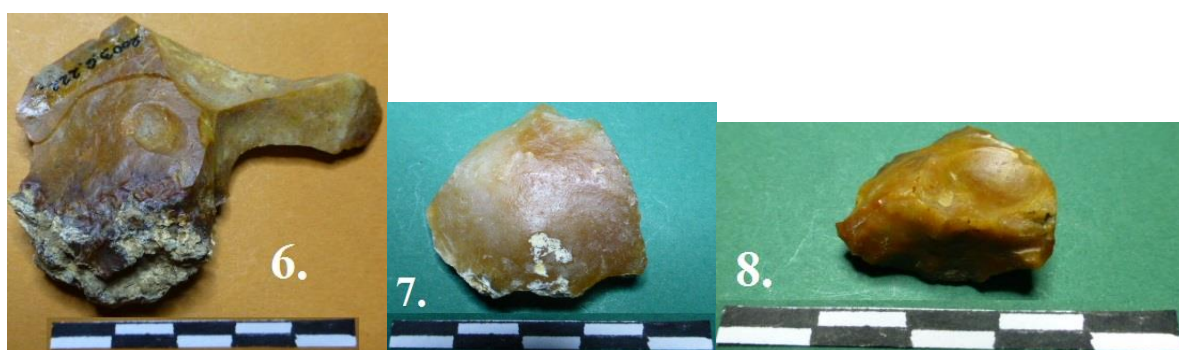
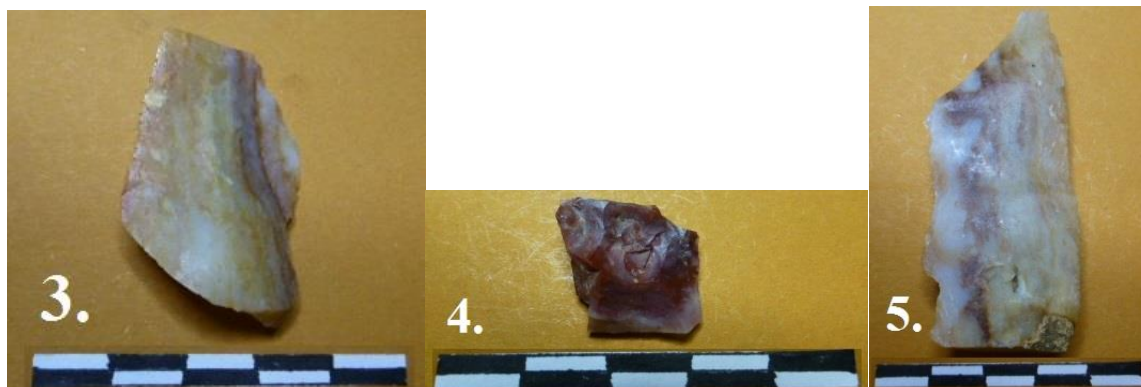
## MELLÉKLET I.

### FOTÓK

A fotókon látható paleolitok, kísérleti minták és paleolit eszközrekonstrukciók mellé helyezett, fekete-fehér színű méretarány hossza 5 cm. A felvételek készítője kevés kivétellel a dolgozat szerzője. Amelyeké nem, ott a készítő neve a magyarázó szöveg végén olvasható.



- 1. fotó.** *4,5 kg súlyú törött ütőkő hőhatásra utaló elszíneződéssel. A fekete vonal jelöli azt a síkot, ami mentén a lelet a hőhatással érintkezhetett.*



2. **fotó.** Termikus, vagy ahhoz hasonló stigmákat hordozó leletek 2002-es Miskolc, avastűzkövesi ásatásból. **1:** Kortexes, természetes zsírfényű avasi limnoszilit szilánk. Ltsz. 2003. 6. 609.; **2:** Zsírfényes felületű avasi limnoszilit szilánk a 2002-es ásatás leletanyagából. Mélység: 10-40 cm. Ltsz. 2003. 6. 126.; **3:** Részben bordó sávós avasi limnoszilit szilánk a 2002-es ásatás leletanyagából. Mélység: 20-30 cm. Ltsz. 2003. 6. 133.; **4:** Kisméretű, bordó avasi limnoszilit termikus törmelék kipattanások negatívjaival a 2002-es ásatás leletanyagából. Mélység: 40-60 cm. Ltsz. 2003. 6. 182.;

**5:** Vaskos avasi limnoszilit penge bázistörredéke bordó sávokkal a 2002-es ásatás leletanyagából. Mélység: 10-40 cm. Ltsz. 2003. 6. 203.; **6:** Összeilleszthető avasi limnoszilit dorzális termikus kipattanásos termikus kipattanás cortexmaradvánnyal (Ltsz. 2003. 6. 211.), és egy szilánktörredék a 2002-es ásatásból. Ltsz. 2003. 6. 222. Mélység: 75 cm.; **7:** Avasi limnoszilit termikus kipattanás dorzális oldalán cortexszel a 2002-es ásatás leletanyagából. Szórvány. Ltsz. 2003. 6. 235.; **8:** Avasi limnoszilitből készült apró csúcsos kaparó termikus kipattanás negatívjával, zsírfényű felülettel a 2002-es ásatás leletanyagából. Nem tájolt. Szórvány. Ltsz. 2003. 6. 253.; **9:** Avasi limnoszilitből készült ívelt élű kaparó, ívelt termikus repedés mentén törött, lapos, pattintási stigmamentes ventrális oldalú szilánktörredéken, zsírfényű dorzális felülettel a 2002-es ásatás leletanyagából. Mélység: 10-40 cm. Ltsz. 2003. 6. 255.; **10:** Avasi limnoszilit szilánk ventrális lapja, barna és bordó sávokkal a 2002-es ásatás leletanyagából. 20-30 cm. Ltsz. 2003. 6. 345.; **11:** Avasi limnoszilit nyersanyag-törredék vörös sávokkal a 2002-es ásatás leletanyagából. Megtalálás helye: 6. négyzet, mélység: 69 cm.



**3. fotó.** Kovapad fejtési kísérlet: A Tűzkövesről származó limnoszilit-pad töredéke





**4. fotó.** Kovapad fejtési kísérlet: A Tűzkövesről származó limnoszilit-pad töredéke, vésővel és kalapáccsal eltávolított kortexszel.



**5. fotó.** Kovapad fejtési kísérlet: A Tűzkövesről származó limnoszilit-pad töredéke, vésővel és kalapáccsal eltávolított kortexszel, felülnézetből.



**6. fotó.** Kovapad fejtési kísérlet: a limnoszilicit-padon hasító-szerűre csorbult ütőkő.



**7. fotó.** Kovapad fejtési kísérlet: a limnoszilicit-pad darabolása során tönkrement ütőkövek.





**8. fotó.** Kovapad fejtési kísérlet: A Tűzkövesről származó limnoszilicit-pad töredéke, és a vasgolyó ütőkő, felülnézetből.



**9. fotó.** A törésteszt eredménye. A bal oldali oszlopban az első, a jobb oldaliban a második nyersanyagtömb darabjai láthatók.



**10. fotó.** *Tüzelőanyag-összehasonlító kísérlet. Bal oldalt a száraz trágyával, jobbra a friss csonttal táplált tűz látható.*



**11. fotó.** *Tüzelőanyag-összehasonlító kísérlet leégett tüzei. Bal oldalt a száraz trágyával, jobbra a friss csonttal táplált tűz maradványai láthatók.*

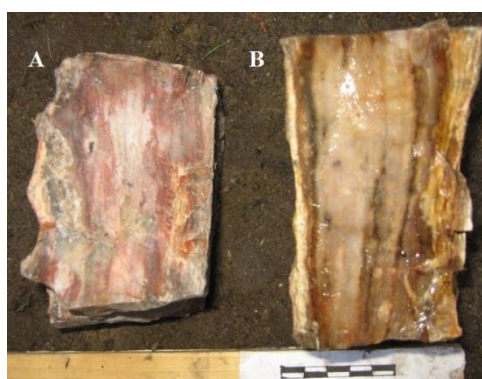




**12. fotó.** *Tüzes hőkezelési kísérlet. A Ringer Árpád elképzelése szerint végrehajtott sütés két, rekonstrukciós égetéséhez több mint 1 m<sup>3</sup> tűzifa volt szükséges*



**13. fotó.** *Tüzes hőkezelési kísérlet. Az áthevített, lehűlt „kovapad”.*



**14. fotó.** Tüzes hőkezelési kísérlet. A nyomószilárdság-méréshez mintákat szolgáltató, 2013-ban végzett mérőműszeres terepi kísérlet során kb. 250° C-on hőkezelt (A, elvörösödött felületű) és nyers (B, nedves felületű) avasi limnoszilicitek.



**15. fotó.** Sütési kísérlet. A szétpattant felső padmintá.





**16-19. fotók.** Sütési kísérlet. A szétpattant, ép, de helyenként termikus stigmákat mutató felső padminta.





**20. fotó:** GyöngyöSOROSZIBÓL SZÁRMAZÓ LIMNOSZILICIT HŐKEZELÉSE SORÁN KELETKEZETT TERMIKUS KIPATTANÁS NEGATÍVJA (BALRA) ÉS TERMIKUS KIPATTANÁS VENTRÁLIS FELE (JOBBRA).



**21. fotó.** Tábortűz kísérlet. Az egyes mintadarabok jellemzése a kísérlet leírásában olvasható.



**22. fotó.** *Tábortűz kísérlet; a túlhevített, tönkrement minták. Az egyes mintadarabok jellemzése a kísérlet leírásában olvasható.*



**23. fotó.** *Tábortűz kísérlet; néhány, jellegzetesen elszíneződött minta.*



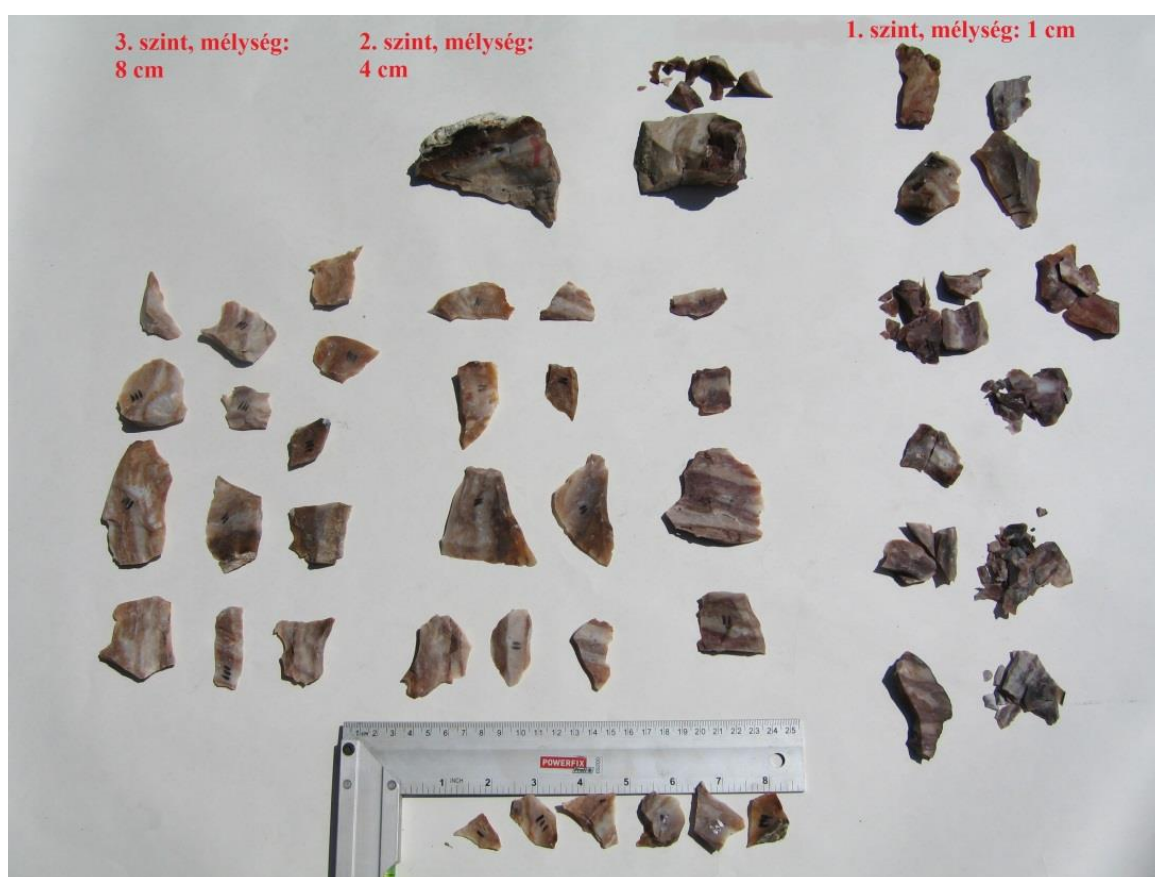


**24. fotó.** Gyöngyösesorosi-Döglút; tűzrakó hely, a tábor tűz hőjétől elszíneződött limnoszilit-tömbök.



**25. fotó.** Venyige kísérlet. A tűzhely alá függőlegesen elhelyezett avasi limnoszilit-minták.





**26-27. fotó.** Venyige kísérlet. A tűzhely alá több rétegben, különböző mélységekben elhelyezett avasi limnoszilit-minták a tűz leégése után. Az 1. szint mintái túlégtek, a legalsó szint mintái nem mutatnak termikus stigmákat. A középső szint több mintáján, illetve a függőlegesen elhelyezett nagyobb méretű minták felső részein elszíneződés figyelhető meg.



**29. fotó.** „Hőingadozás” laboratóriumi kísérlet eredménye: jól megfigyelhető a baloldali mintán keletkezett, rácsos szerzetű repedésháló.



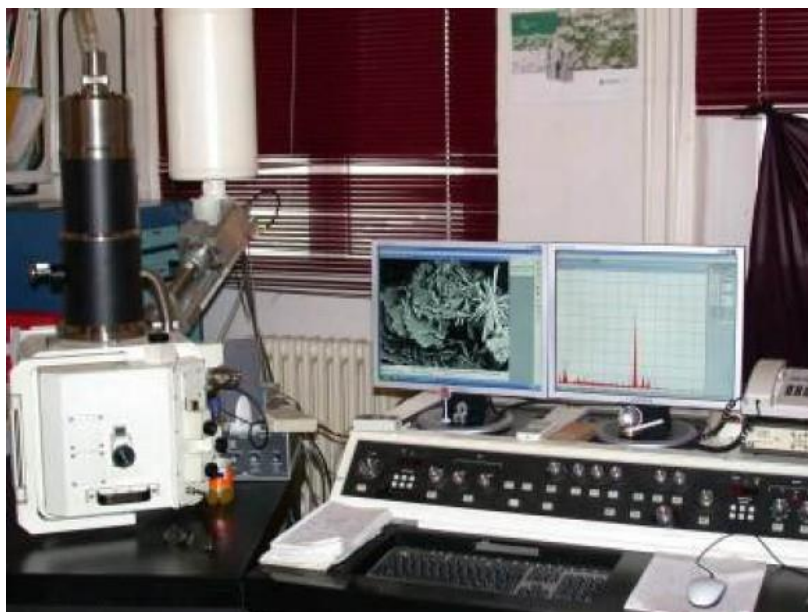
**30. fotó.** Enyhén vöröses színbe fordult avasi limnoszilit, laboratóriumi hőkezelő kemencében 260 °C után 360 és 500 °C-on hőkezelve. Mivel az első hőkezelés során a minta pórusaiból és szövetszerkezetéből minden víz távozott, így a nyersanyag a magasabb hőfokú hőkezelések során sem repedt el.



**31. fotó.** Bruker D8 Advance (Cu-K $\alpha$  sugárzás, 40 kV-40 mA generátor menet) röntgenpordiffrakciós (XRD) készülék (Fotó: Kristály Ferenc)



**32. fotó.** MOM Derivatograph-C, termoanalitikai mérőműszer. Max. 1100 °C, 5°C/min, 10 °C/min, 20 °C/min; 0,05-0,5 g minta, levegő, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>. (Fotó: Kristály Ferenc)



**33. fotó.** Zeiss EVO MA10 típusú Pásztázó Elektronmikroszkóp (*W*-filamentum, 20 kV gyorsítófeszültség, 10-20 nA közötti mintaáram, Au vezető réteggel bevont mintafelület) (Fotó: Kovács Árpád)



**34. fotó.** Fourier-transzformációs infravörös spektroszkóp, reflexiós – ATR-FTIR (Fotó: Molnár Zoltán)



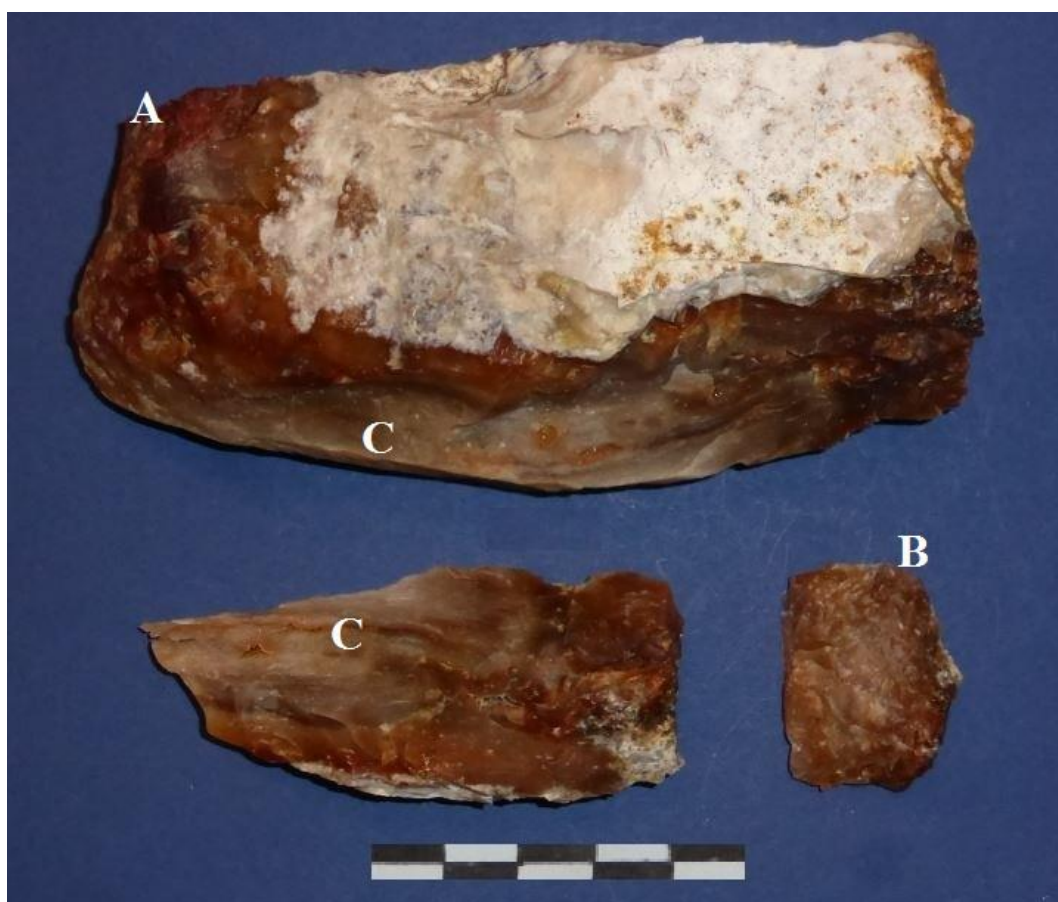


**35. fotó.** Válogatás a 2002-es ásatás leletanyagában 10-40 cm mélység között talált, hőhatásra elszíneződött avasi limnoszilicit „szórvány”-leletekből.



**36. fotó.** A termikus stigmák felismerésének problémái ugyanazon az avasi limnoszilicit-változaton belül. Jelölések: Természetes állapotú nyersanyagdarabról hosszirányban, frissen leütött szilánk (A). Hasonló szilánkból pattintott bifaciális hegy (B). A nyomószilárdság-

méréshez mintákat szolgáltató, 2013-ban végzett mérőműszeres terepi kísérlet során kb. 250° C-on hőkezelt nyersanyagdarabról hosszirányban leütött, enyhe zsírfényű szilánk (C) és egy hasonló szilánkból készített, zsírfényű bifaciális hegy (D). Utóbbi kettőn a (X) fotón megfigyelhető vöröses elszíneződés már nem érzékelhető, a goethit-hematit átalakulás nem ment végbe. Természetes állapotú nyersanyagdarabról keresztirányban 8 évvel ezelőtt leütött és a szabadban teljesen kifakult szilánk (E) és egy hasonló szilánkból készült bifaciális hegy (F). A természetes állapotú, hibamentes nyersanyag is jól megmunkálható.



**37. fotó.** A süttött avasi limnoszilit termikus osztályozásának problémái I. Süttéses kísérlet eredménye avasi limnosziliten, felülnézet: a tűz a kortextrétegen égett. Jelölések: A: lerobbant kortextréteg alatti, a hő hatására enyhén elvörösödött terület. B: A kortex alatti, nyers állapotban is zsírfényű, a nyersanyagtömb nagy részénél magasabb víztartalmú, a hő hatására szétrepesztett, megmunkálásra alkalmatlan terület. C: Felismerhető termikus stigmát eredményező hőhatástól mentes, a tömb teljes tömegének kb. 90 %-át kitevő, a további megmunkálásra alkalmas nyersanyag.





**38. fotó.** A süttött avasi limnoszilicit termikus osztályozásának problémái II. Sütéses kísérlet eredménye avasi limnosziliciten, oldalnézet: a tűz a kortextrétegen égett. Jelölések: A: lerobbant kortextréteg alatti, a hő hatására enyhén elvörösödött terület. B: A cortex alatti, nyers állapotban is zsírfényű, a nyersanyagtömb nagy részénél magasabb víztartalmú, a hő hatására szétrepedezett, megmunkálásra alkalmatlan terület. C: Felismerhető termikus stigmát eredményező hőhatástól mentes, a tömb teljes tömegének kb. 90 %-át kitevő, további megmunkálásra alkalmas nyersanyag.



**39. fotó.** Nyers állapotú avasi limnoszilicit szilánkok.

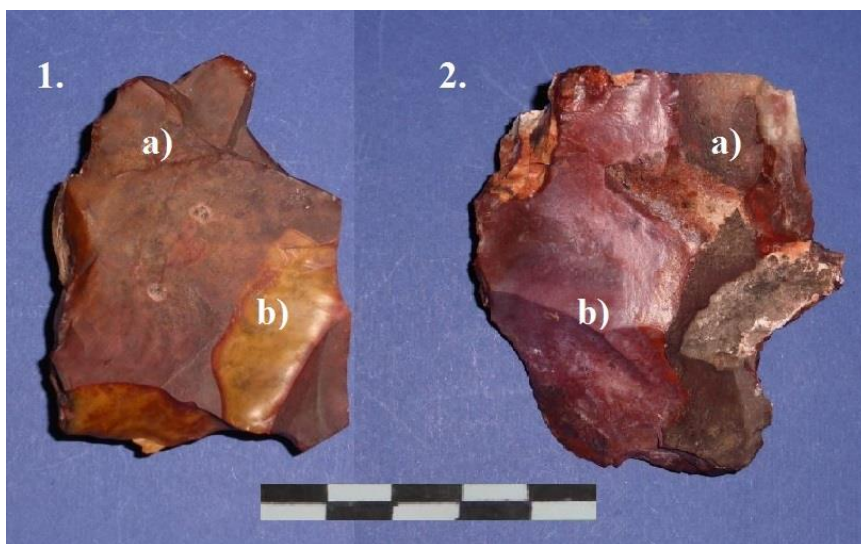


**40. fotó.** 2013-ban Ringer & Szakáll 2006 alapján rekonstruált körülmények között hőkezelt avasi limnoszilicit szilánkok és törmelék.



**41. fotó.** Nyers (balra) és hőkezelt (jobbra) mátrai limnoszilicit szilánkok ugyanarról a magkőről. Utóbbin megfigyelhető a nyers darabétól markánsan eltérő, zsírfényű, élénk színű, sima felület.





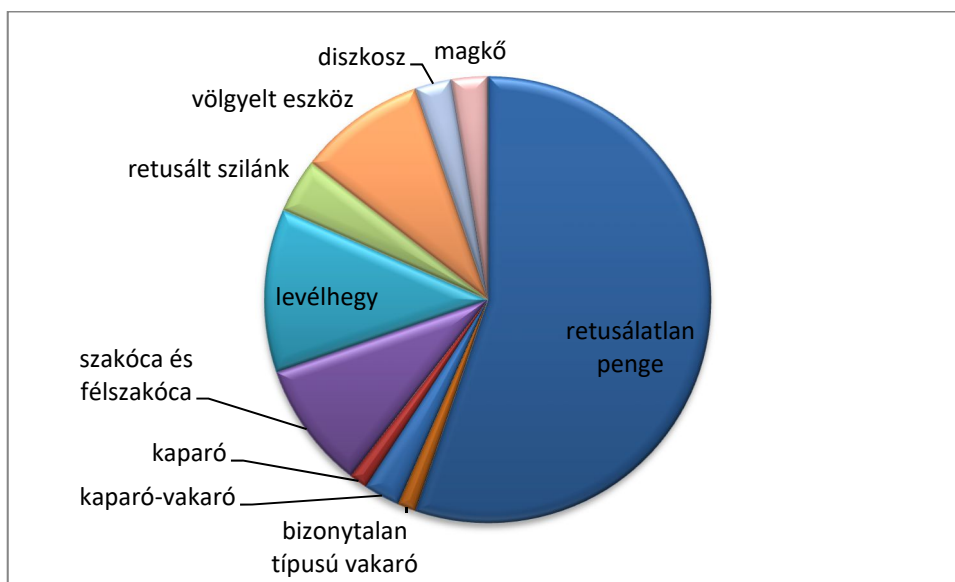
**42. fotó.** Egy időben, parázssal hőkezelt mátrai limnoszilicitek. a): a hőkezelt nyersanyagokra általában jellemző, mattá vált felszín. b) a hőkezelt nyersanyagokra általában jellemző, zsírfényű negatívok. Míg az 1. darab a felszín alatt megőrizte eredeti színét, a 2. számú darabban teljesen végbement a goethit hematittá történő átalakulása. Ez a különbség összefügghet a kémiai kötések erősségével és a nyersanyagdarab – parázs távolsággal a hőkezelő gödörben. A színváltás nem tekinthető a hőkezelt/hőkezelődött kőeszköz-nyersanyagok általános stigmájának.



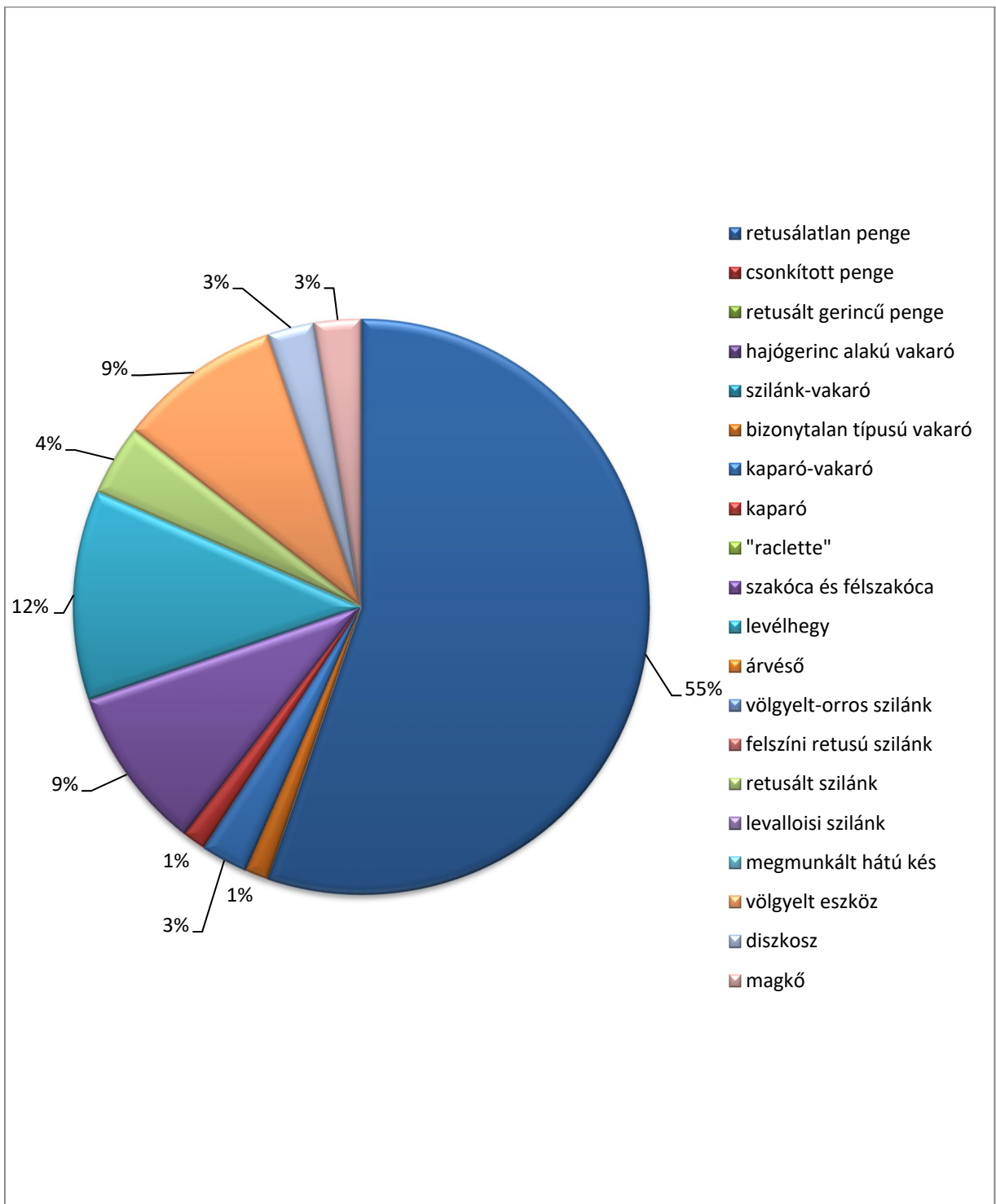
**43. fotó.** Egy kőeszköznyersanyag-lelőhelyről származó nyers, barnás (1.) és vöröses színű (2.), valamint (3-5.) parázssal hőkezelt, különböző mértékben elszíneződött és zsírfényes felületű mátrai limnoszilicitek. A színváltáshoz hasonlóan a zsírfényes felület sem tekinthető a hőkezelt/hőkezelődött kőeszköz-nyersanyagok általános stigmájának, az elváltozás csak kivételes esetekben egyértelmű: 6.:nyers Krumlovski Les kova; 7. parázssal hőkezelt Krumlovski Les kova.

## MELLÉKLET II.

### ÁBRÁK



**3. ábra.** *Miskolc-Avas, Tréky-Török szőlő ásatása során előkerült paleolit leletanyag típus szerinti eloszlása*



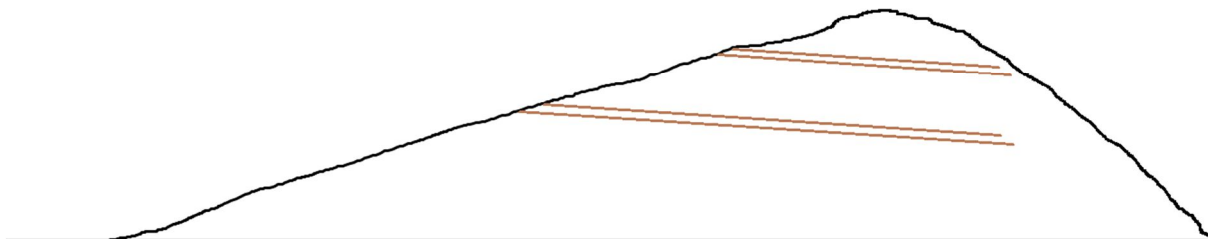
4. ábra. Miskolc-Avas, Alsószentgyörgy szőlő ásatása során a felszínen gyűjtött paleolitik leletanyag típus szerinti eloszlása



Miskolc Avas-Tűzköves kovafejtőinek vázlatos képe 1.

Az ember megérkezése előtt

✦ Avasi kovapadok



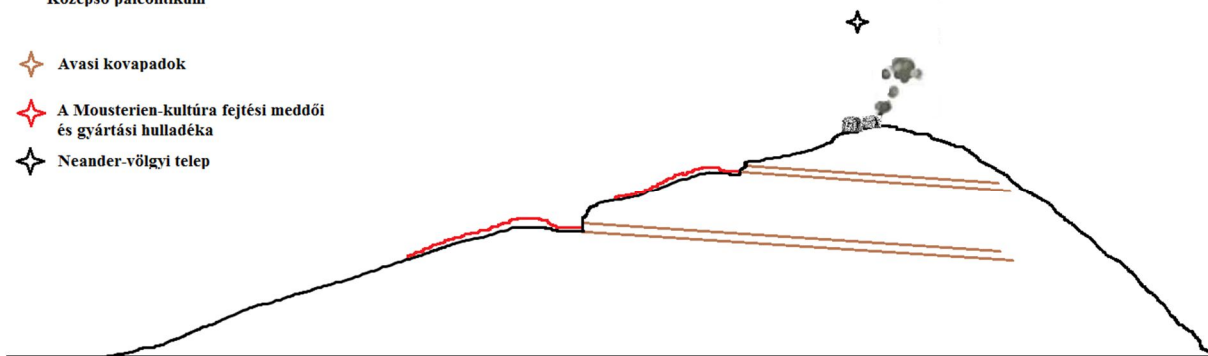
Miskolc Avas-Tűzköves kovafejtőinek vázlatos képe 2.

Középső paleolitikum

✦ Avasi kovapadok

✦ A Mousterien-kultúra fejtési meddői és gyártási hulladéka

✦ Neander-völgyi telep



Miskolc Avas-Tűzköves kovafejtőinek vázlatos képe 3.

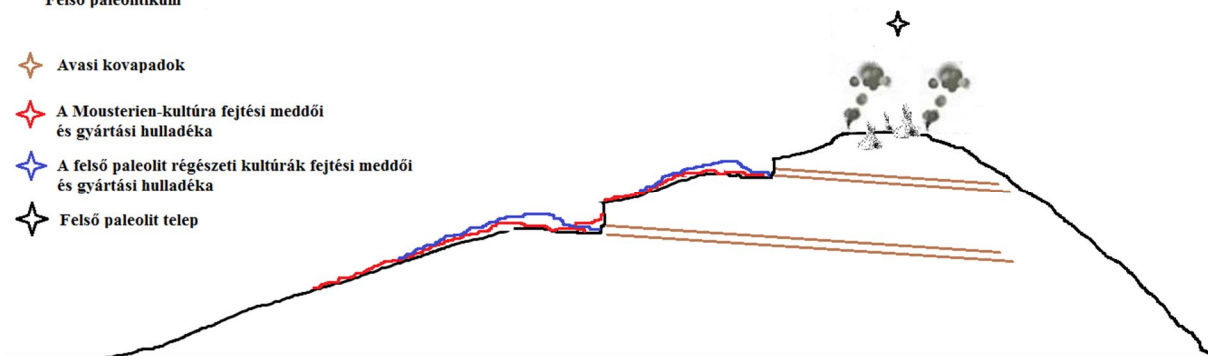
Felső paleolitikum

✦ Avasi kovapadok

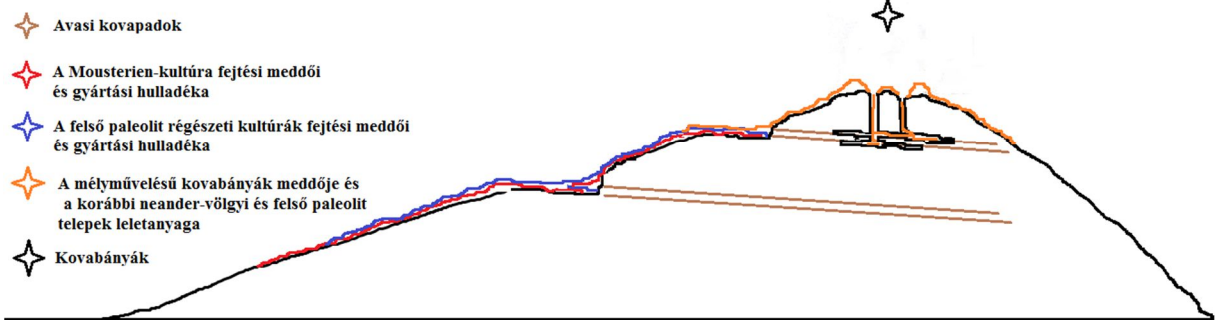
✦ A Mousterien-kultúra fejtési meddői és gyártási hulladéka

✦ A felső paleolitik régészeti kultúrák fejtési meddői és gyártási hulladéka

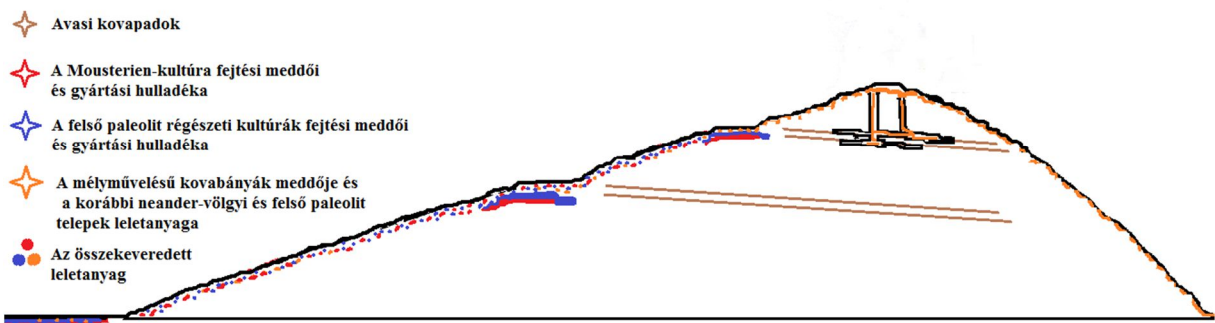
✦ Felső paleolitik telep



Miskolc-Avas-Tűzköves kovafejtőinek vázlatos képe 4.  
Neolitikum/Rézkor



Miskolc-Avas-Tűzköves kovafejtőinek vázlatos képe 5.  
Legújabb kori mezőgazdasági művelés (pl. mélyszántás)  
és természetes talajmozgások (pl. földcsuszamlások)

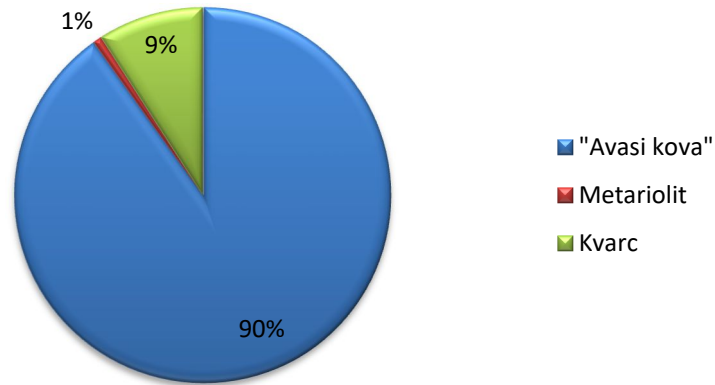


6. ábra. Az Miskolc-Avashegy területén végzett régészeti kutatások eredményei alapján rekonstruált lejtőmozgások vázlatos rekonstrukcióját bemutató ábrásor



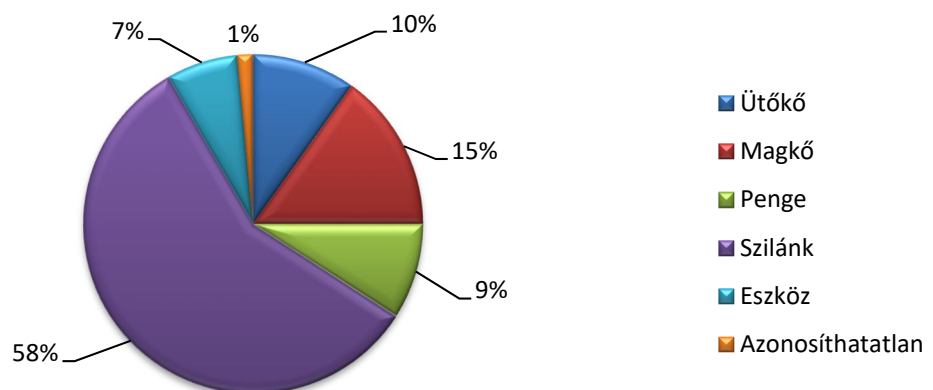
7. ábra. Miskolc, Avas-Tető, a legkorábbi nagy volumenű emberi területrendezés, a mélyművelésű kovabányák ásatási anyagának vizsgálati eredményei I.

### Nyersanyagtípusokszázalékos eloszlása Hillebrand Jenő avasi ásatási anyagában



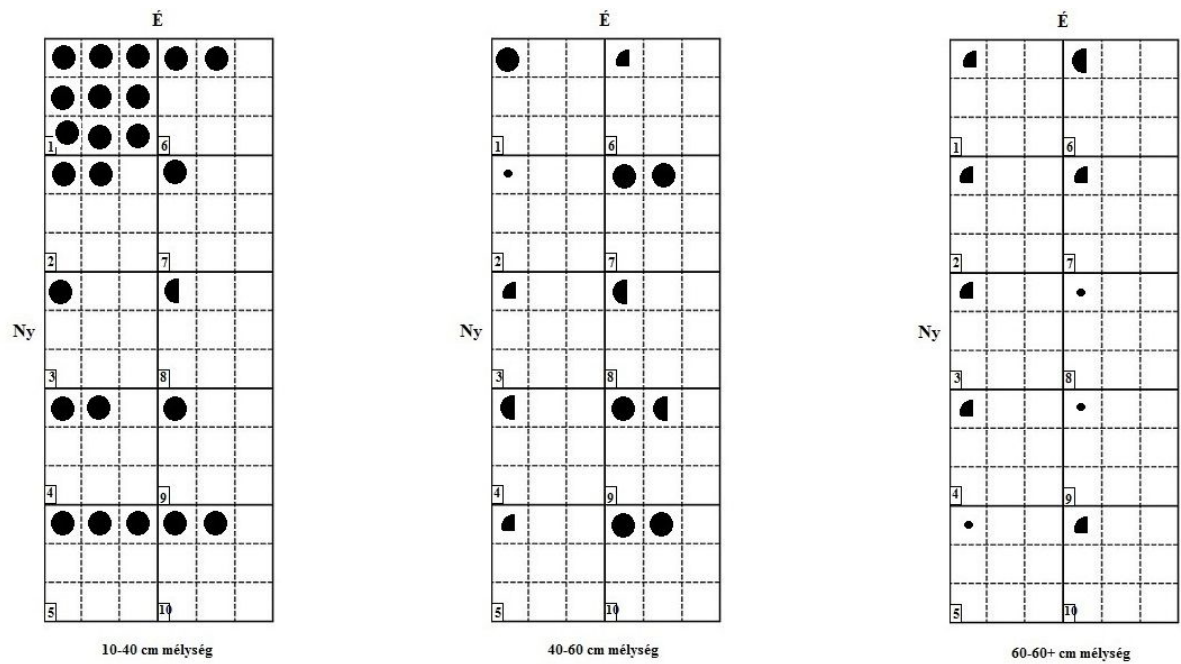
8. ábra. Miskolc, Avas-Tető, a legkorábbi nagy volumenű emberi területrendezés, a mélyművelésű kovabányák ásatási anyagának vizsgálati eredményei II.

### A leletek típusainak százalékos eloszlása Hillebrand Jenő avasi ásatási anyagában

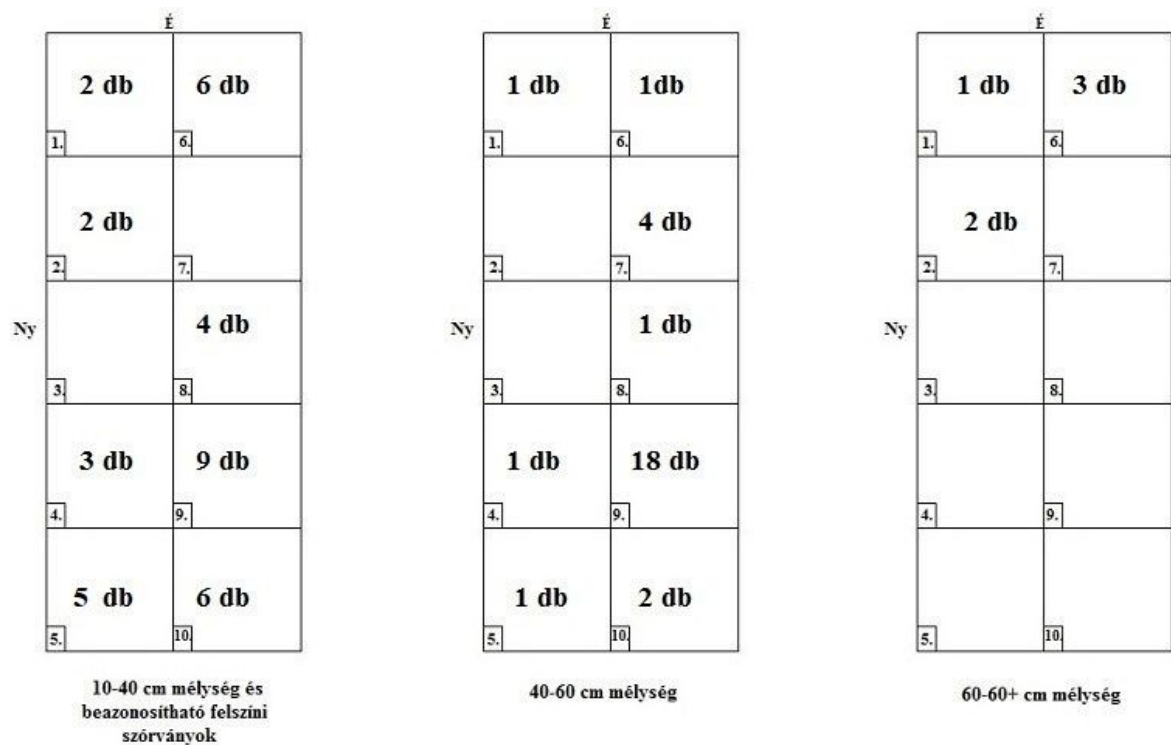


9. ábra. Miskolc, Avas-Tető, a legkorábbi nagy volumenű emberi területrendezés, a mélyművelésű kovabányák ásatási anyagának vizsgálati eredményei III.



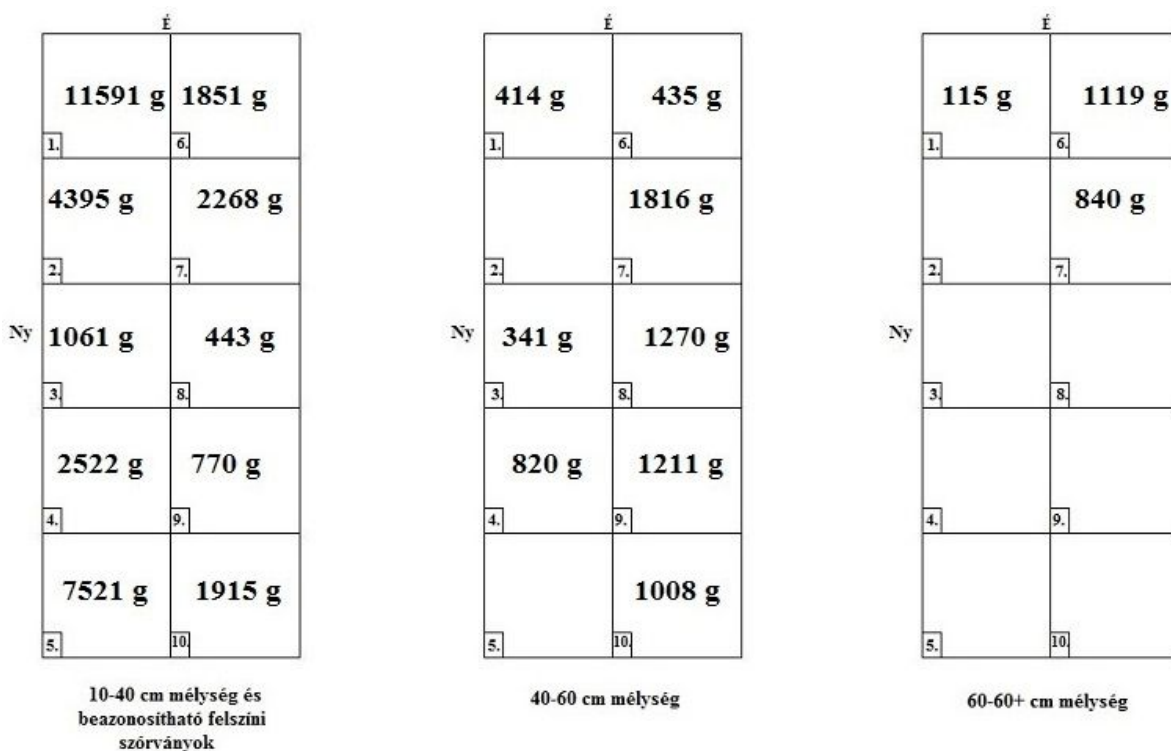


10. ábra. Az összes paleolit és festék eloszlása a 2002-es ásatási szelvény különböző mélységeiben.

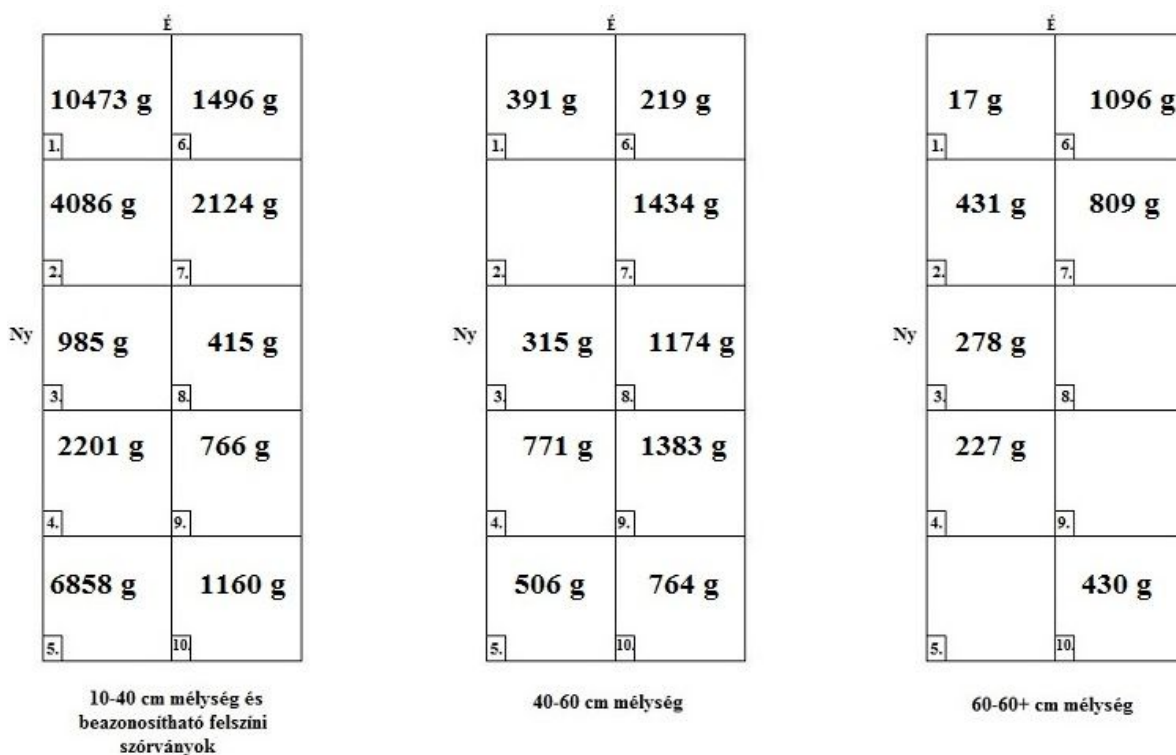


11. ábra. Magkövek eloszlása a 2002-es ásatási szelvény különböző mélységeiben.

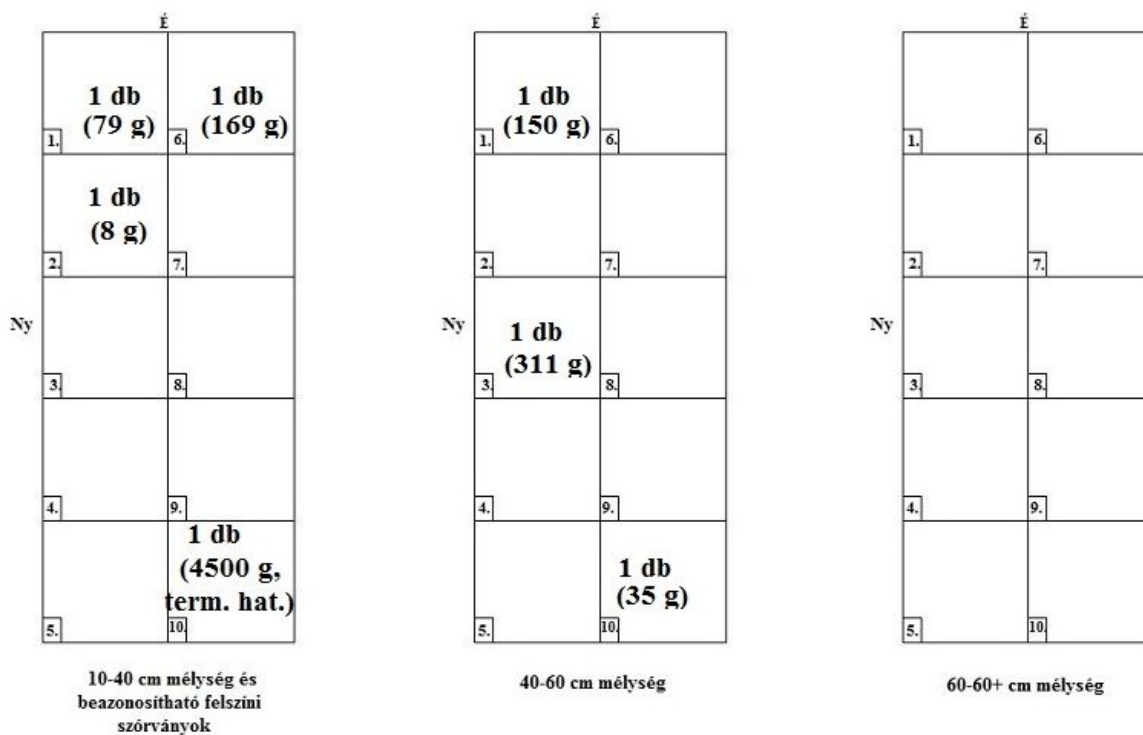




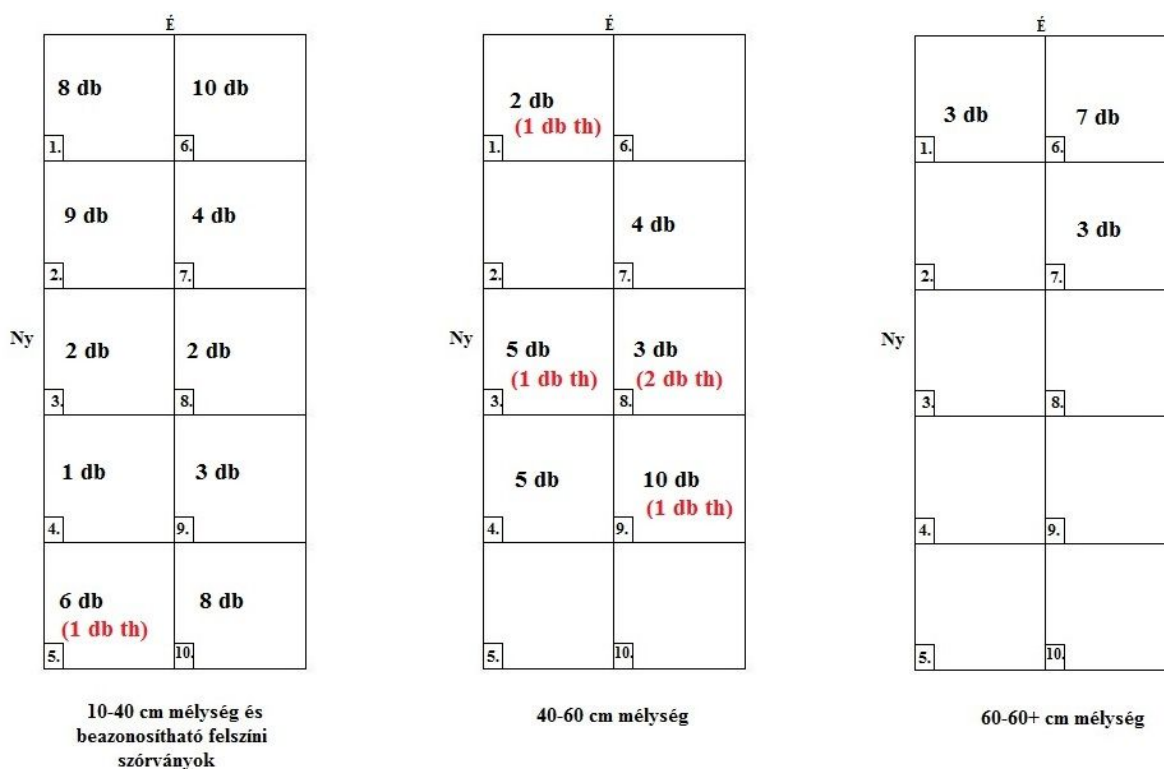
12. ábra. Kortexes avasi kova törmelékek súly (g) szerinti eloszlása a 2002-es ásatási szelvény különböző mélységeiben.



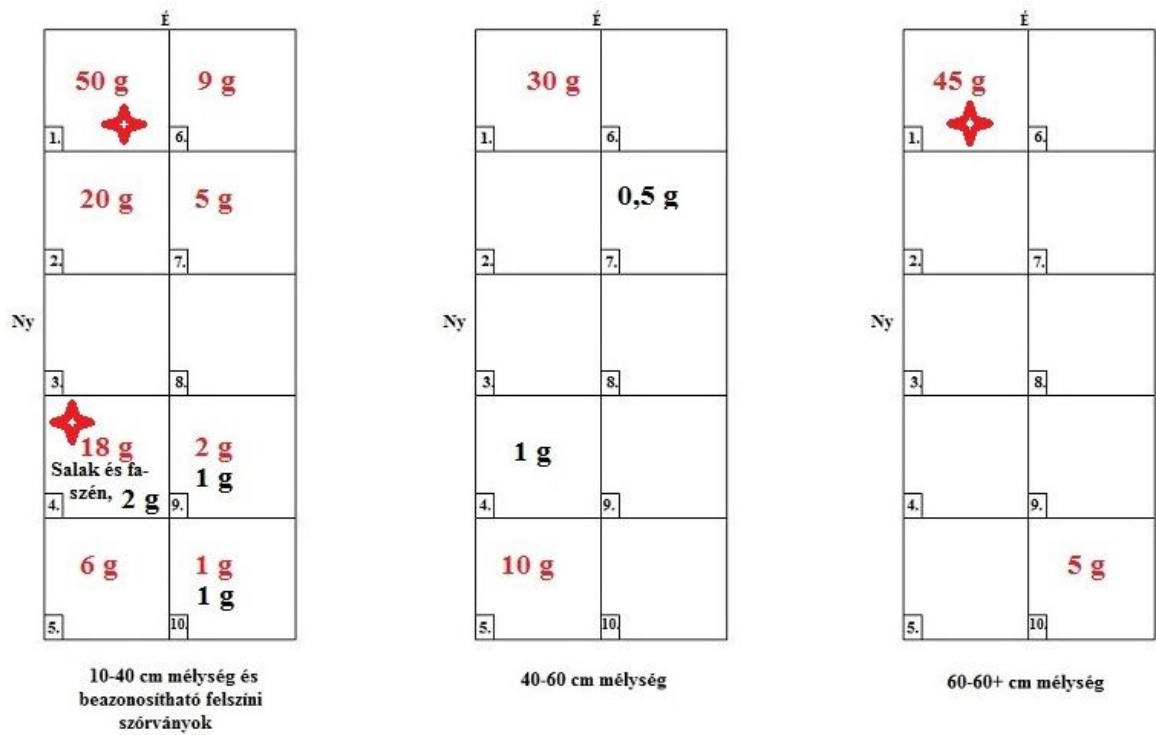
13. ábra. Opálos törmelékek eloszlása a 2002-es ásatási szelvény különböző mélységeiben.



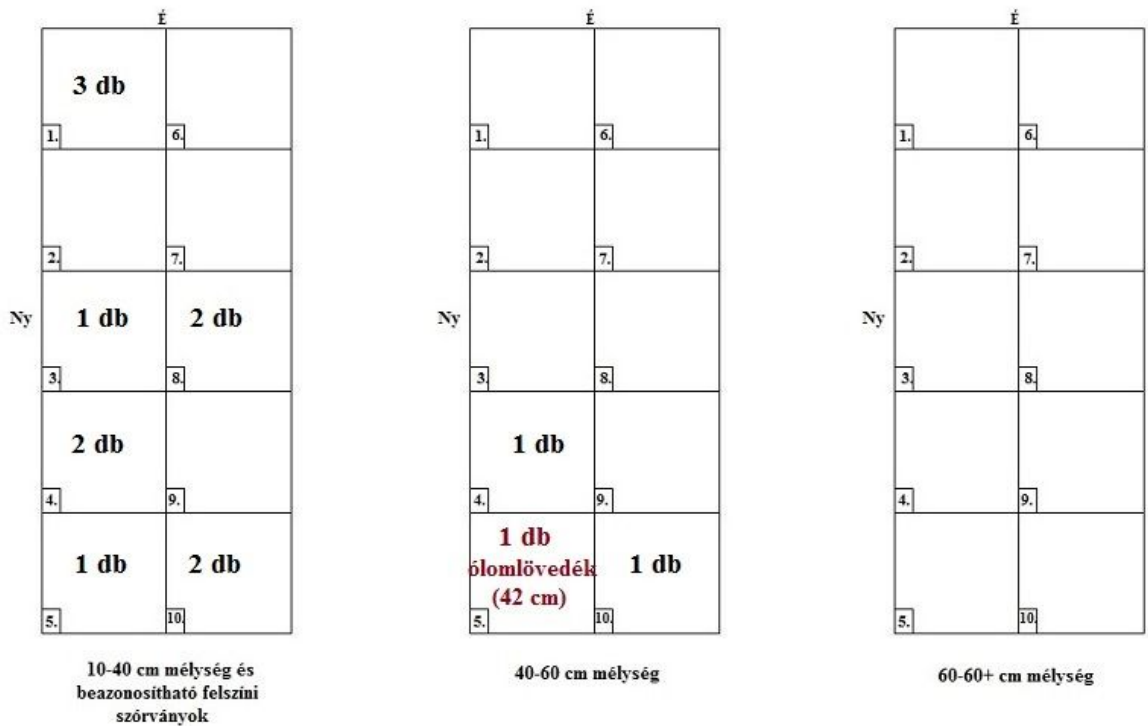
14. ábra. *Ütőkövek eloszlása a 2002-es ásatási szelvény különböző mélységeiben.*



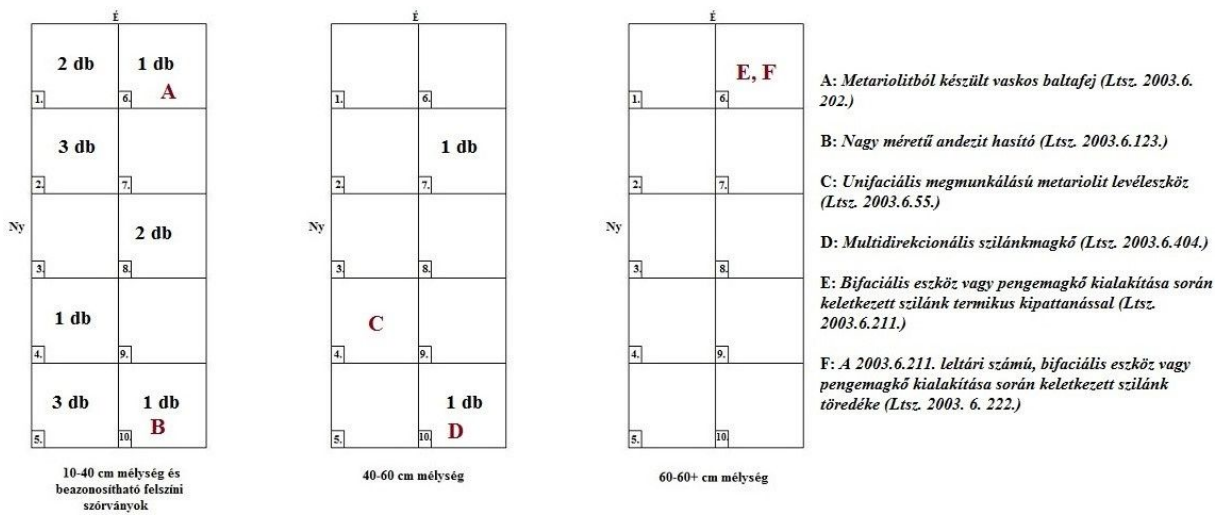
15. ábra. *Metariolitok elhelyezkedése a 2002-es ásatási szelvény különböző mélységeiben. Vörös színnel a fehérre égett darabok lettek megjelölve.*



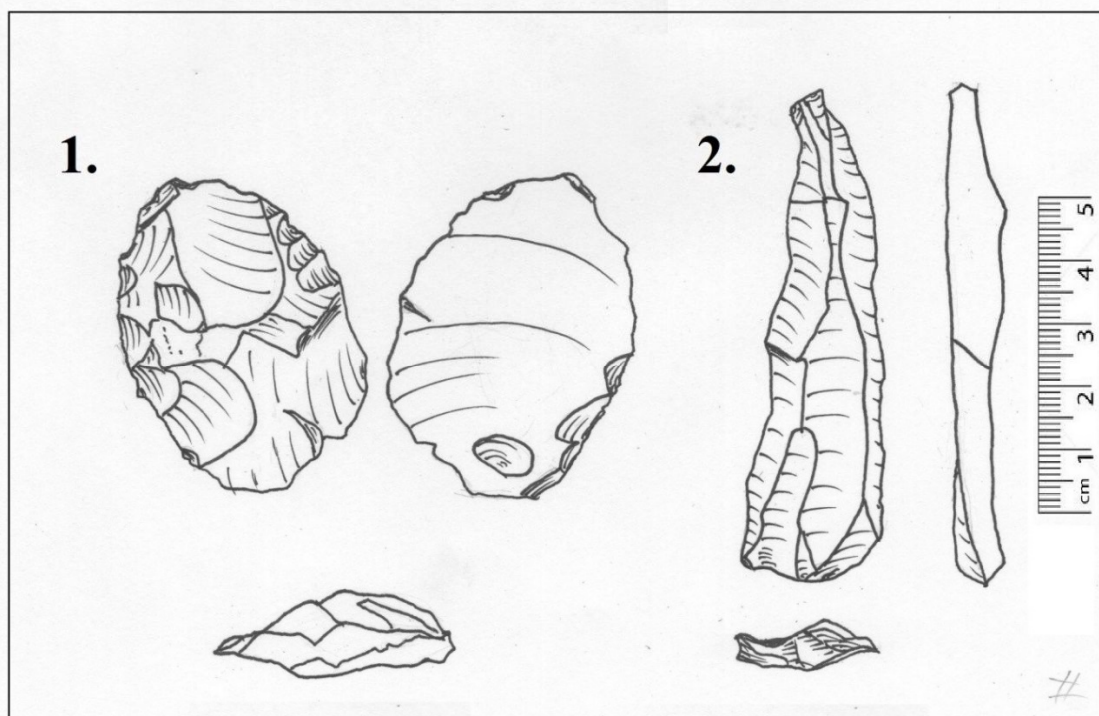
16. ábra. Festékek és faszén eloszlása a 2002-es ásatási szelvény különböző mélységeiben. A vörösés/bordó színű festékdarabkák előkerülési helyei piros csillaggal lettek megjelölve.



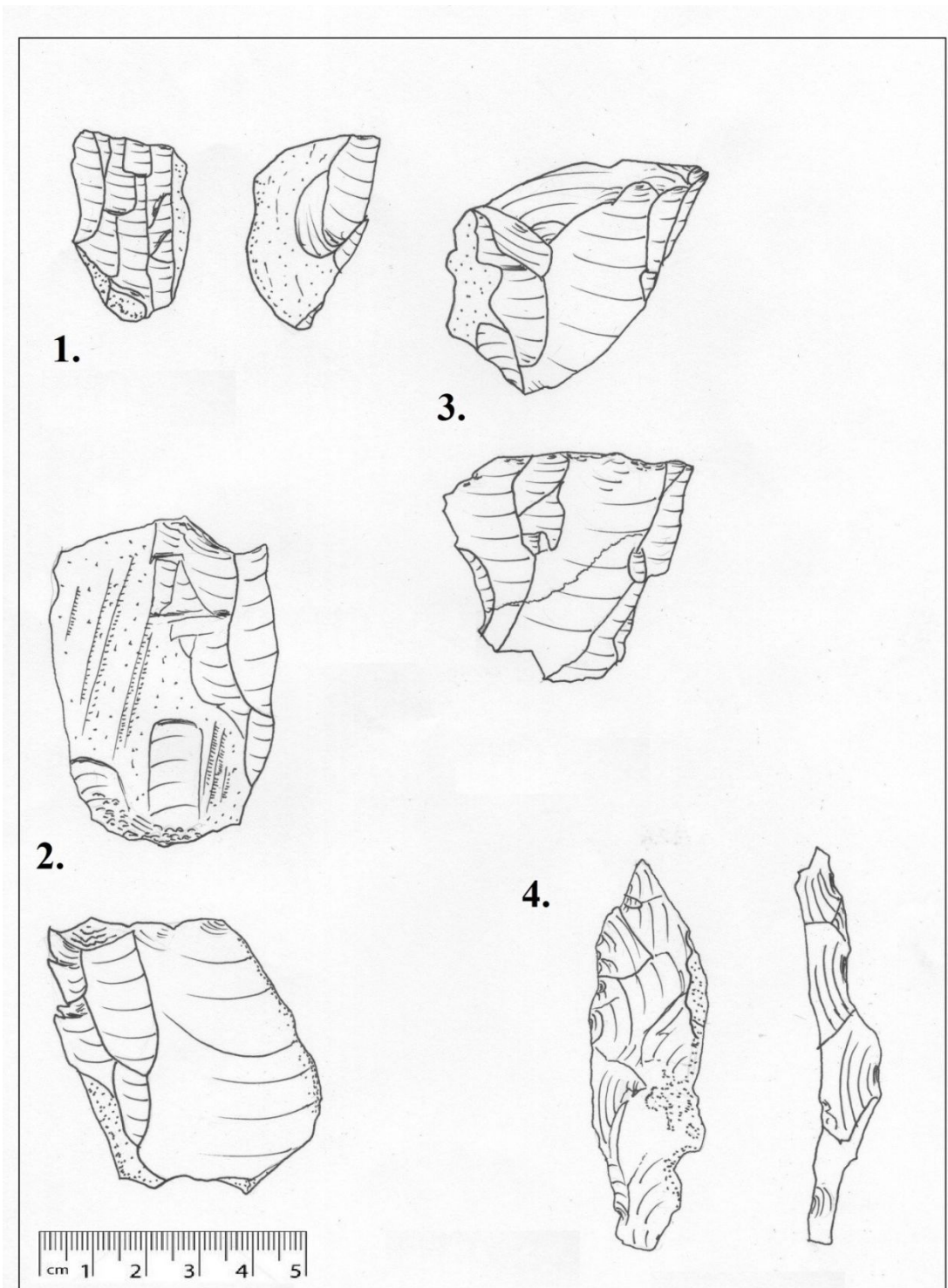
17. ábra. Újkori leletek eloszlása a 2002-es ásatási szelvény különböző mélységeiben.



18. ábra. Levallois és néhány más, lehetséges középső paleolit technológiájú lelet eloszlása a 2002-es ásatási szelvény különböző mélységeiben.

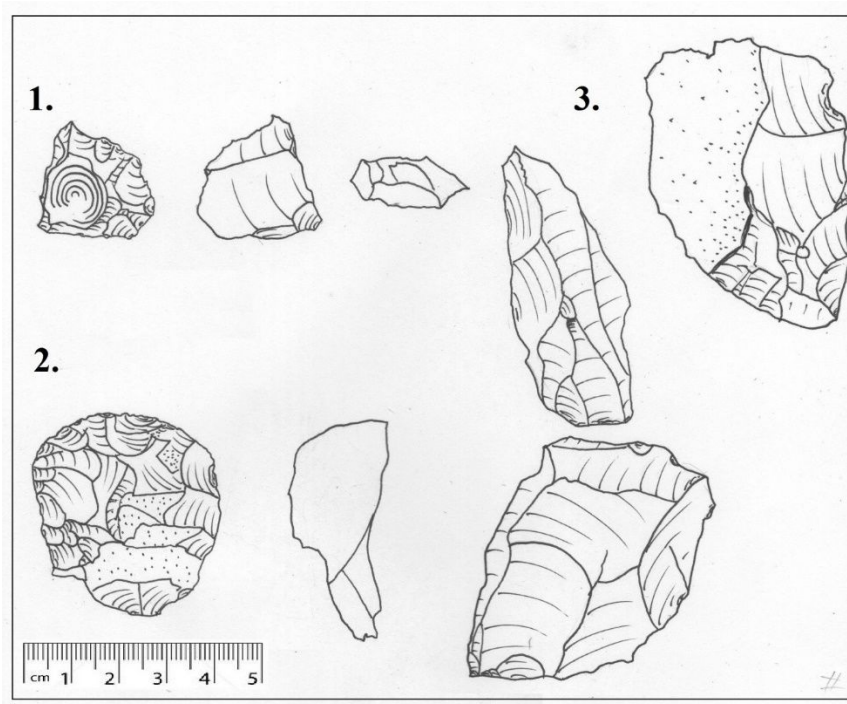


19. ábra. A 2002-es ásatáson előkerült középső paleolit leletek. Jelmagyarázat: 1. Metariolit kaparó (Ltsz. 2003. 6. 55.); 2. Dièdre/kétlapú talonú, avasi limnoszilitből készült levallois penge (Ltsz. 2003. 6. 58.)

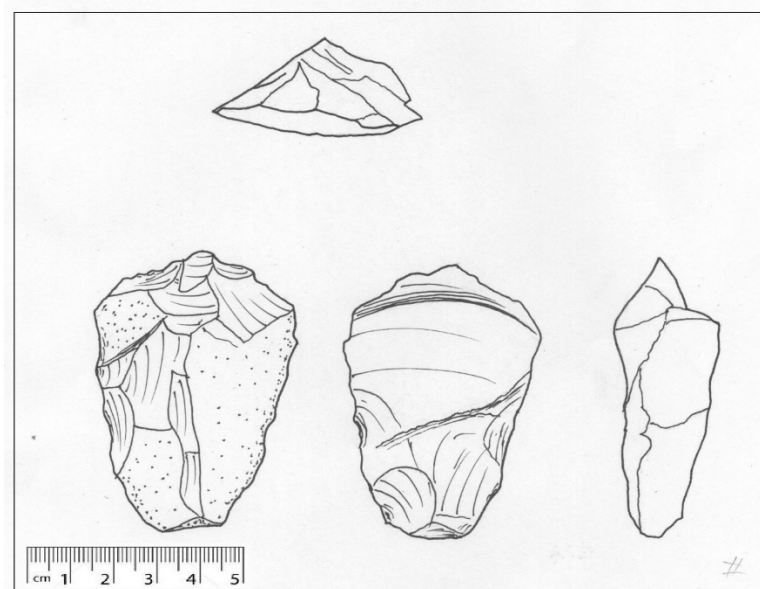


**20. ábra.** A 2002-es ásatáson előkerült középső- és felső paleolit leletek. Jelmagyarázat: 1. Barna görgetett radiolarit kavicsból készült felső paleolit lamellamagkő (Ltsz. 2003. 6. 98.); 2. Ütőkőként használt felső paleolit metariolit magkő (Ltsz. 2003. 6. 205.); 3. Kimerült avasi limnoszilit pengemagkő (Ltsz. 2003. 6. 553.) 4. Avasi limnoszilit gerincpenge, két darab, keresztirányú levallois szilánknegatívval. (Ltsz. 2003. 6. 551.) Méretarány: 1:1





**21. ábra.** A 2002-es ásatáson előkerült középső- és felső paleolit leletek. Jelmagyarázat: 1. Denticulé eszköz termikus kipattanásos, zsírfényes felületű avasi limnoszilit szilánkon (Ltsz.: 2003. 6. 251.); 2. Aurignacien jellegzetességeket mutató, kortexes pengeszerű szintelen, áttetsző avasi limnoszilit szilánkból készült, aszimmetrikus kidolgozású vakaró-kaparó kombinációjú eszköz (Ltsz. 2003. 6. 178.); 3. Aurignacien jellegű talpas kaparó, melyet erős hőhatás ért (Ltsz.: 2003. 6. 140.)

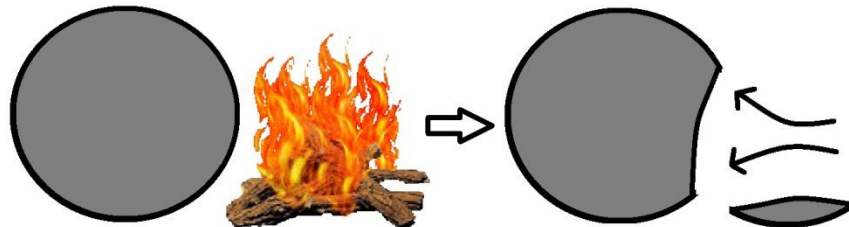


**22. ábra.** Valószínűleg középső paleolit metariolit baltafej. (Ltsz.: 2003. 6. 202.)

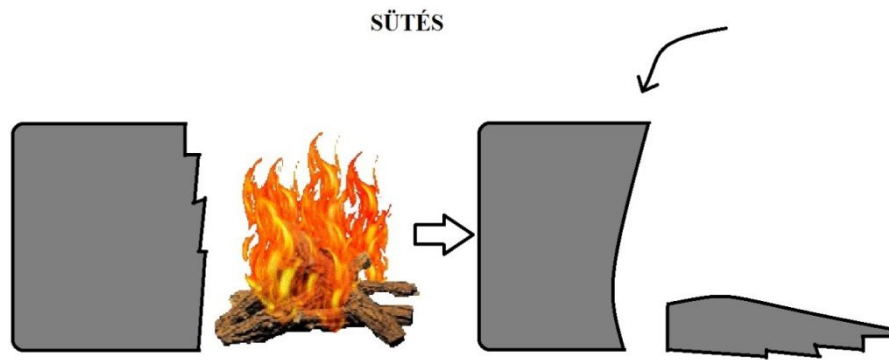


**23. ábra.** A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett régészeti feltárás során talált, nem avasi limnoszilitből készült paleolitik nyersanyag-megoszlása

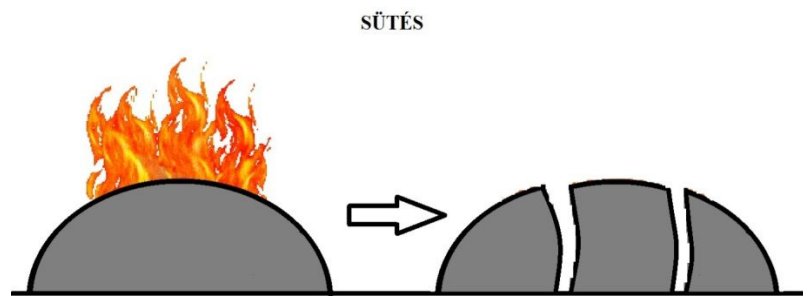
SÜTÉS



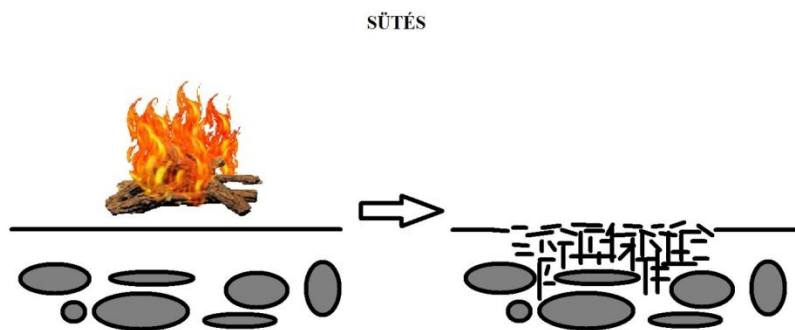
**24. ábra.** Leütési felszín kialakítása domború nyersanyagtömbön, fő tömegének roncsolása nélkül sütéssel. A nyersanyagtömb mentes az ütéses megmunkálást akadályozó repedésektől és Hertz-kúpoktól. A lerobbantott darab egy része is felhasználható eszközkészítésre. A termikus törmelékét nem ábráztuk.



**25. ábra** A nyersanyagtömb további megmunkálását akadályozó leütési hibák (lépcsők) eltávolítása sütéssel a leütési felszín és a nyersanyagtömb fő tömegének roncsolása nélkül. A nyersanyagtömb mentes az ütési megmunkálást akadályozó repedésektől és Hertz-kúptól. A lerobbantott darab egy része is felhasználható eszközkészítésre. A termikus törmeléket nem ábrázoltuk.

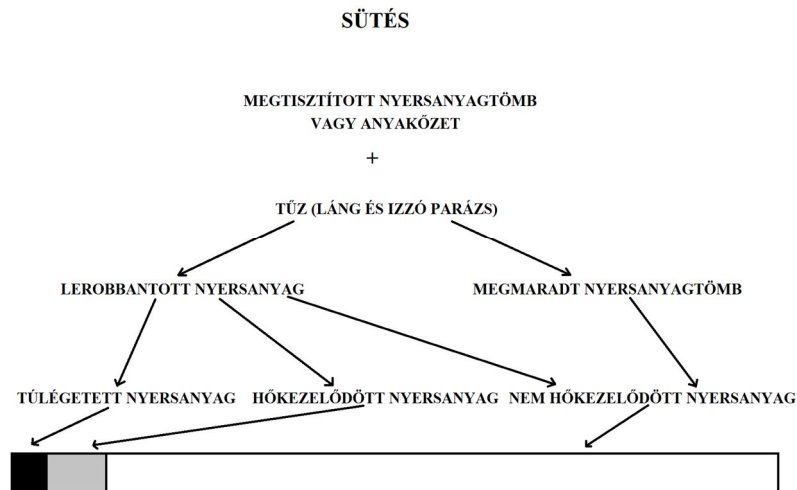


**26. ábra.** Nagyméretű nyersanyagtömb szétrepesztése sütéssel könnyen megmunkálható darabokra. A termikus törmeléket nem ábrázoltuk.

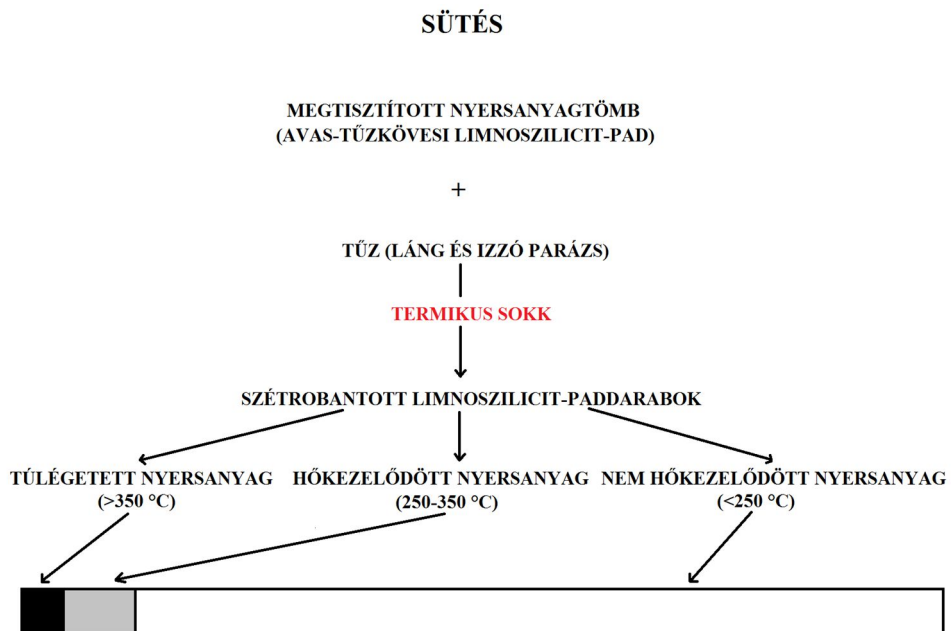


**27. ábra.** A kőszköz-nyersanyagot magába foglaló kemény anyagközet felaprózása (esetleg fagyott talaj felolvasztása), porózussá tétele sütéssel.





**28. ábra.** A sütés nyersanyagra gyakorolt hatását bemutató sematikus ábra.



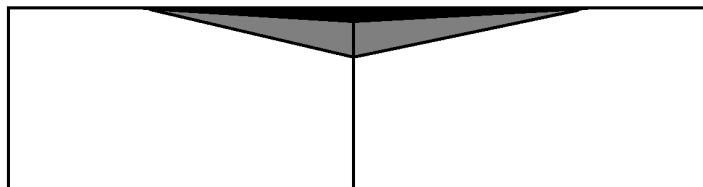
**29. ábra.** A Miskolc, Avas-Tűzkövesen feltételezett sütési technológiának a limnoszilicitre gyakorolt hatását bemutató sematikus ábra.

## SÜTÉS

(AVAS-TŰZKÖVESI LIMNOSZILICIT-PAD)

/a

TŰZ



- TŰLÉGETETT NYERSANYAG (>350 °C)
- HŐKEZELŐDÖTT NYERSANYAG (250-350 °C)
- NEM HŐKEZELŐDÖTT NYERSANYAG (<250 °C)

**30. ábra.** *Sematikus ábra a sütés alkalmazásáról az avasi limnoszilicit-padokon; első változat. A termikus sokk hatására repedések (függőleges vonal) keletkeztek az áthevített nyersanyagban. Ezek továbbfuthattak a pad hőhatás által nem érintett részeibe is, megkönnyítve a kifejtésüket.*

## SÜTÉS

(AVAS-TŰZKÖVESI LIMNOSZILICIT-PAD)

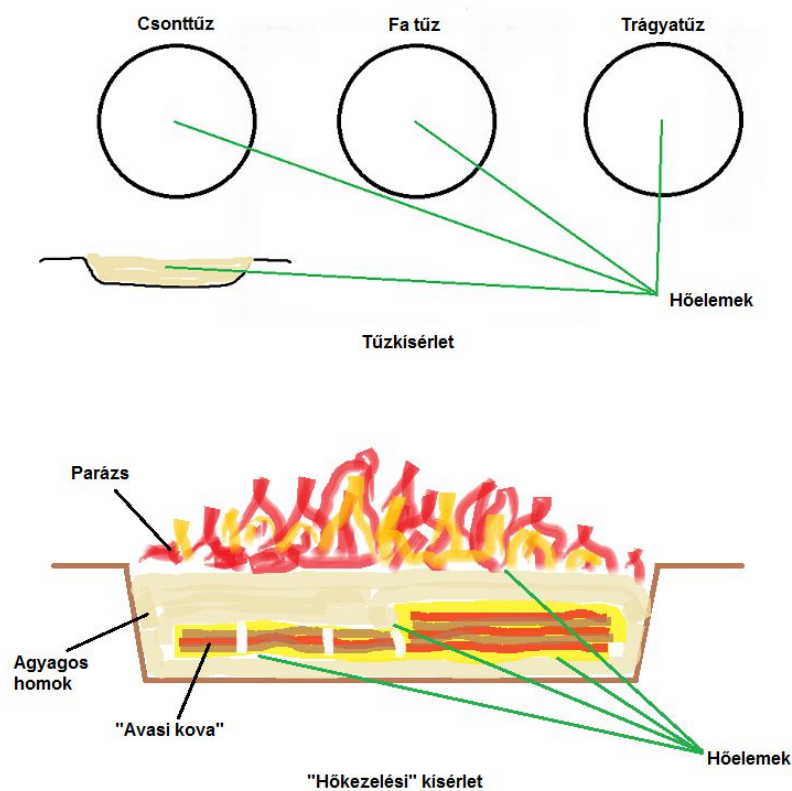
/ b

TŰZ

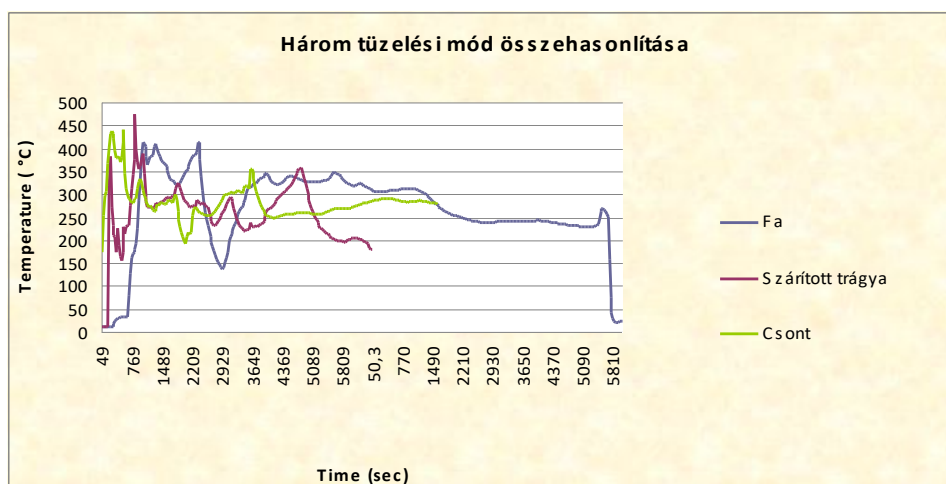


- MAGAS VÍZTARTALMÚ, LEROBBANTOTT KORTEXRÉTEG
- HŐKEZELŐDÖTT NYERSANYAG (250-350 °C)
- NEM HŐKEZELŐDÖTT NYERSANYAG (<250 °C)

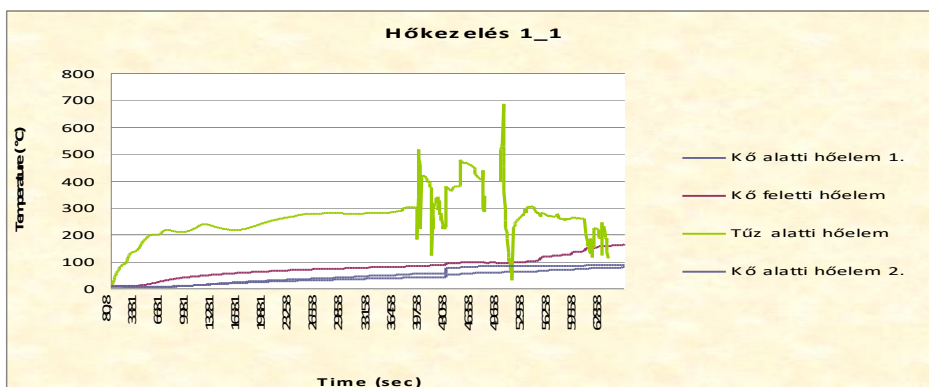
**31. ábra.** *Sematikus ábra a sütés alkalmazásáról az avasi limnoszilicit-padokon; második változat. A termikus sokk lerobbantotta az őskori bányászok ütéseit elnyelő felső kortextréteget, megkönnyítve a kovapad feldarabolását. A 10-30 percig tartó folyamat alatt nem biztos, hogy az eltávolított kortextréteggel határos limnoszilicit-zóna hőkezelődött, de 100-200 °C-os hőhatás még érthette ezt a területet.*



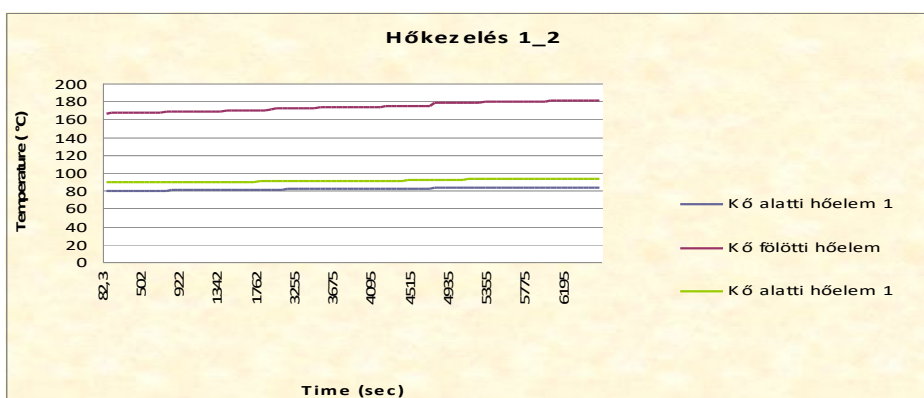
32. ábra. A Tüzelőanyag- és hőleadás-összehasonlító szabadtéri kísérlet (fent) és a rekonstruált, nyílt tüzes hőkezelési kísérletek (lent) vázlatos tervrajzai.



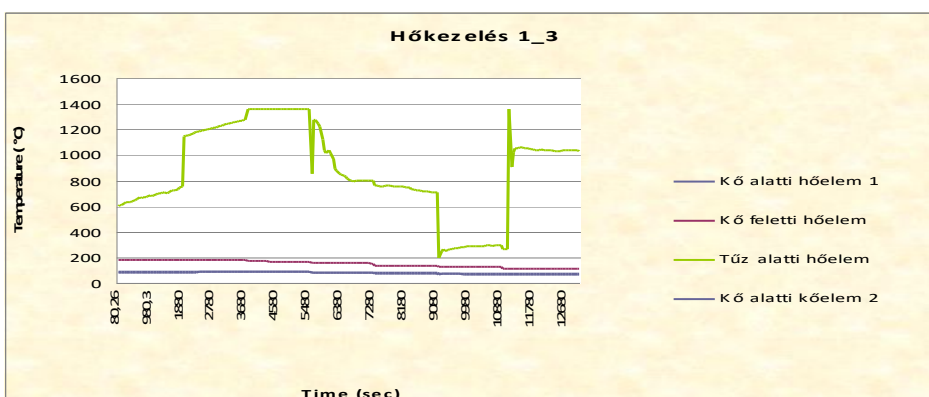
33. ábra. A Tüzelőanyag- és hőleadás-összehasonlító szabadtéri kísérlet hőmérséklet-görbéi (a szoftver hibája miatt az idő-tengely számozása hibás)



**34. ábra.** Az első rekonstruált, nyílt tüzes hőkezelési kísérlet hőmérséklet-görbéi, 1. szakasz. A „Tűz alatti hőelem” a kovapadot fedő homokréteg vastagságának megfelelője után jelentős hőmérsékletemelkedést mutat, a négy vékony hőelemből kettő felmondta a szolgálatot, a két épnél pedig az időadatok hibásak. A helyes időpontok megadása a kísérleti naplóban szereplő adatok alapján történt.

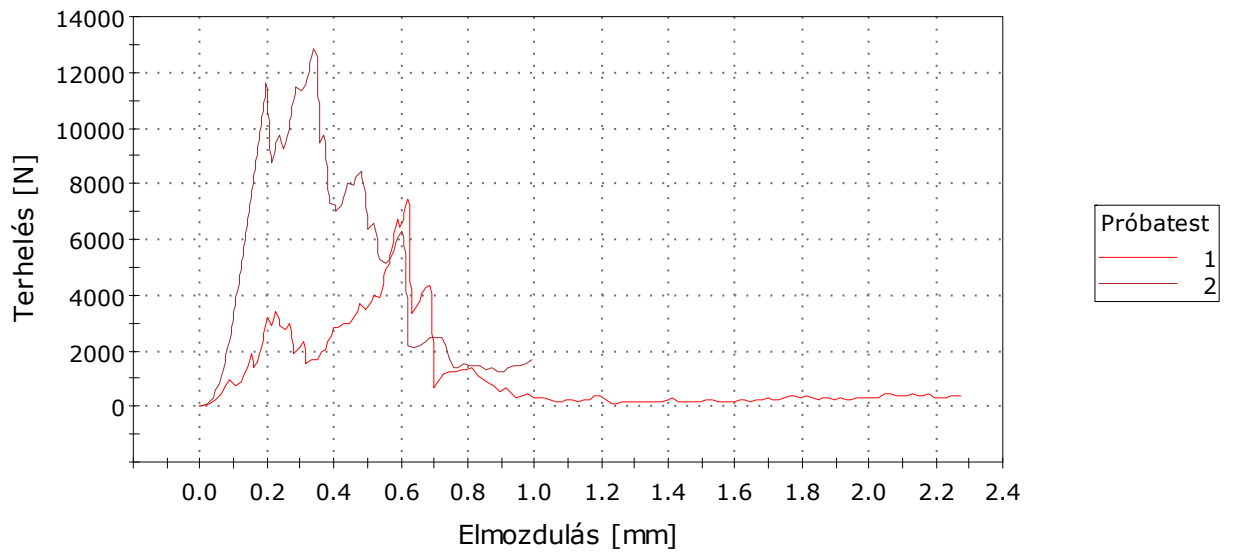


**35. ábra.** Az első rekonstruált, nyílt tüzes hőkezelési kísérlet hőmérséklet-görbéi, 2. szakasz. A helyes időpontok megadása a kísérleti naplóban szereplő adatok alapján történt.

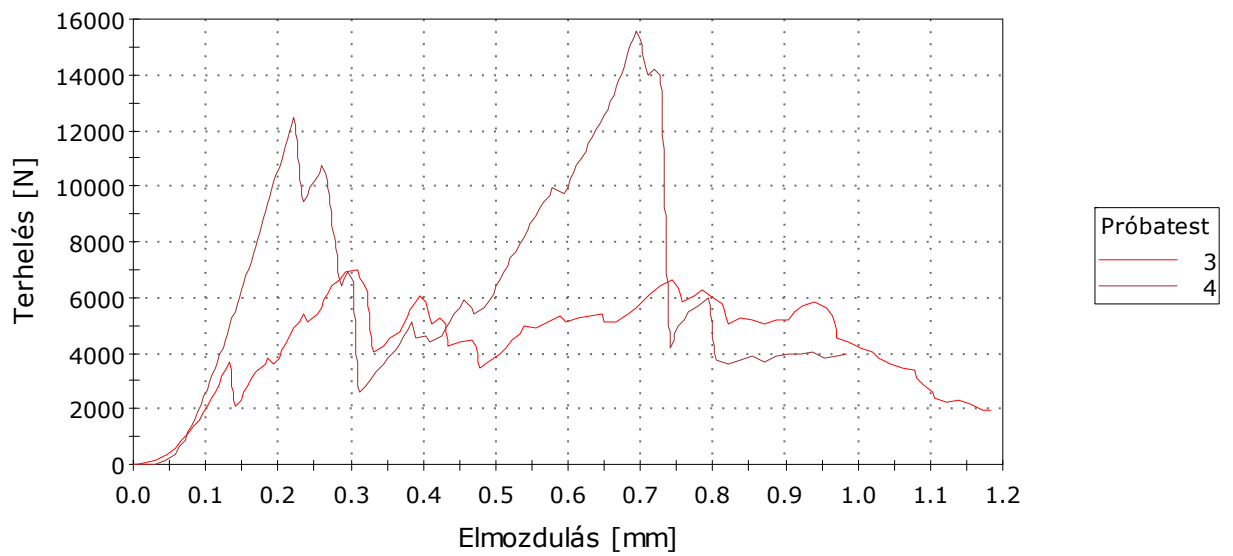


**36. ábra.** A második rekonstruált, nyílt tüzes hőkezelési kísérlet hőmérséklet-görbéi. A helyes időpontok és hőfokok megadása a kísérleti naplóban szereplő adatok alapján történt.

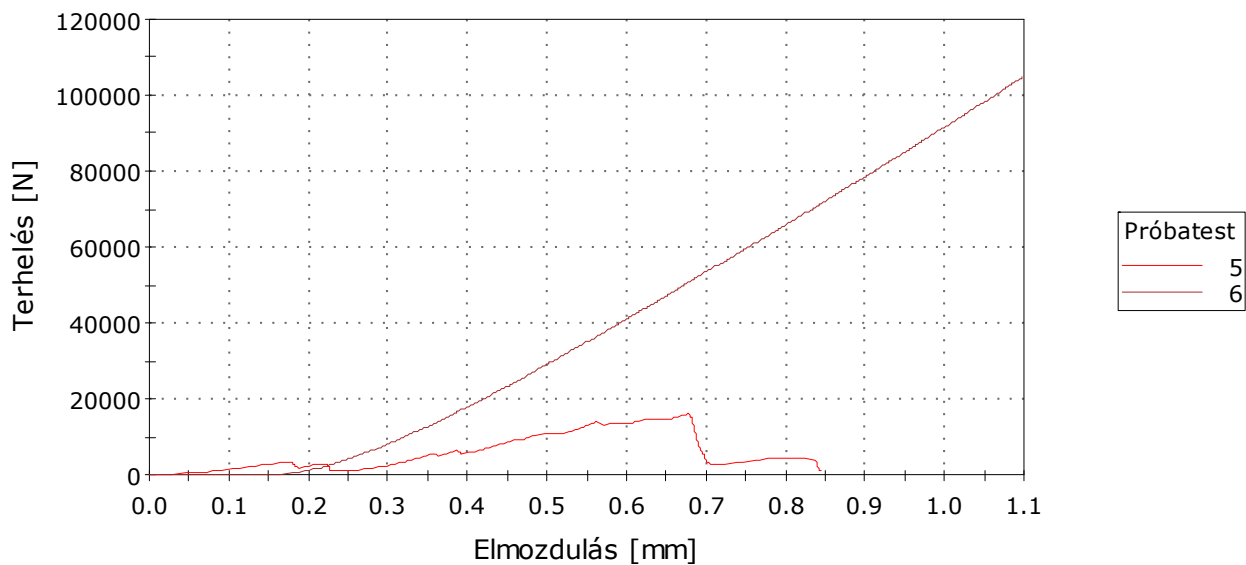
Terhelés-Elmozdulás diagram



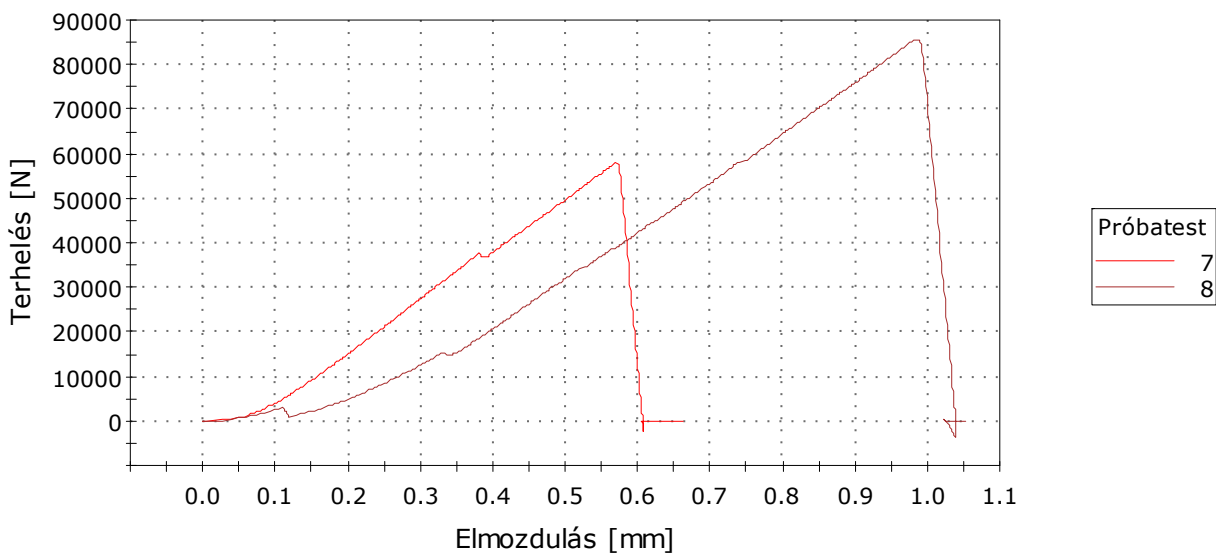
Terhelés-Elmozdulás diagram



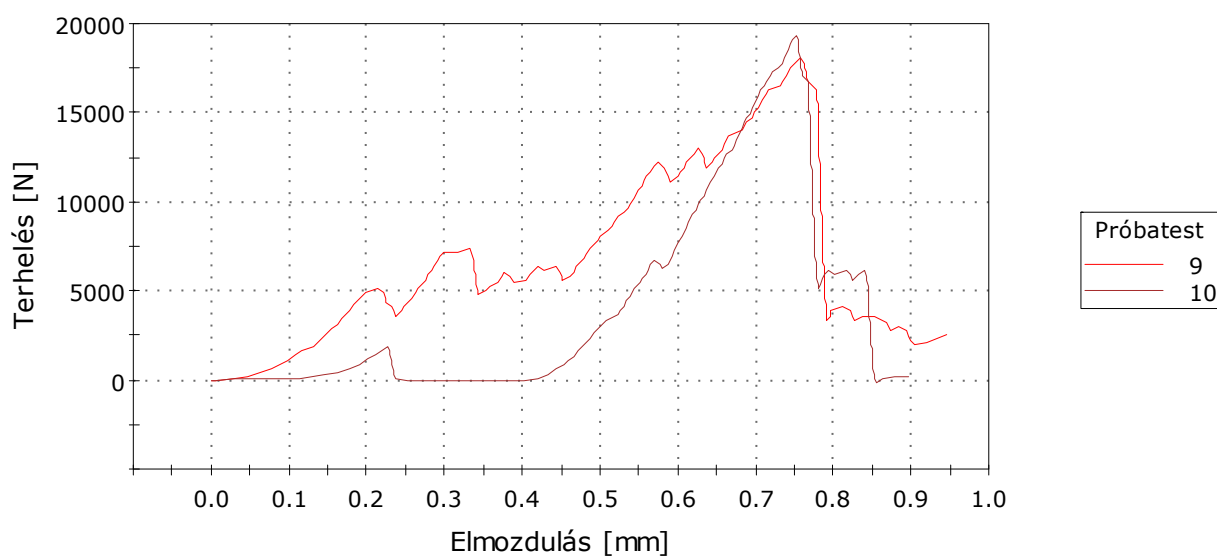
Terhelés-Elmozdulás diagram



Terhelés-Elmozdulás diagram



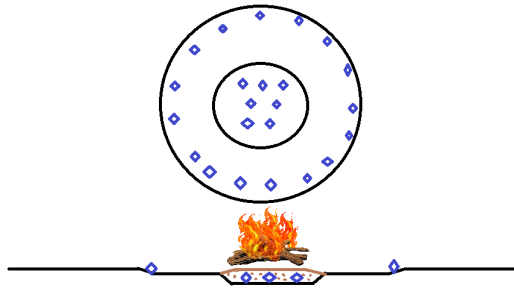
### Terhelés-Elmozdulás diagram



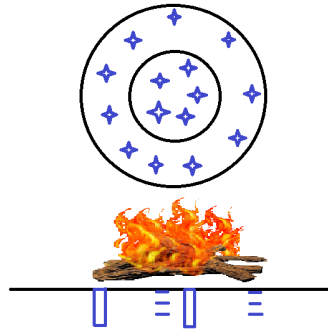
**37. ábra.** Nyers (barna) és hőkezelt (vörös) avasi limnoszilit minták nyomószilárdság-vizsgálatának eredményeit szemléltető diagramok. (Készítette: Mikó Tamás, Miskolci Egyetem, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet) A hőkezelt minták nyomószilárdsága minden esetben kisebb, mint a nyers mintáké.



**38. ábra.** Avasi limnoszilit mintákon végrehajtott sütési kísérlet felépítésének vázlatos rajza.

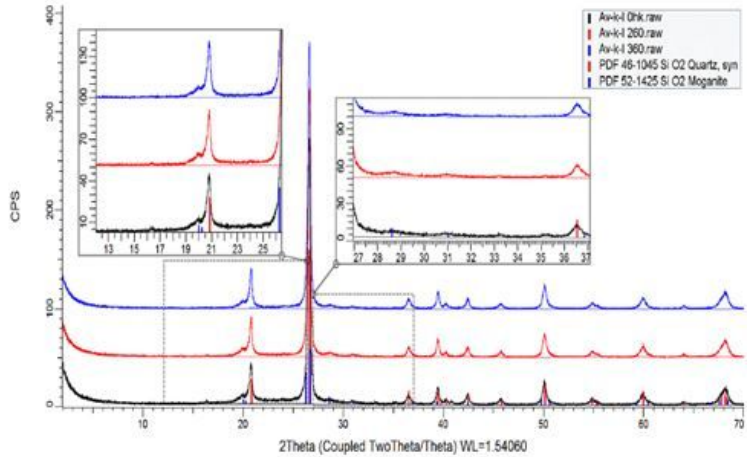


39. ábra. Újkori hőhatás rekonstruálása: „Tábortűz kísérlet” vázlatos rajza.



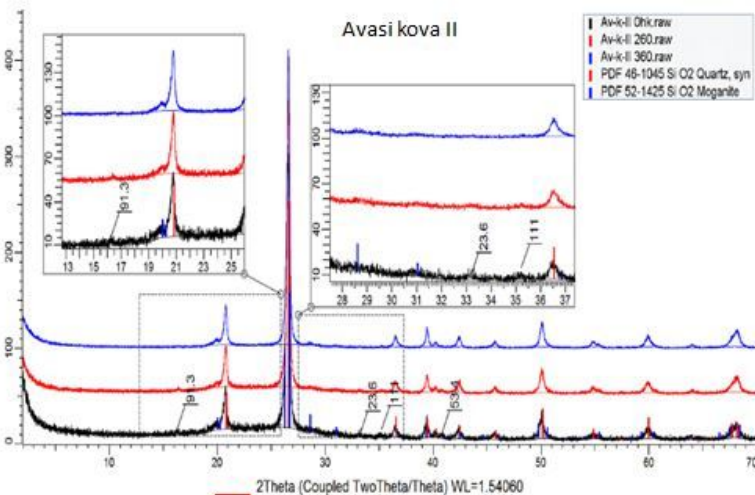
40. ábra. Mezőgazdasági hőhatás rekonstruálása: „Venyige kísérlet” vázlatos rajza.





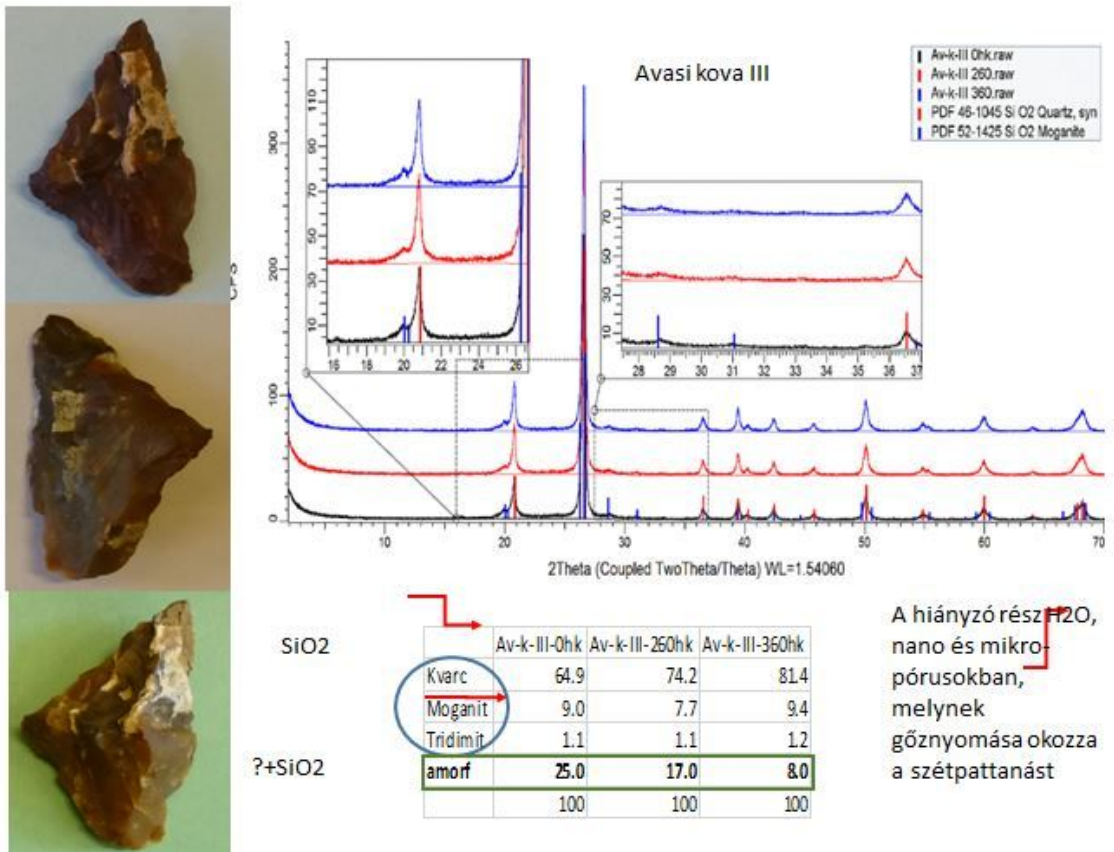
	Av-k-III-0hk	Av-k-III-260hk	Av-k-III-360hk
SiO <sub>2</sub>			
Kvarc	64.3	74.9	76.4
Moganit	7.9	10.9	9.5
Tridimit	0.9	1.2	1.1
?+SiO <sub>2</sub>			
amorf	27.0	13.0	13.0
	100	100	100

A hiányzó rész H<sub>2</sub>O, nano és mikro-pórusokban, melynek gőznyomása okozza a szétpattanást

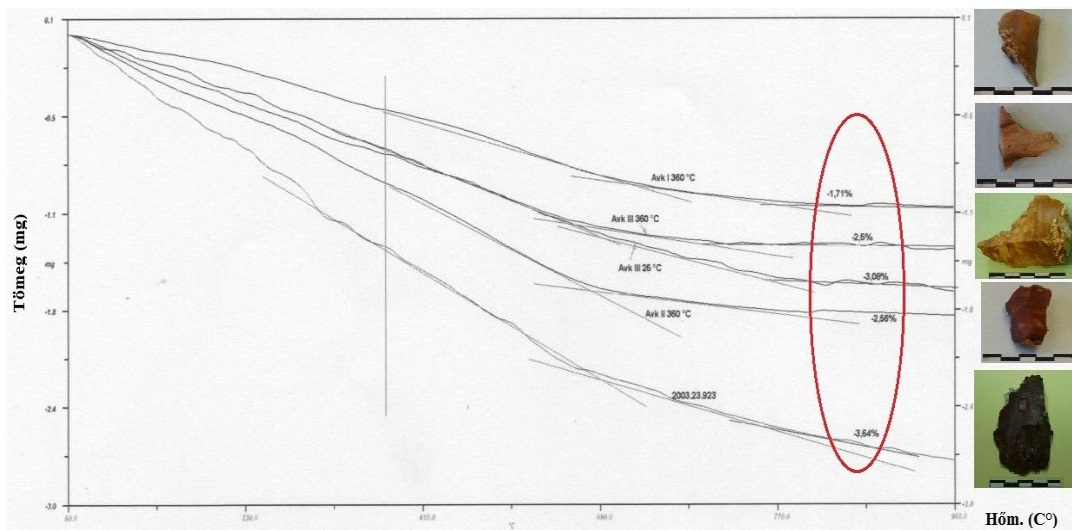


	Av-k-II-0h	Av-k-II-26	Av-k-II-36
SiO <sub>2</sub>			
Kvarc	46.6	56.1	75.8
Moganit	4.1	6.8	9.2
Tridimit	0.2	0.1	0.0
?+SiO <sub>2</sub>			
amorf	49.0	37.0	15.0
	100	100	100

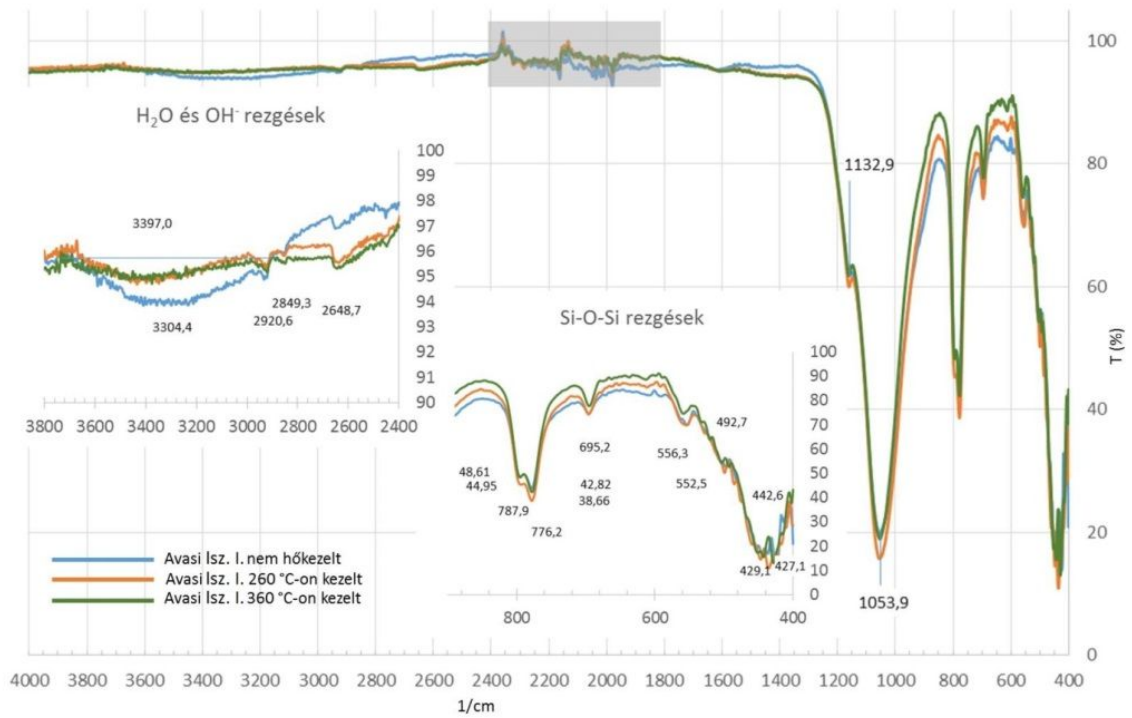
A hiányzó rész H<sub>2</sub>O, nano és mikro-pórusokban, melynek gőznyomása okozza a szétpattanást



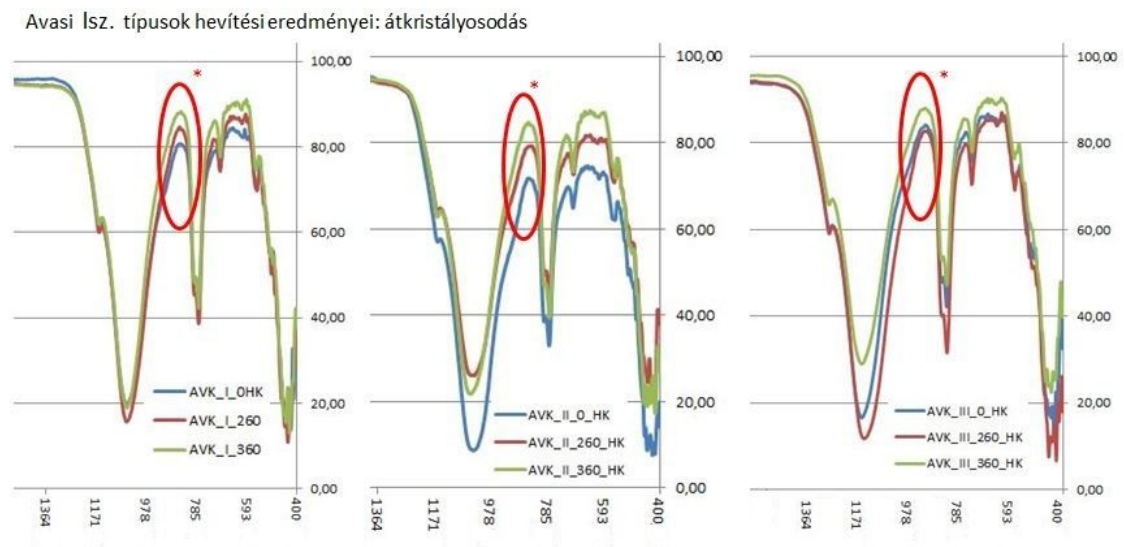
41. ábra. A nyers, valamint a 260 és 360 °C-on hőkezelt I. (áttetsző, színtelen), II. (fehér színű, barna sávós) és III. (barna színű) avasi limnoszilicít minták XRD felvételei. Mindhárom változat mérési eredményein jól látható, hogy a hőkezelt mintákban növekedett a SiO<sub>2</sub> mennyisége, valamint a 3 avasi limnoszilicít ásványi összetétele közötti különbségek.



42. ábra. Avasi limnoszilicít referenciamintákon és egy 2001-es avasi ásatási leleten végzett termoanalízis eredményét mutató grafikon



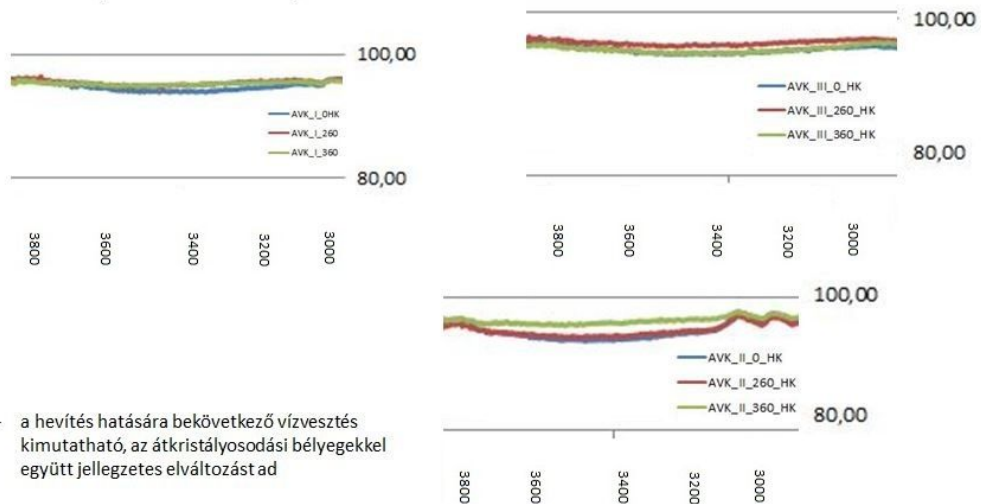
43. ábra. FTIR vizsgálat eredménye avasi limnosziliciten a) (AVK I-III.)



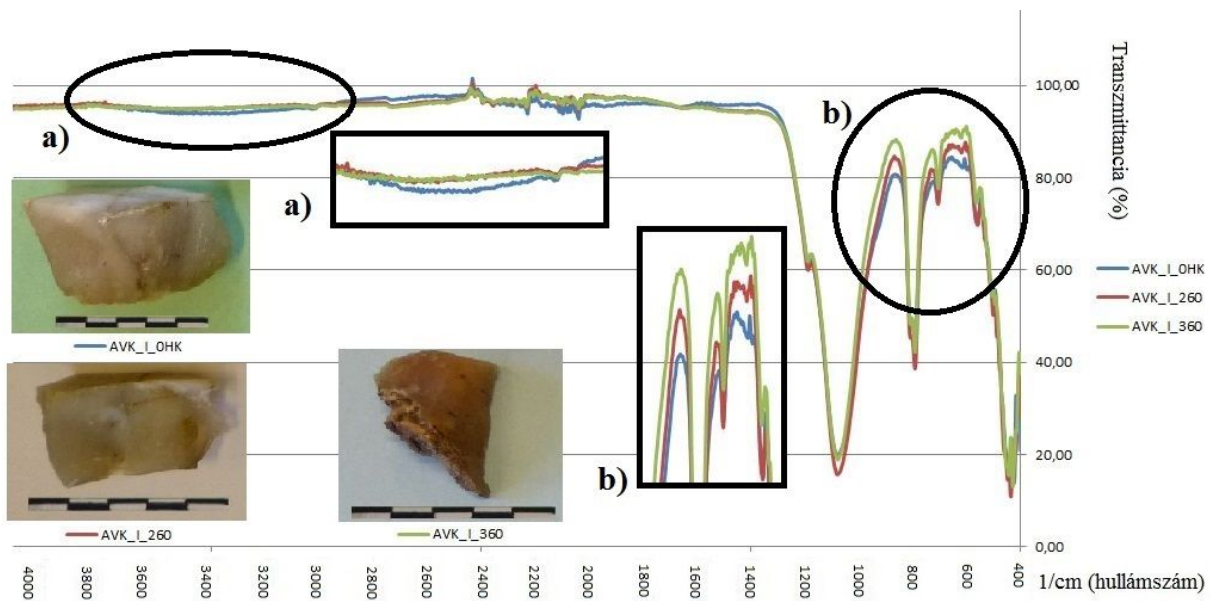
\* a hevítés hatására az amorf SiO<sub>2</sub> kikristályosodik, illetve a rácshibák csökkennek

44. ábra. FTIR vizsgálat eredménye avasi limnosziliciten b) (AVK I-III.)

Avasi lsz. típusok hevítési eredményei: vízvesztés

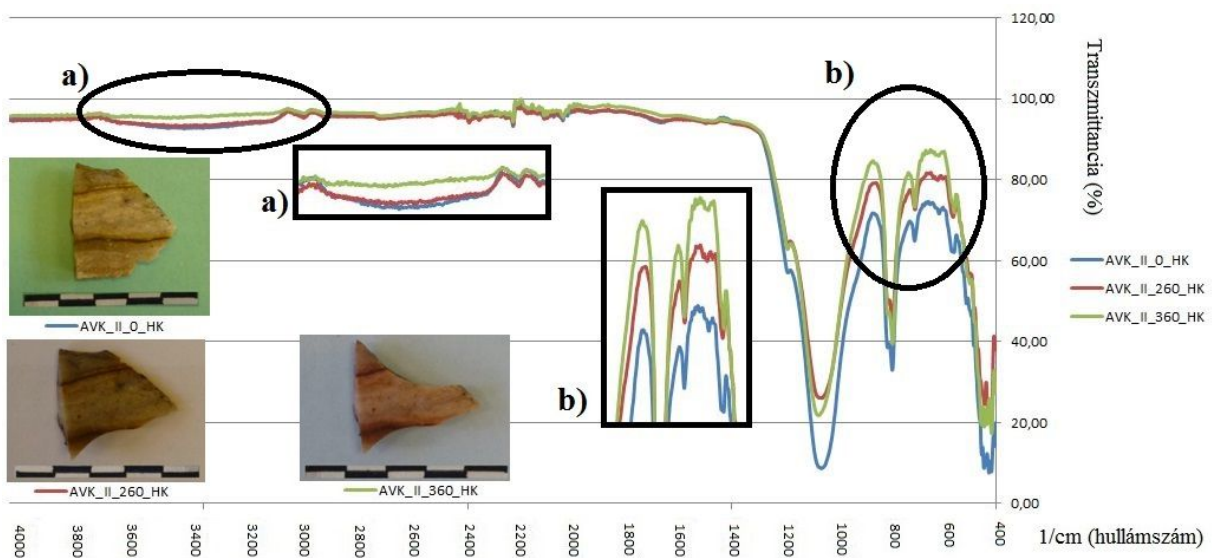


45. ábra. FTIR vizsgálat eredménye avasi limnosziliten c) (AVK I-III.)

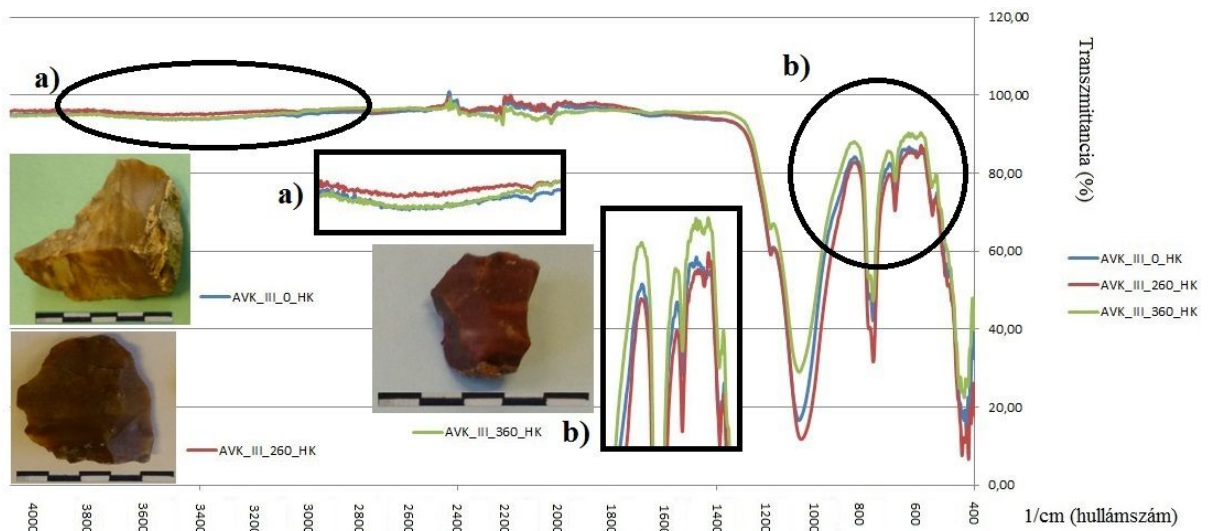


46. ábra. A I. típusú avasi limnoszilit változat (AVK I.) nyers- valamint a 260 és 360 °C-on hőkezelt mintáinak FTIR mérési görbéi. a): vízvesztés; b): átkristályosodás.

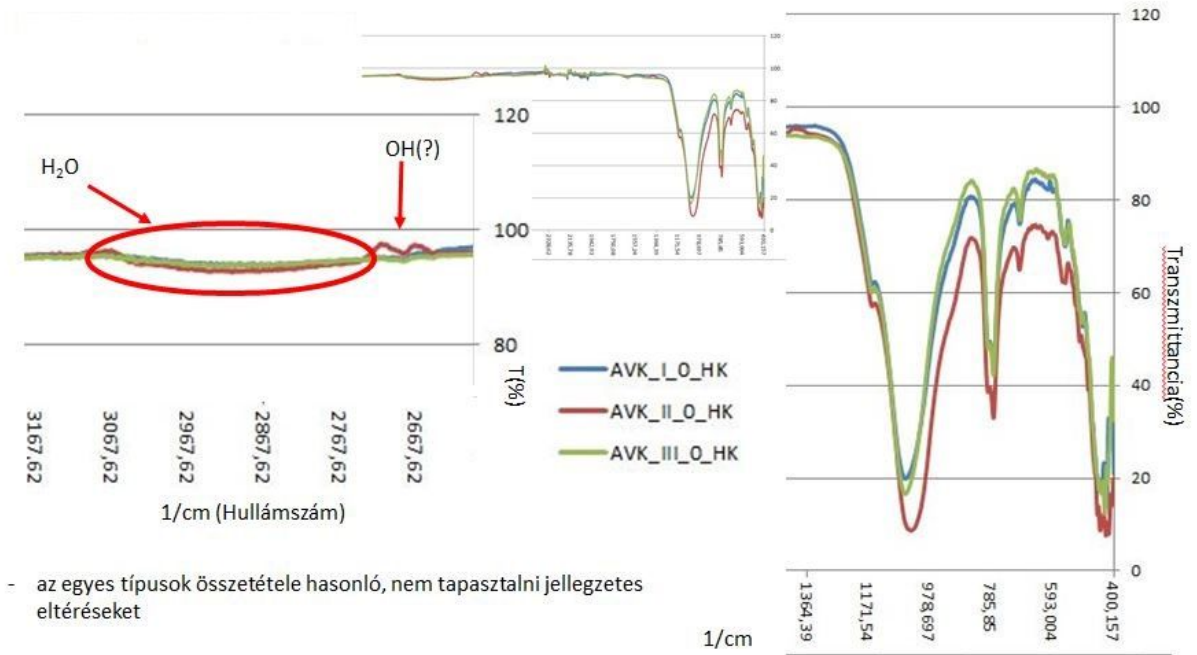




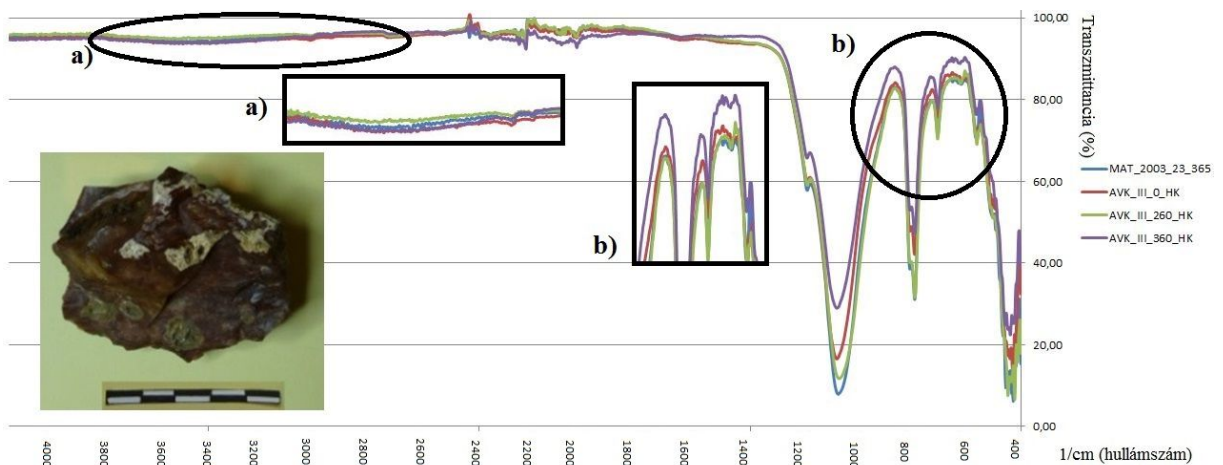
47. **ábra.** A II. típusú avasi limnoszilicít változat (AVK II.) nyers- valamint a 260 és 360 °C-on hőkezelt mintáinak FTIR mérési görbéi. a): vízvesztés; b): átkristályosodás.



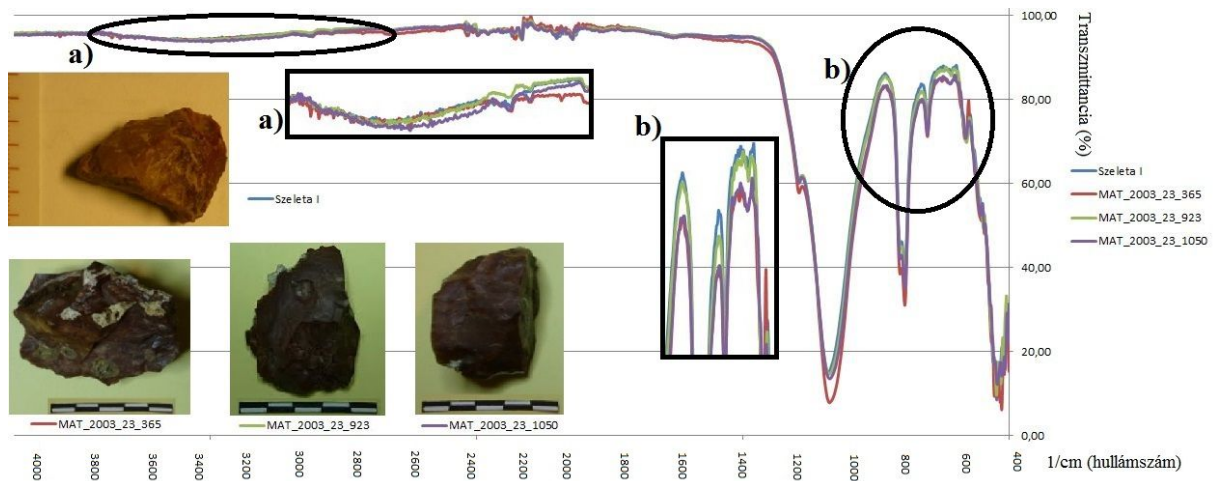
48. **ábra.** A III. típusú avasi limnoszilicít változat (AVK III.) nyers- valamint a 260 és 360 °C-on hőkezelt mintáinak FTIR mérési görbéi. a): vízvesztés; b): átkristályosodás.



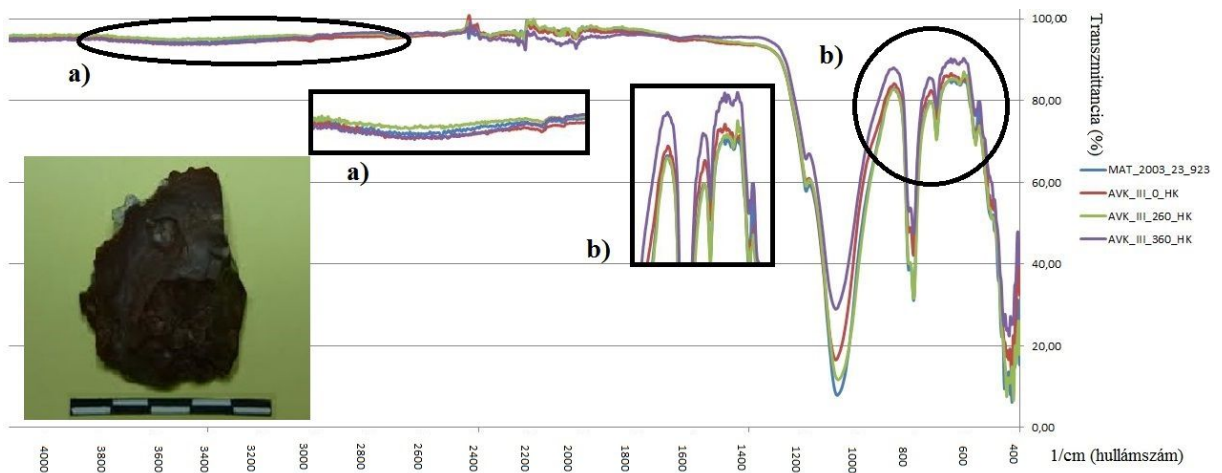
49. ábra. A három nyers avasi limnoszilit-változat (AVK I-III.) összehasonlító FTIR grafikonja; a vízvesztés (balra) és átkristályosodás (jobbra) összehasonlítása.



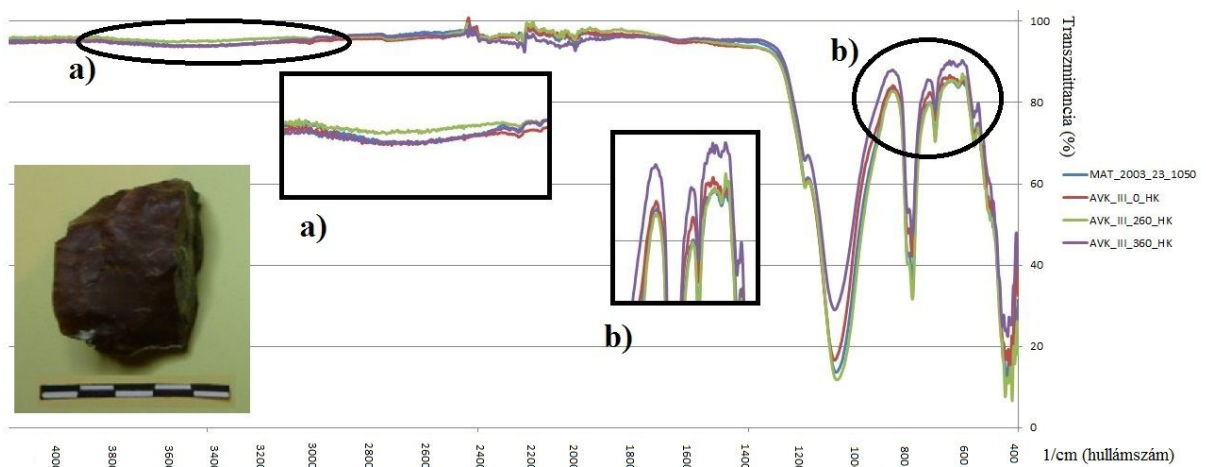
50. ábra. FTIR. A 2003.23.365. leltári számú lelet összehasonlítása a III. típusú avasi limnoszilit referenciamintákkal (AVK III.) a): vízvesztés; b): átkristályosodás.



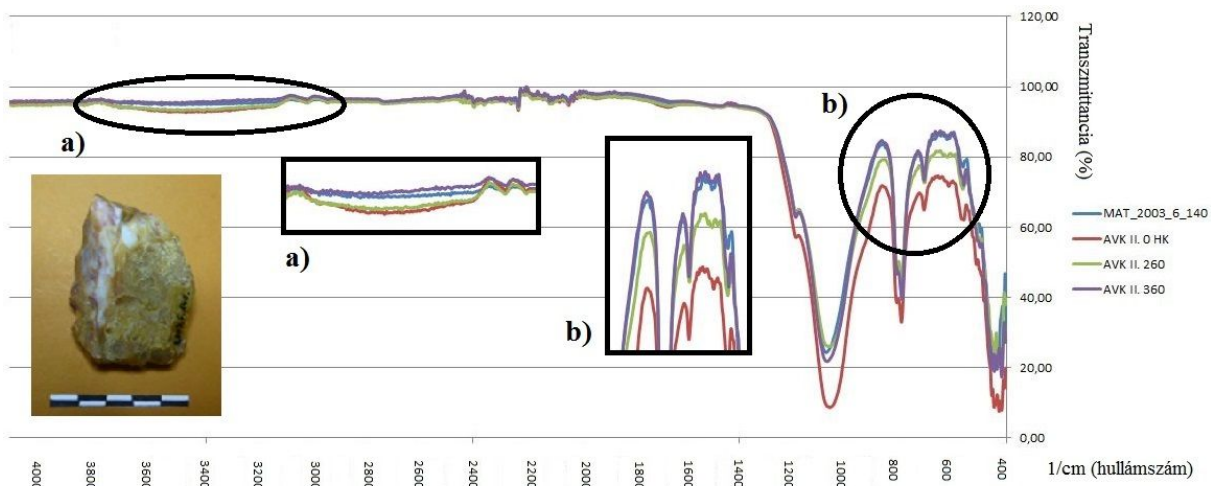
**51. ábra.** FTIR. A 2003.23.365. ; ~923 és ~1050. leltári számú lelet, valamint a Szeleta I. minta összehasonlítása. A 4 minta mérési görbéi között nem tapasztalható jelentős eltérés. a): vízvesztés; b): átkristályosodás.



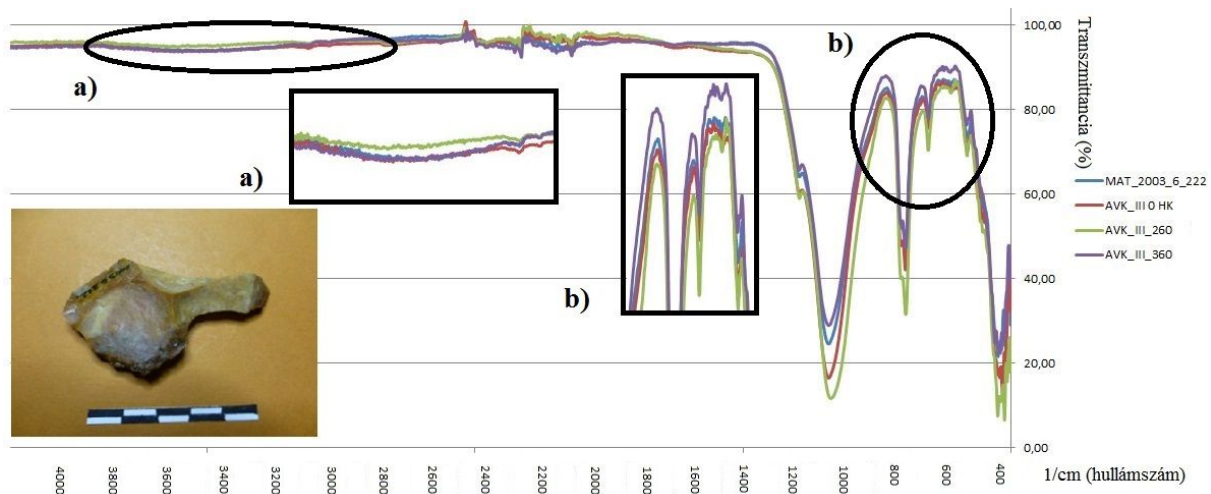
**52. ábra.** FTIR. A 2003.23.923. leltári számú lelet összehasonlítása a III. típusú avasi limnoszilicit referenciamintákkal (AVK III.) a): vízvesztés; b): átkristályosodás.



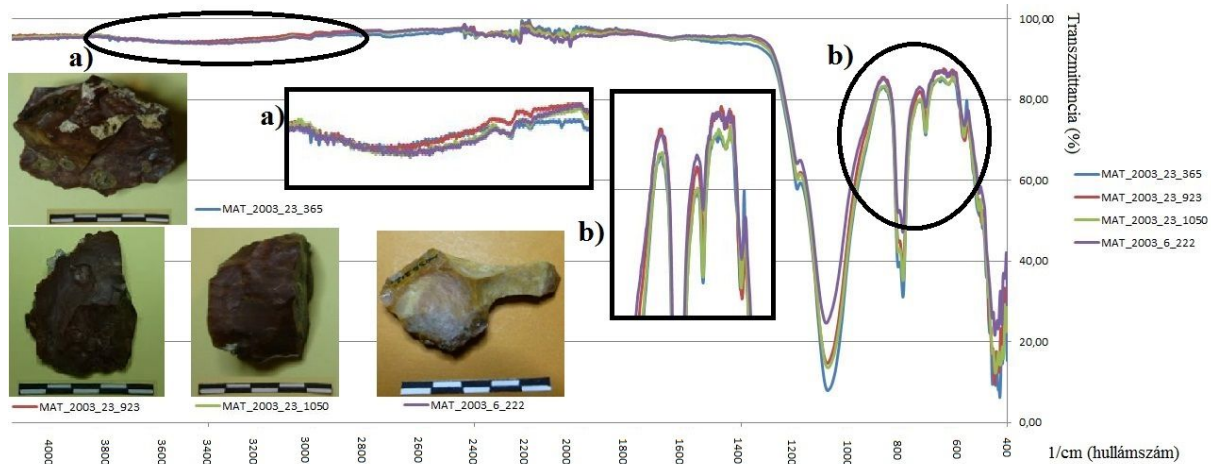
**53. ábra.** FTIR. A 2003.23.1050. leltári számú lelet összehasonlítása a III. típusú avasi limnoszilit referenciamintákkal (AVK III.) a): vízvesztés; b): átkristályosodás.



**54. ábra.** FTIR. A 2003.6.140. leltári számú lelet összehasonlítása a II. típusú avasi limnoszilit referenciamintákkal (AVK II.) a): vízvesztés; b): átkristályosodás.

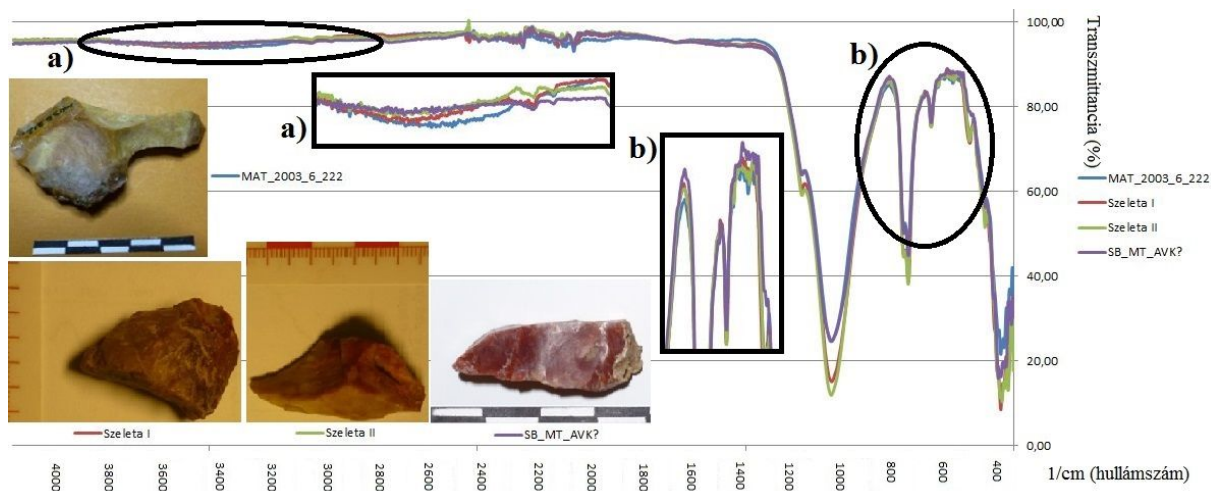


**55. ábra.** FTIR. A 2003.6.222. leltári számú lelet összehasonlítása a III. típusú avasi limnoszilit referenciamintákkal (AVK III.) a): vízvesztés; b): átkristályosodás.

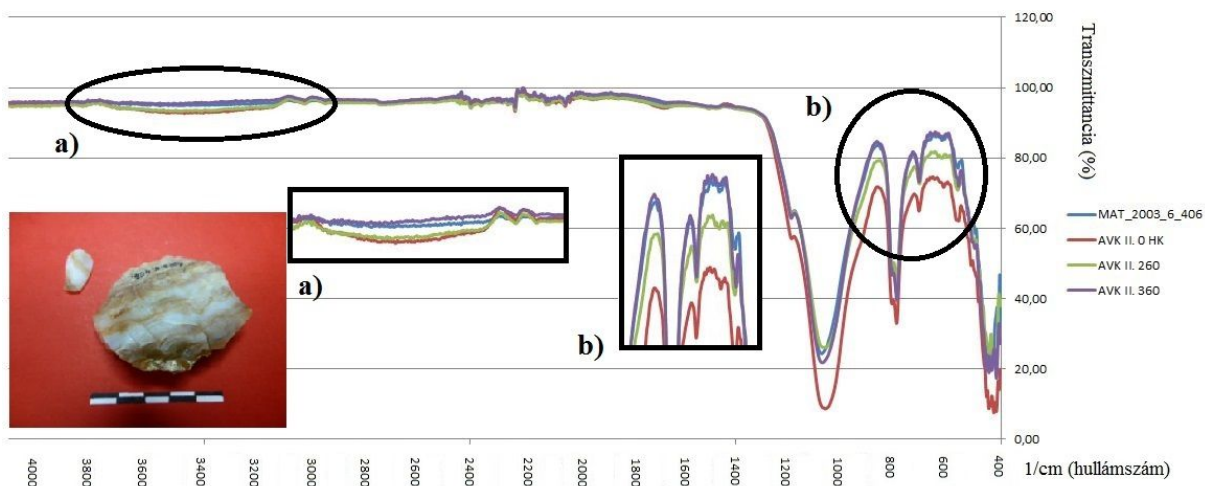




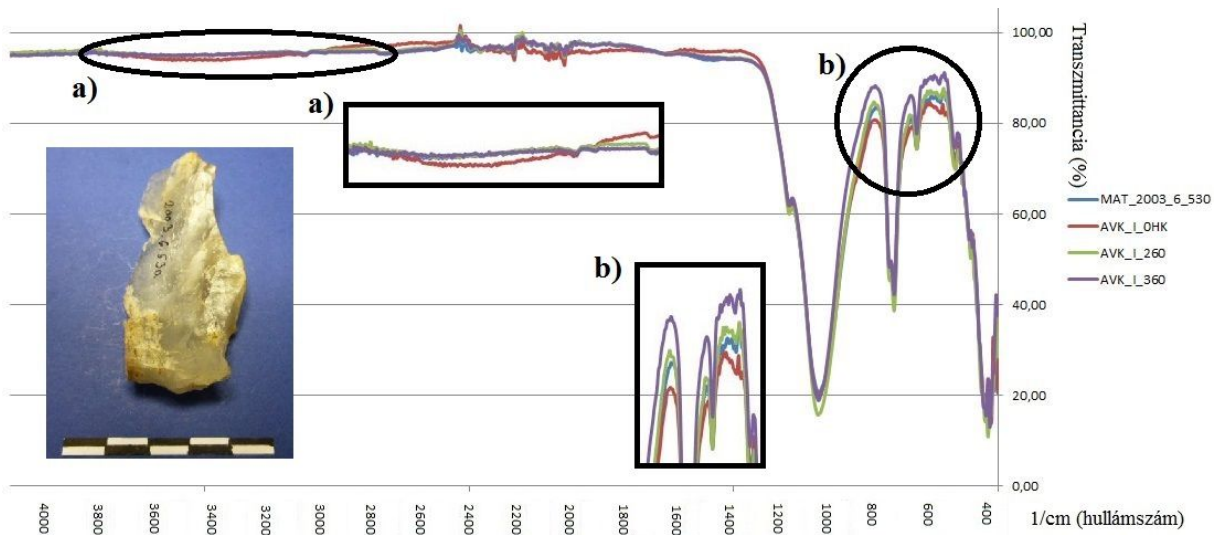
**56. ábra.** FTIR. A 2003.6.222. leltári számú lelet összehasonlítása a 2001-es ásatási leletekből vett, III. típusú avasi limnoszilit mintákkal a): vízvesztés; b): átkristályosodás.



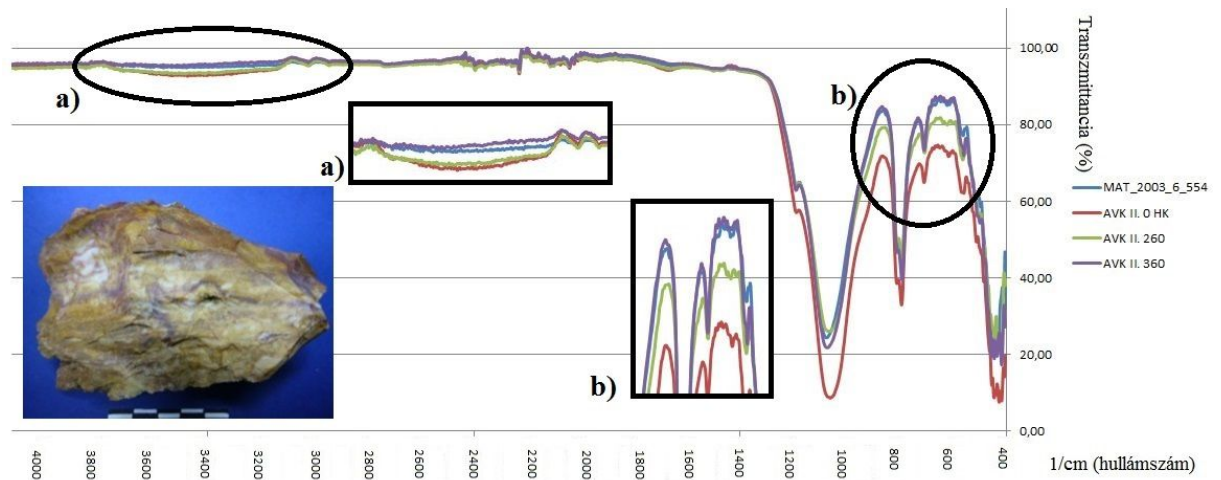
**57. ábra.** FTIR. A 2003.6.222. leltári számú lelet összehasonlítása a Szeleta-barlangból és Sajóbábony, Méhész-tetőről származó mintákkal a): vízvesztés; b): átkristályosodás.



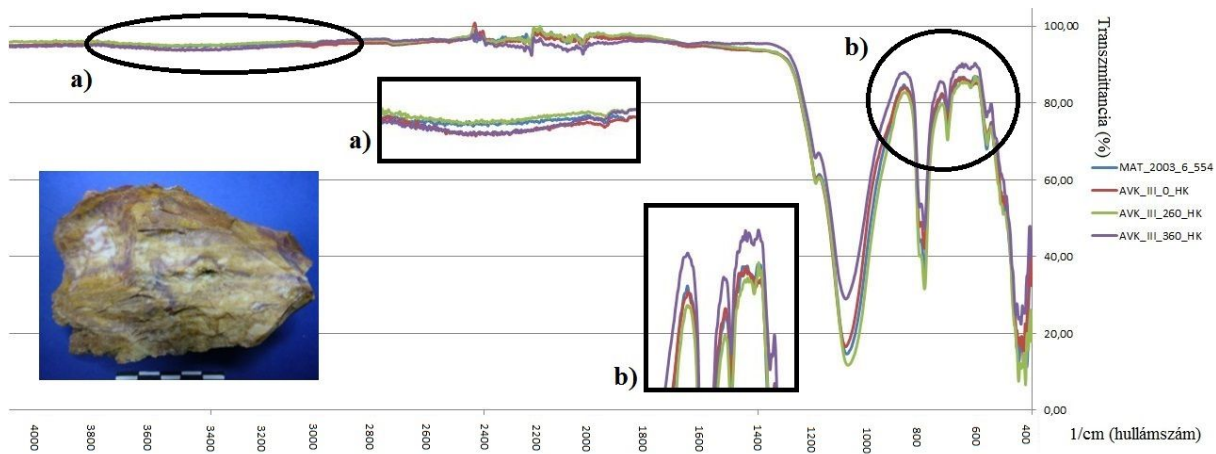
**58. ábra.** FTIR. A 2003.6.406. leltári számú lelet összehasonlítása a II. típusú avasi limnoszilit referenciamintákkal (AVK II.) a): vízvesztés; b): átkristályosodás.



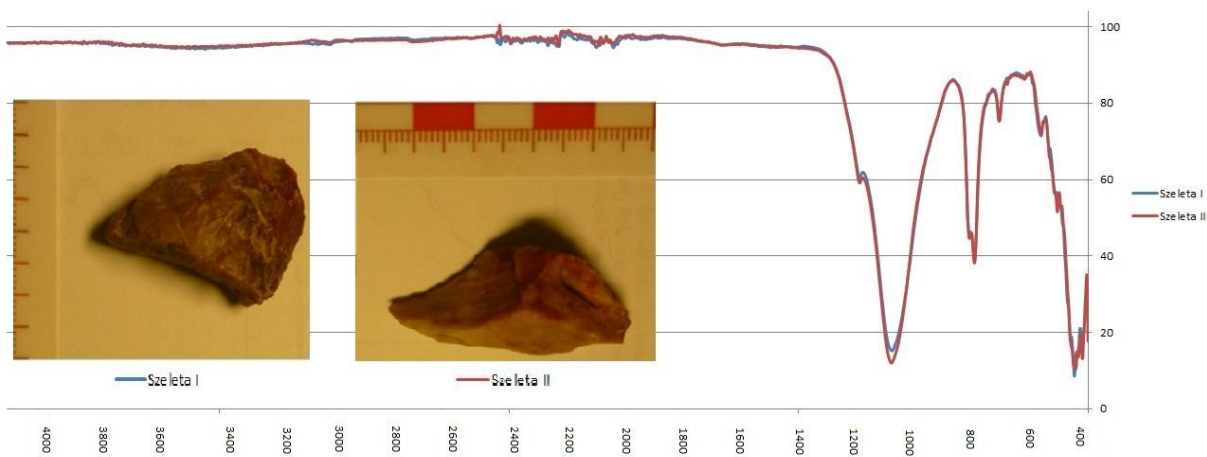
59. ábra. FTIR. A 2003.6.530. leltári számú lelet összehasonlítása az I. típusú avasi limnoszilit referenciamintákkal (AVK I.) a): vízvesztés; b): átkristályosodás.



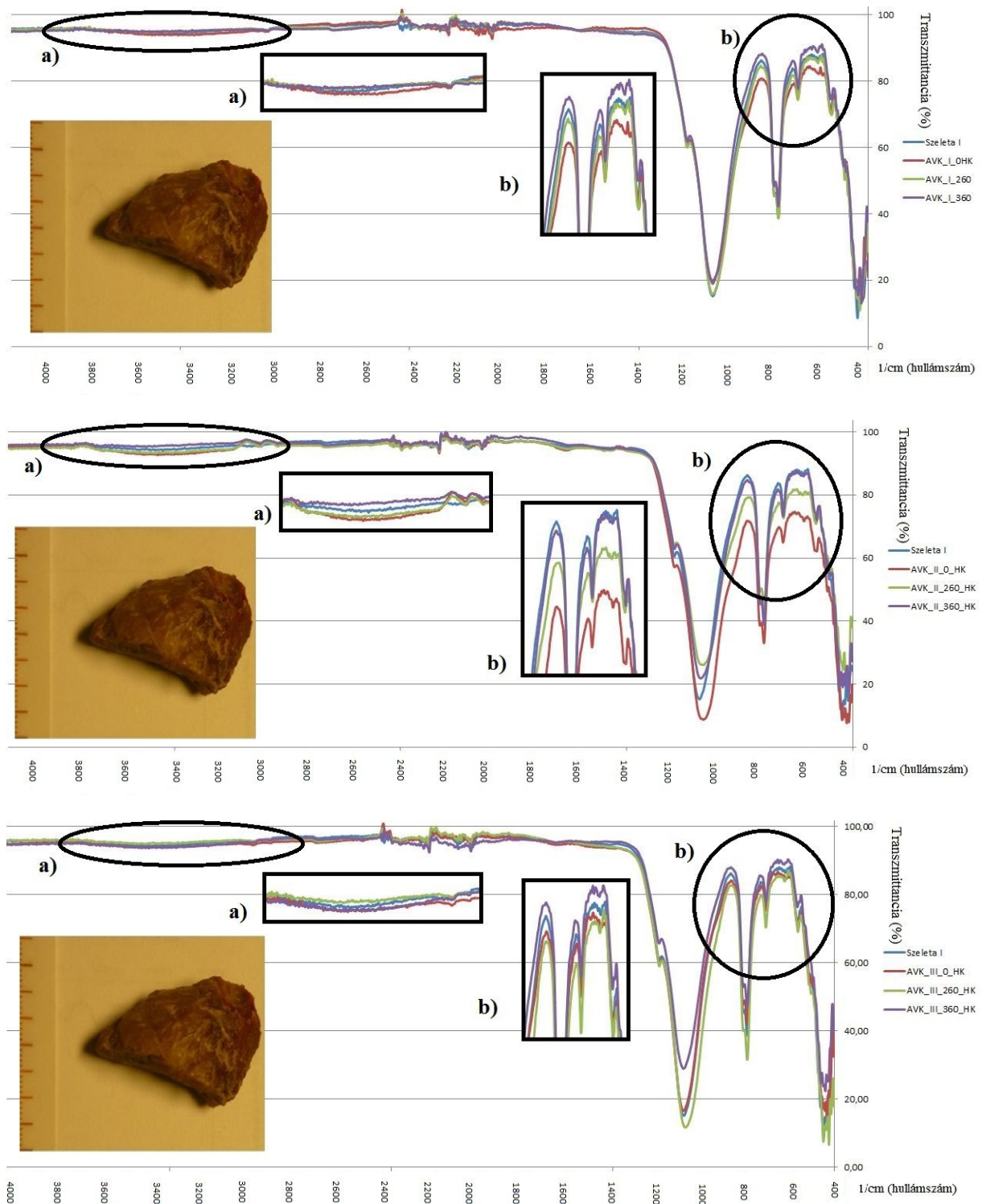
60. ábra. FTIR. A 2003.6.554. leltári számú lelet összehasonlítása a II. típusú avasi limnoszilit referenciamintákkal (AVK II.) a): vízvesztés; b): átkristályosodás.



**61. ábra.** FTIR. A 2003.6.554. leltári számú lelet összehasonlítása a III. típusú avasi limnoszilicit referenciamintákkal (AVK III.) a): vízvesztés; b): átkristályosodás.

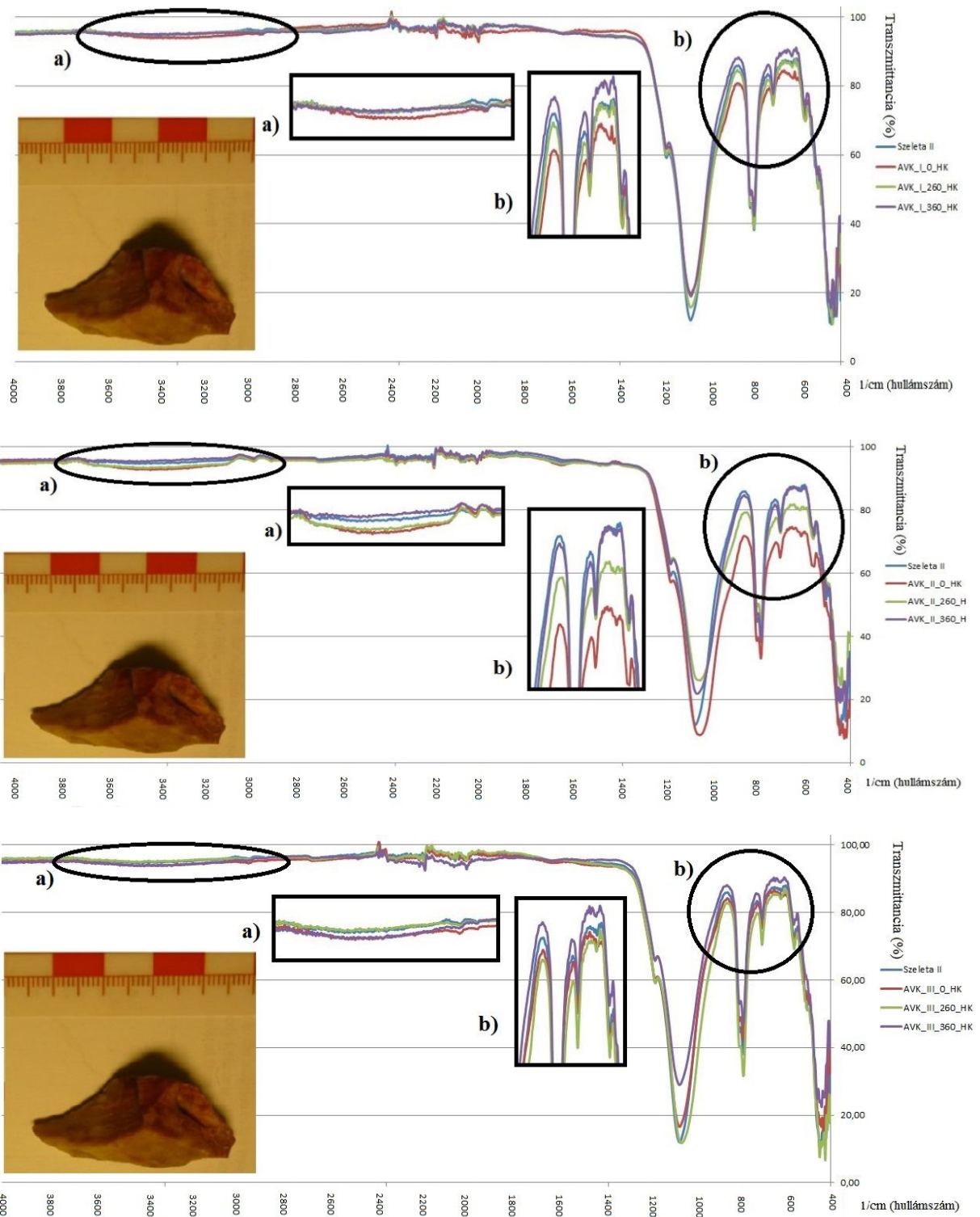


**62. ábra.** FTIR. A Szeleta-barlang régészeti feltárásaiból származó két minta összehasonlítása. A minták nyersanyaga megegyezik.

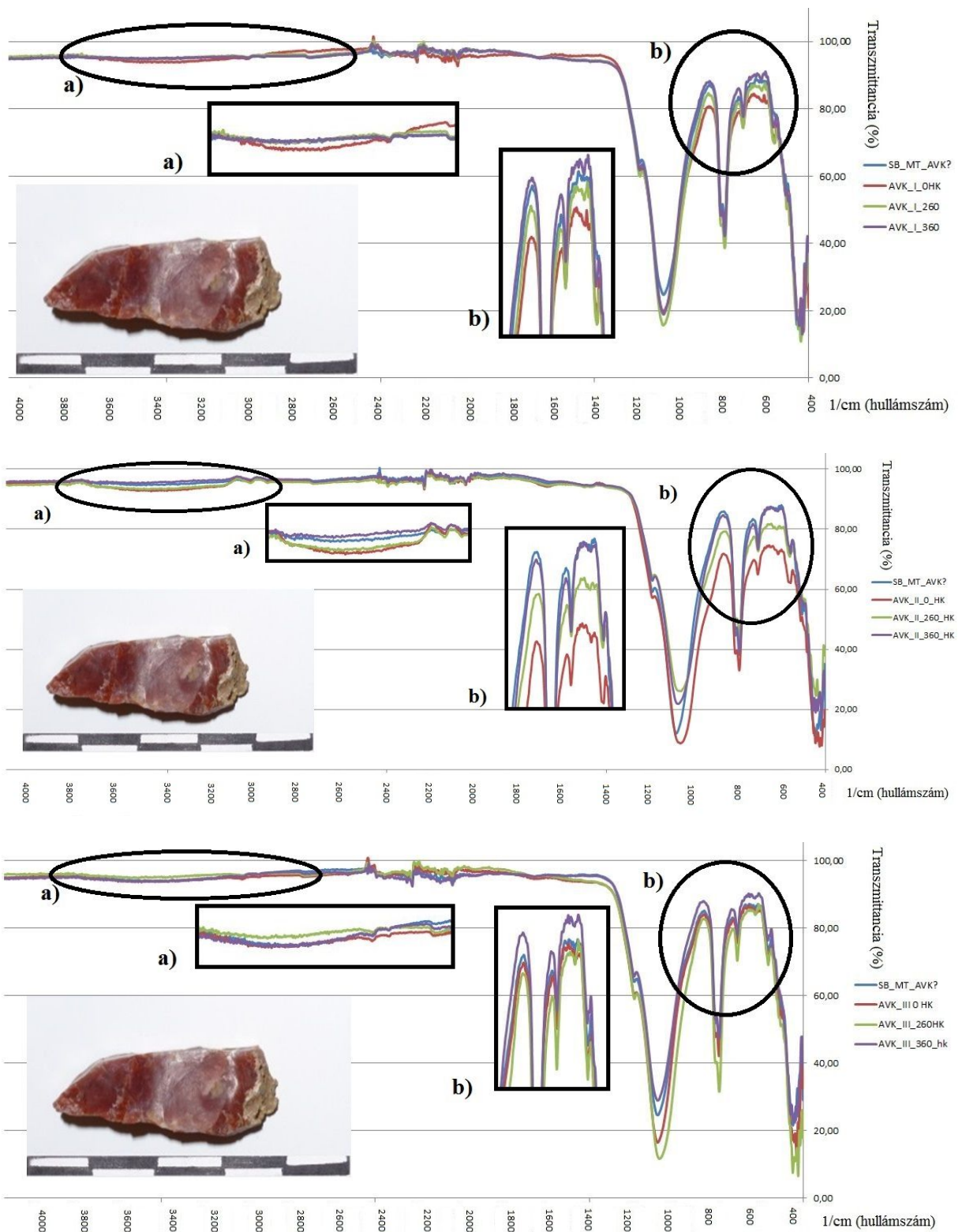


**63. ábra FTIR.** A „Szeleta I.” minta összehasonlítása az I- III. típusú avasi limnoszilicit referenciamintákkal (AVK I-III.) a): vízvesztés; b): átkristályosodás.

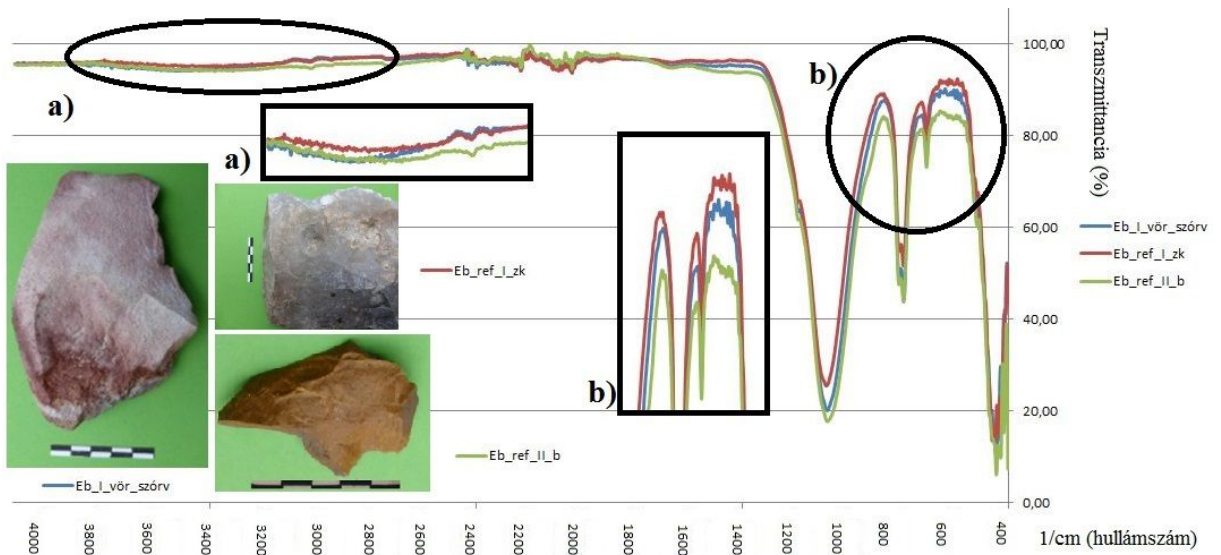




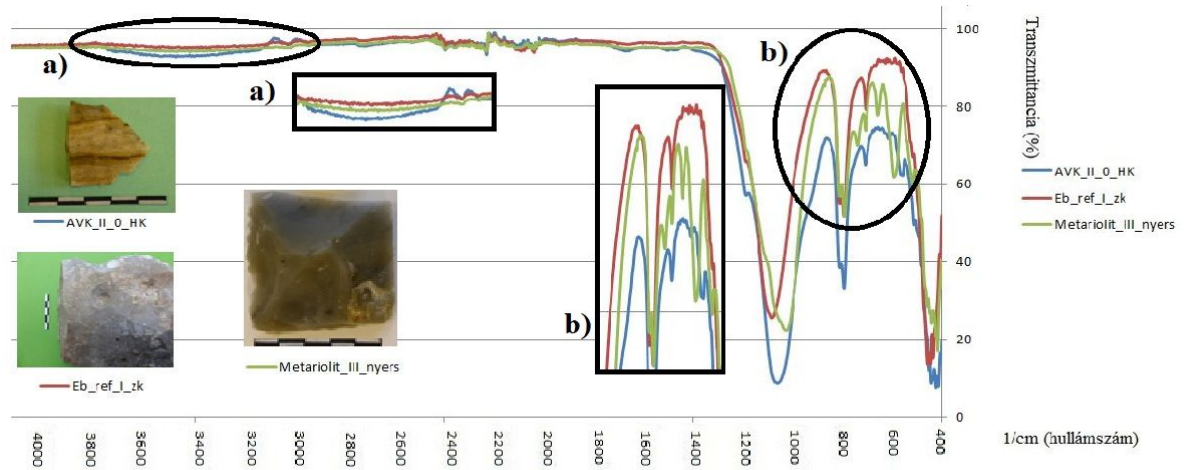
64. ábra. FTIR. A „Szeleta II.” minta összehasonlítása az I- III. típusú avasi limnoszilitit referenciamintákkal (AVK I-III.) a): vízvesztés; b): átkristályosodás.



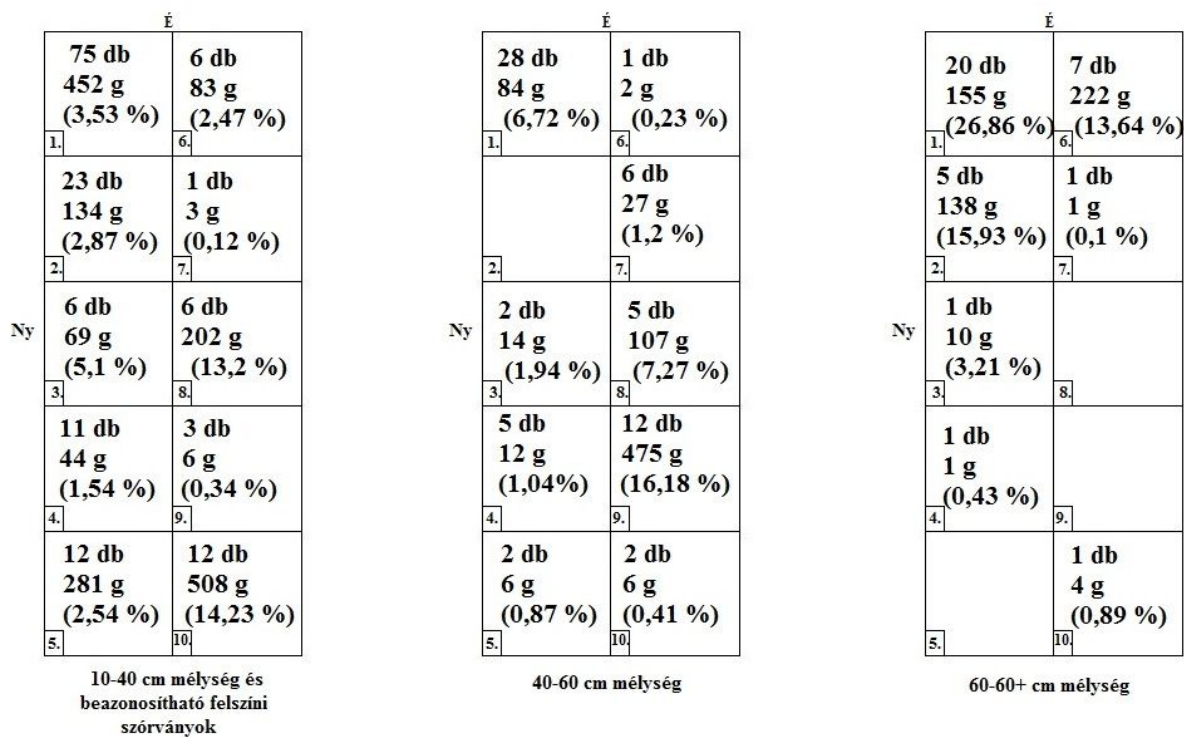
**65. ábra.** FTIR. Sajóbábony, Méhész-tető paleolit lelőhelyről származó mintájának összehasonlítása az I- III. típusú avasi limnoszilit referenciamintákkal (AVK I-III.) a): vízvesztés; b): átkristályosodás.



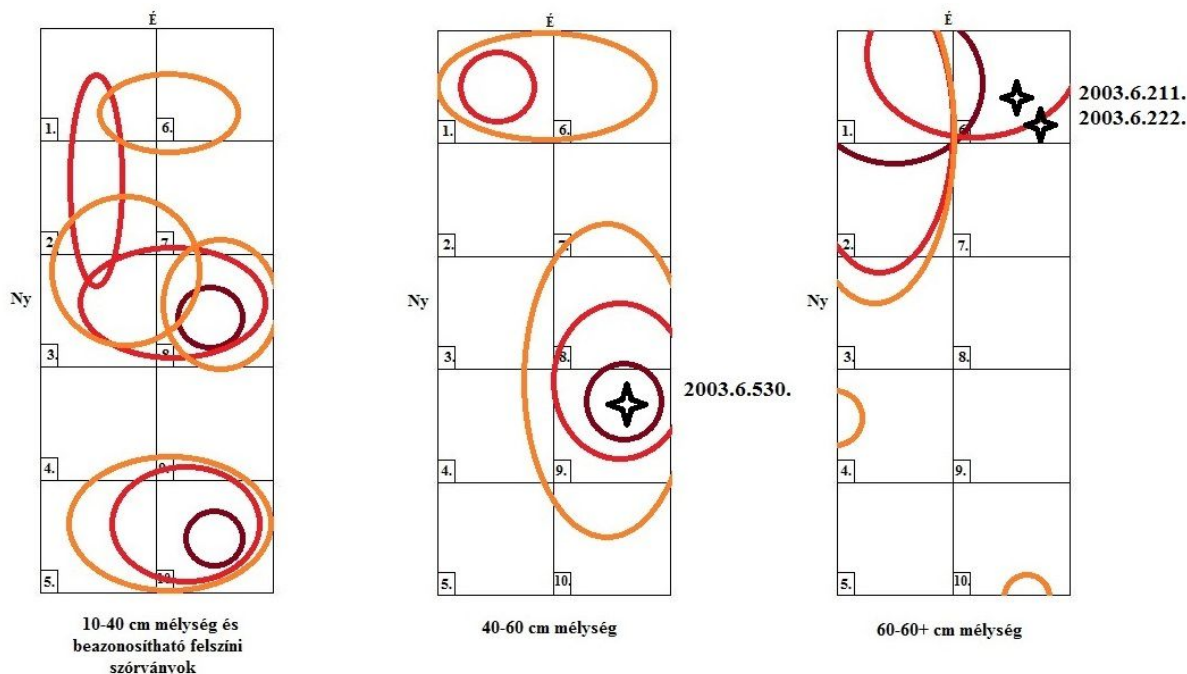
**66. ábra.** FTIR. Az egerbaktai őskori kőeszköz nyersanyag-kitermelőhelyen gyűjtött minták összehasonlítása. a): vízvesztés; b): átkristályosodás.



**67. ábra.** Kovaközetek összehasonlítása (FTIR): avasi limnoszilit, egerbaktai nyersanyag és bükkszentlászlói (Bagoly-hegyi) metariolit



68. ábra. Valószínűleg termikus stigmákat viselő paleolitik arányai (a helyileg beazonosított felszíni szórványokkal együtt) a 2002-es ásatási szelvény különböző mélységeiben és négyzeteiben.



69. ábra. Termikus hatások hipotetikus kiterjedése MAT 2002 ásatási szelvényben. Értékelésekor az erős keveredés figyelembe veendő. 2003. 6. 211. és 222. termikus stigmákat mutat, de esetükben az erős hőhatás műszeres vizsgálatokkal nem igazolt.





**MELLÉKLET III.**






**TÁBLÁZATOK**

Sorszám	Minta megnevezése	Fotó	Leírás	Vizsgálati eredmények			
				Termoanalízis	XRD	SEM/ESD	Infravörös spektroszkópia
1.	AVK1 - nem hőkezelt		A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett ásatás leletanyagából származó áttetsző limnoszilit.		X	X	X
2.	AVK1 - 260 °C		A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett ásatás leletanyagából származó áttetsző limnoszilit; laboratóriumi hőkezelt kemencében 260°C-ra hevítve.		X	X	X
3.	AVK1 - 360 °C		A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett ásatás leletanyagából származó, áttetsző limnoszilit; laboratóriumi hőkezelt kemencében 360°C-ra hevítve.	X	X	X	X
4.	AVK2 - nem hőkezelt		Miskolc, Avas-Tűzkövesi sávos limnoszilit, a TZH által 2013-ban végzett nyílt tüzes hőkezelt kísérlet nyers mintája.		X	X	X
5.	AVK2 - 260 °C		Miskolc, Avas-Tűzkövesi sávos limnoszilit, a TZH által 2013-ban végzett nyílt tüzes hőkezelt kísérlet 260°C-ra hevített mintája.		X	X	X

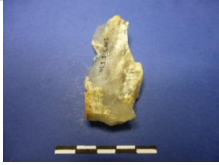



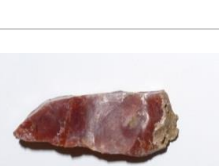
**1. táblázat/a.** A dolgozatban bemutatott kísérlet- és archeometriai vizsgálatsorozatban szereplő minták adatai. A vizsgálati eredmények részletes leírása a vonatkozó fejezetekben található (x: a minta mérőműszeres vizsgálata megtörtént).

Sorszám	Minta megnevezése	Fotó	Leírás	Vizsgálati eredmények			
				Termoanalízis	XRD	SEM/ESD	Infravörös spektroszkópia
6.	AVK2 - 360 °C		Miskolc, Avas-Tűzkövesi sávós limnoszilicit, a TZH által 2013-ban végzett nyílt tüzes hőkezelőkísérlet 360°C-ra hevített mintája.	X	X	X	X
7.	AVK3 - nem hőkezelt		A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett ásatás leletanyagából származó barna színű limnoszilicit.	X	X	X	X
8.	AVK3 - 260 °C		A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett ásatás leletanyagából származó barna színű limnoszilicit; laboratóriumi hőkezelő kemencében 260°C-ra hevítve.		X	X	X
9.	AVK3 - 360 °C		A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett ásatás leletanyagából származó barna színű limnoszilicit; laboratóriumi hőkezelő kemencében 360°C-ra hevítve.	X	X	X	X
10.	2003.23.365.		A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2001-ben végzett ásatás leletanyagából származó limnoszilicit; mély, bordó színe hőhatást feltételez. Vastag, törmelékes szilánk, dorzális oldalán kortexszel. 3. négyzet, mélység: 80 cm				A laboratóriumi és terepi hőkezelő kísérletek során tett megfigyelések szerint biztosan magas hőhatásnak kitett leletet az AVK II. mérési görbék alapján 260 °C körüli hőhatás érte. Az AVK III. mérési görbéi alapján ez szintén elképzelhető.

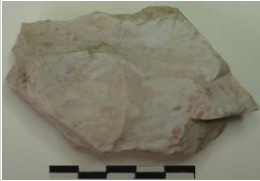



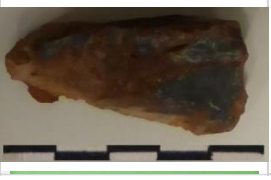
**1. táblázat/b.** A dolgozatban bemutatott kísérlet- és archeometriai vizsgálat sorozatban szereplő minták adatai. A vizsgálati eredmények részletes leírása a vonatkozó fejezetekben található (x: a minta mérőműszeres vizsgálata megtörtént).

Sorszám	Minta megnevezése	Fotó	Leírás	Vizsgálati eredmények			
				Termoanalízis	XRD	SEM/ESD	Infravörös spektroszkópia
11.	2003. 23. 923.		A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2001-ben végzett ásatás leletanyagából származó avasi limnoszilicit; mély, bordó színe, a zsírfény és a hőkipattanás-negatív is hőhatást feltételez. Dorzális cortex. 4. négyzet, mélység: 78 cm	X			A laboratóriumi és terepi hőkezelő kísérletek során tett megfigyelések szerint biztosan magas hőhatásnak kitett leletet az AVK II. mérési görbék alapján 260 °C körüli hőhatás érte. Az AVK III. mérési görbéi alapján ez szintén elképzelhető.
12.	2003.23.1050.		A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2001-ben végzett ásatás leletanyagából avasi limnoszilicit; mély, bordó színe hőhatást feltételez. Vaskos szilánk, dorzális oldalán kortexszel, zsírfénnyel, termikus kipattanással. 3. négyzet, mélység: 89 cm				A laboratóriumi és terepi hőkezelő kísérletek során tett megfigyelések szerint biztosan magas hőhatásnak kitett leletet az AVK II. mérési görbék alapján 260 °C körüli hőhatás érte. Az AVK III. mérési görbéi alapján ez szintén elképzelhető.
13.	2003.6.140.		A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett ásatás leletanyagából származó fehér színű, barna és bordó sávós limnoszilicit; aurignacien magkővéső. 5. négyzet, szórvány.				A fehér és barna sávós II. avasi limnoszilicit-változat referenciagörbéivel való összehasonlítás alapján a leletet körülbelül 360 °C-os hőhatás érte.
14.	2003.6.222.		A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett ásatás leletanyagából származó barna színű avasi limnoszilicit, bifaciális eszk.kész. Vagy pengemagkő készítés során keletkezett szilánk, hőkipattanás nyomával (a hőkipattanás a 211. Ltsz. darab) 6. négyzet, mélység: 75 cm				Az avasi limnoszilicit III, barna színű változat referencia mérési görbéivel való összehasonlítás alapján nem kaptunk egyértelmű eredményt. Valószínűleg nem érte magas hőmérséklet a leletet.
15.	2003.6.406.		A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett ásatás leletanyagából származó fehér színű, barna és bordó sávós avasi limnoszilicit szilánk. 10. négyzet, mélység: 20-30 cm				A fehér és barna sávós II. avasi limnoszilicit-változat referenciagörbéivel való összehasonlítás alapján a leletet valamivel 260 °C-nál nagyobb hőhatás érte.






**1. táblázat/c.** A dolgozatban bemutatott kísérlet- és archeometriai vizsgálatsorozatban szereplő minták adatai. A vizsgálati eredmények részletes leírása a vonatkozó fejezetekben található (x: a minta mérőműszeres vizsgálata megtörtént).

Sorszám	Minta megnevezése	Fotó	Leírás	Vizsgálati eredmények			
				Termoanalízis	XRD	SEM/ESD	Infravörös spektroszkópia
16.	2003.6.530.		A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett ásatás leletanyagából származó áttetsző, szintiszta avasi limnoszilit-változat; 2 szélén kortexes, zsírfényes felületű, disztális pengetőredék, ellentétes irányú leválasztási negatívval-facettált talonnal. 9. négyzet, mélység: 10-40 cm				Az áttetsző, I. avasi limnoszilit-változat referenciagörbéivel való összehasonlítás alapján a leletet körülbelül 260 °C-os hőhatás érte.
17.	2003.6.554.		A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett ásatás leletanyagából származó barna színű, barna, fehér és lila sávós limnoszilit; vaskos, nagy szilánk. 9. négyzet, mélység: 35 cm				Az avasi limnoszilit II. változat referenciagörbéivel való összehasonlítás alapján 360 °C körüli hőhatás érte, de a III. változattal (a lelet nagyrészt barna színű) való összehasonlítva az eredmény nem egyértelmű.
18.	Szeleta I.		A Szeleta-barlang ásatása során a "főfolyosó hátsó része"-ből (II-IV. szint, leomlott agyagból) származó avasi limnoszilit. Magyar Nemzeti Múzeum, Pb. 1814 (1393)				Mindhárom avasi limnoszilit-változat mérési görbéjével való összehasonlítás alapján 360 °C körüli hőhatás érte
19.	Szeleta II.		A Szeleta-barlang ásatása során a "főfolyosó elejé"-ről (C/49. négyzet, I. szint, vörösesbarna agyag) származó avasi limnoszilit. Magyar Nemzeti Múzeum, Pb. 1815 (1276)				Mindhárom avasi limnoszilit-változat mérési görbéjével való összehasonlítás alapján 360 °C körüli hőhatás érte
20.	Sb-Méhész-tető		Sajóbáony-Méhész-tető 2014-es tisztázó ásatásából származó, zsírfényes felületű, vörös színű limnoszilit, egyis sarkán kortexszel. Előkerülési mélysége: 120 cm.				A leletet valószínűleg 260 és 360 °C közötti hő érte (az AVK III. mérési görbéjénél felmerült hibalehetőség szabta kereteken belül).

**1. táblázat/d.** A dolgozatban bemutatott kísérlet- és archeometriai vizsgálat sorozatban szereplő minták adatai. A vizsgálati eredmények részletes leírása a vonatkozó fejezetekben található (x: a minta mérőműszeres vizsgálata megtörtént; 18-19. fotó: Markó András, MNM).






Sorszám	Minta megnevezése	Fotó	Leírás	Vizsgálati eredmények			
				Termoanalízis	XRD	SEM/ESD	Infravörös spektroszkópia
21.	Metariolit I.		Bükkszentkereszt-Szénégető kőszekőnyersanyag-kitermelő helyről származó, hevítés jeleit mutató, fehér-rózsaszínű metariolit szilánk. Ringer Árpád gyűjtése.				A leletet a mérési eredmények alapján 300 °C-nál magasabb hőhatás érte.
22.	Metariolit II.		Bükkszentkereszt-Szénégető kőszekőnyersanyag-kitermelő helyről származó, laboratóriumi hőkezelt kemencében 300°C-ra hevített metariolit.				X
23.	Metariolit III.		Bükkszentkereszt-Szénégető kőszekőnyersanyag-kitermelő helyről származó, nyers metariolit szilánk; referencia				X
24.	Metariolit IV.		Bükkszentkereszt-Szénégető kőszekőnyersanyag-kitermelő helyről származó, sárgás-vöröses elszíneződést mutató metariolit				X
25.	Metariolit V.		Bükkszentkereszt-Szénégető kőszekőnyersanyag-kitermelő helyről származó, vöröses elszíneződést mutató metariolit				X

**1. táblázat/e.** A dolgozatban bemutatott kísérlet- és archeometriai vizsgálatssorozatban szereplő minták adatai. A vizsgálati eredmények részletes leírása a vonatkozó fejezetekben található (x: a minta mérőműszeres vizsgálata megtörtént).






Sorszám	Minta megnevezése	Fotó	Leírás	Vizsgálati eredmények			
				Termoanalízis	XRD	SEM/ESD	Infravörös spektroszkópia
26.	Egerbakta I.		Egerbakta-Láptavak, őskori kőeszköznyersanyag-kitermelő hely. Hevítés nyomait viselő, fehér-vörös (eredetileg fehér/szürke/zöldeskék) színű szilánk, ventrális termikus kipattanás negatívjával, a dorzális oldalon kortexszel.	X			Bár a leletet elszíneződése alapján valószínűleg magas hőhatás érte, ez nem derül ki egyértelműen a mérési eredményekből.
27.	Egerbakta II.		Egerbakta-Láptavak, őskori kőeszköznyersanyag-kitermelő hely. Sárgásbarna színű szilánk, egyik szélén vöröses elszíneződéssel.				X
28.	Egerbakta III.		Egerbakta-Láptavak, őskori kőeszköznyersanyag-kitermelő hely. Eredetileg sárgásbarna színű szilánk, nyílt tűzzel hőkezelve. Most bordó.	X			X
29.	Egerbakta IV.		Egerbakta-Láptavak, őskori kőeszköznyersanyag-kitermelő hely. Vasoxid sávok, zöldeskék színű szilánk, nyílt tűzzel hőkezelve. (TZH) Megégett, de nem színeződött el.				X
30.	Egerbakta, ref. I.		Egerbakta-Láptavak, őskori kőeszköznyersanyag-kitermelő hely. Nyers, zöldeskék színű szilánk, referencia I.	X			X

**1. táblázat/f.** A dolgozatban bemutatott kísérlet- és archeometriai vizsgálatssorozatban szereplő minták adatai. A vizsgálati eredmények részletes leírása a vonatkozó fejezetekben található (x: a minta mérőműszeres vizsgálata megtörtént).



Sorszám	Minta megnevezése	Fotó	Leírás	Vizsgálati eredmények			
				Termoanalízis	XRD	SEM/ESD	Infravörös spektroszkópia
31.	Egerbakta, ref. II.		Egerbakta-Láptavak, őskori kőeszköznyersanyag-kitermelő hely. Nyers, sárgásbarna színű szilánk, referencia II.				X
32.	2003.06.02		A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett ásatás leletanyagából származó, okker színű (belül zöldes színű) szilánk.	X			
33.	Egerbakta, 3 színű		Egerbakta-Láptavak, őskori kőeszköznyersanyag-kitermelő hely. Zöldeskék színű szilánk, sárgásbarna, illetve egyik szélén vöröses elszíneződéssel.				X
34.	Metariolit I. nyers		Bükkszentkereszt-Szénégető kőeszköznyersanyag-kitermelő helyről származó, világosszürke metariolitból készített levéleszköz (TZH)		X		
35.	Metariolit I. 870 °C		Bükkszentkereszt-Szénégető kőeszköznyersanyag-kitermelő helyről származó, világosszürke metariolitból készített levéleszköz (TZH) laboratóriumi hőkemencében hőkezelve		X		

**1. táblázat/g.** A dolgozatban bemutatott kísérlet- és archeometriai vizsgálat sorozatban szereplő minták adatai. A metariolit minták vizsgálati eredményeinek részletes leírására lásd: Tóth & Kristály, 2017 (x: a minta mérőműszeres vizsgálata megtörtént).

Sorszám	Minta megnevezése	Fotó	Leírás	Vizsgálati eredmények			
				Termoanalízis	XRD	SEM/ESD	Infravörös spektroszkópia
36.	Metariolit I. 870 °C lila		Az előző minta lilás elszíneződést mutató része		X		
37.	Metariolit II. nyers		Bükkszentkereszt-Szénégető kőeszköznyersanyag-kitermelő helyről származó, sötétszürke sávós metariolitból készített levéleszköz (TZH)		X		
38.	Metariolit II. 870 °C		Bükkszentkereszt-Szénégető kőeszköznyersanyag-kitermelő helyről származó, sötétszürke sávós metariolitból készített levéleszköz (TZH) laboratóriumi hk kemencében hőkezelve		X		
39.	Metariolit III. nyers		Bükkszentkereszt-Szénégető kőeszköznyersanyag-kitermelő helyről származó, sötétszürke metariolitból készített levéleszköz (TZH)		X		
40.	Metariolit III. 870 °C		Bükkszentkereszt-Szénégető kőeszköznyersanyag-kitermelő helyről származó, sötétszürke metariolitból készített levéleszköz (TZH) laboratóriumi hk kemencében hőkezelve		X		

**1. táblázat/h.** A dolgozatban bemutatott kísérlet- és archeometriai vizsgálat sorozatban szereplő minták adatai. A metariolit minták vizsgálati eredményeinek részletes leírására lásd: Tóth & Kristály, 2017 (x: a minta mérőműszeres vizsgálata megtörtént).

Leletanyag típus	Mennyiség db	Eloszlás %
Törmelék, pattinték (pattinték<1 cm)	5898	60,23%
Szilánkok	330	3,37%
Pengeszertű szilánkok és -töredékek	45	0,46%
Pengék és pengetöredékek	118	1,20%
Lamellák és lamellatöredékek (Szélesség<1 cm)	8	0,08%
Magkövek	72	0,74%
Ütőkövek	7	0,07%
Beazonosíthatatlan törmelék és szórvány	3315	33,85%
<b><i>Paleolit lelet típusok összesen</i></b>	<b>9793</b>	<b>100,00%</b>
Avasi limnoszilicit	9637	98,41%
Metariolit	95	0,97%
Egyéb (Miskolci Egyetemi nyersanyag, obszidián, jáspis, radiolarit, andezit, zempléni nyersanyagok, kvarcit, faopál)	61	0,62%
<b><i>Nyersanyag típusok összesen</i></b>	<b>9793</b>	<b>100,00%</b>
Kaparó	44	32,35%
Vakaró	2	1,47%
Fúró (pengén)	1	0,74%
Gyalu	2	1,47%
Véső	21	15,44%
Kombinált	12	8,82%
Szilánk munkaélel	21	15,44%
Völgyelt szilánk	17	12,50%
Völgyelt penge	6	4,41%
Hasogató	1	0,74%
Unifaciális levélkaparó	1	0,74%
Hegytöredék	2	1,47%
Balta	1	0,74%
Denticulé	5	3,68%
<b><i>Eszközök összesen</i></b>	<b>136</b>	<b>100,00%</b>
Szilánkmagkő	40	55,56%
Pengemagkő	9	12,50%
Bipoláris pengemagkő	4	5,56%
Lamella magkő	6	8,33%
Kombinált magkő	13	18,06%
<b><i>Magkövek összesen</i></b>	<b>72</b>	<b>100,00%</b>
Szilánk facettált talonnal	19	5,76%
Szilánk kortexes talonnal	3	0,91%
Szilánk sima talonnal	287	86,97%
Szilánk vékonyított bázissal, sima talonnal	5	1,52%
Szilánk hiányzó bázissal	16	4,85%
<b><i>Szilánkok összesen</i></b>	<b>330</b>	<b>100,00%</b>
Pengeszertű szilánk facettált talonnal	4	8,89%
Pengeszertű szilánk hiányzó bázissal	2	4,44%
Pengeszertű szilánk sima talonnal	39	86,67%
<b><i>Pengeszertű szilánkok összesen</i></b>	<b>45</b>	<b>100,00%</b>

Penge és lamella sima talonnal	2	8,33%
Penge és lamella facettált talonnal	22	91,67%
<b>Ép bázisú pengék és lamellák összesen</b>	<b>24</b>	<b>100,00%</b>
Valószínűleg termikus stigmákat viselő metariolit	6	1,70%
Valószínűleg termikus stigmákat viselő ütőkő	1	0,28%
Valószínűleg termikus stigmákat viselő avasi lsz.	339	96,31%
Túlégetett avasi limnoszilicit	6	1,70%
<b>Valószínűleg termikus stigmákat viselő paleolitok összesen</b>	<b>352</b>	<b>100,00%</b>
<b>Valószínűleg termikus stigmákat viselő paleolitok aránya a paleolit leletanyagban</b>		<b>3,59%</b>

**2. táblázat.** A Miskolc, Avas-Tűzkövesen 2002-ben végzett régészeti feltárás ásatási leletanyagának típus szerinti eloszlása

	Kísérlet 1		Kísérlet 2	
	Opálos		Vékony opálos	
	db	Súly (g)	db	Súly (g)
Használható darabok	1.	462	1.	1 783
	2.	2 365	2.	1 418
	3.	1 984	3.	2 747
	4.	1 890	4.	2 870
	5.	1 612	5.	2 820
	6.	403	6.	2 319
	7.	237	7.	360
	8.	123	8.	227
	9.	1 200	9.	346
	10.	558	10.	78
	11.	322		
	12.	2 518		
	13.	709		
<b>Össz.:</b>		<b>14 383</b>	<b>10</b>	<b>14 968</b>
Közepes darabok	1.	146	1.	59
	2.	24	2.	23
	3.	59	3.	28
	4.	96	4.	108
	5.	72	5.	109
	6.	29	6.	23
	7.	54	7.	40
	8.	118	8.	39
	9.	39	9.	78
	10.	52		
	11.	99		
	12.	101		
	13.	163		
<b>Össz.:</b>		<b>1 052</b>		<b>507</b>
Kisebb, még használható szilánkok	<b>24</b>	<b>207</b>	<b>5</b>	<b>23</b>
Törmelék		<b>2 173</b>		<b>932</b>
<b>Mindösszesen</b>		<b>17 815</b>		<b>16 430</b>

3. táblázat. A „kovapad törési kísérlet” eredménye.

Tűz típusa	Maximális hőfok (C°)	Égésidő (min.)	Korabeli beszerezhetőség
Fa	410	190	Viszonylag nehéz
Száraz trágya	470	130	Könnyű
Friss csont	438	130 (+ x)=kb. 190	Nehéz és veszélyes

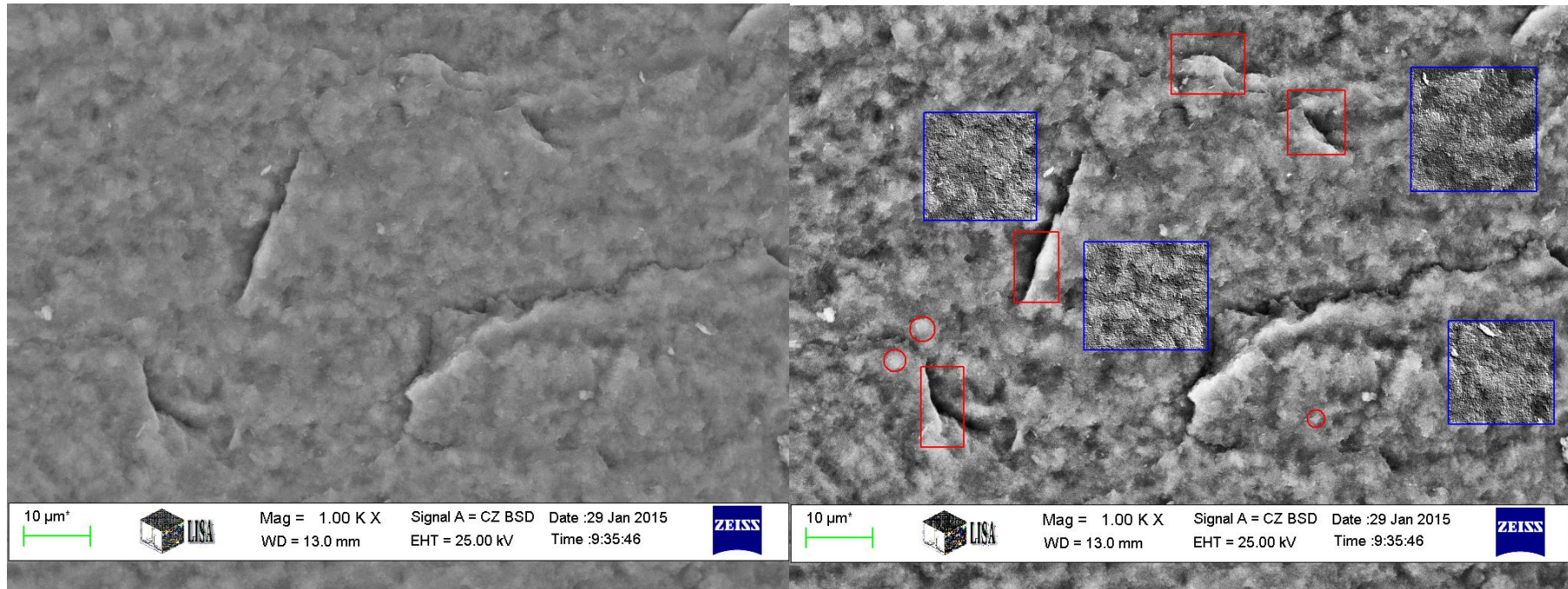
**4. táblázat.** *A három tüzelőanyag hatásosságát összehasonlító mérőműszeres kísérlet eredménye*

	Próbadarab	magasság [mm]	hosszúság [mm]	szélesség [mm]
1	1. hőkezelt	7.26000	18.30000	13.70000
2	1.	7.80000	17.80000	14.22000
3	2. hőkezelt	7.00000	18.00000	14.30000
4	2.	6.80000	17.00000	14.40000
5	3. hőkezelt	8.40000	28.40000	21.20000
6	3.	8.80000	27.70000	20.70000
7	4. hőkezelt	9.10000	22.10000	19.20000
8	4.	8.70000	22.40000	18.70000
9	5. hőkezelt	8.50000	25.60000	16.90000
10	5.	8.20000	25.90000	16.00000

**5. táblázat.** *A nyomószilárdság-vizsgálat alá vetett avasi limnoszilit minták paraméterei.*

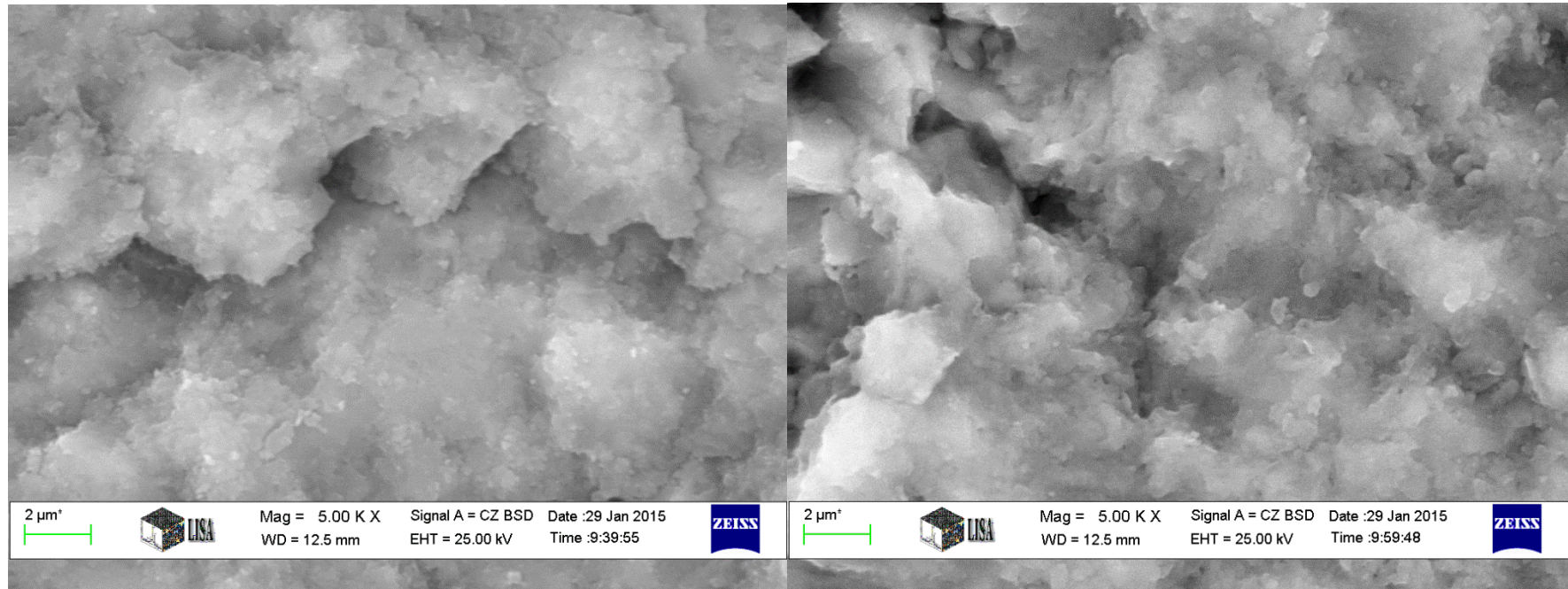
**MELLÉKLET IV.**

**PÁSZTÁZÓ ELEKTRONMIKROSZKÓPOS FELVÉTELEK**

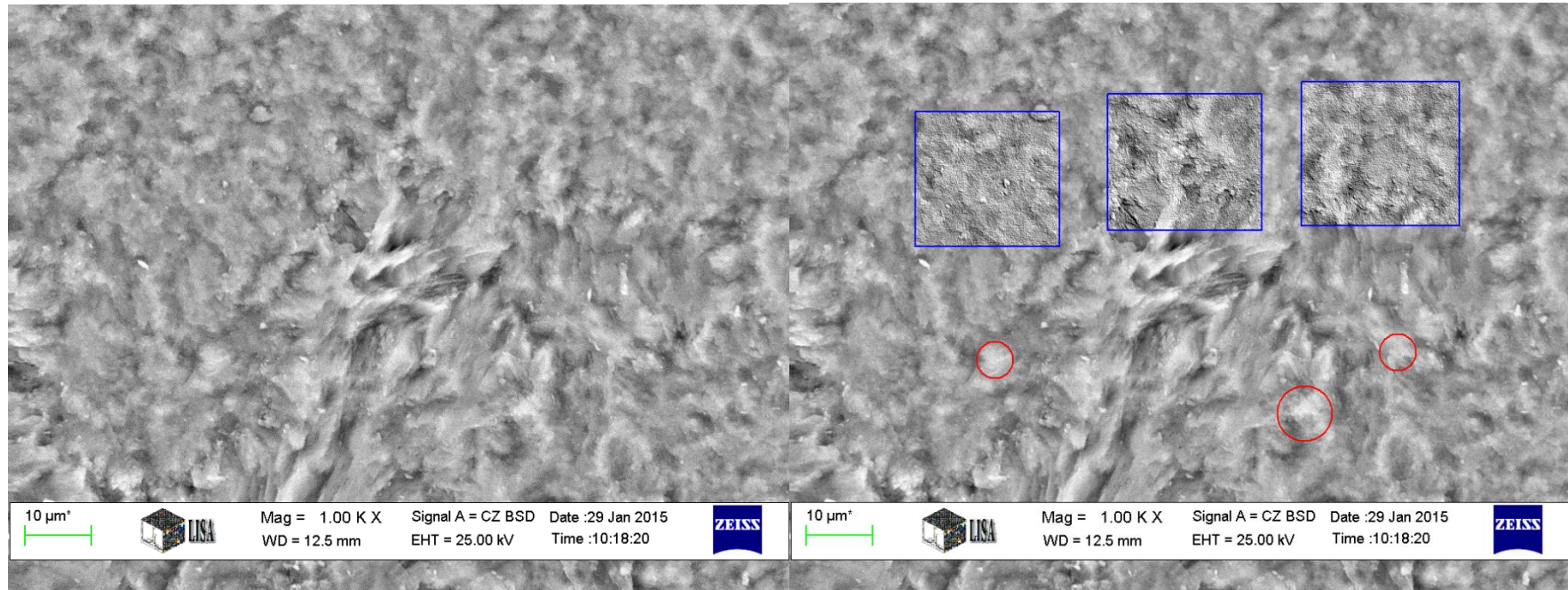


1. **ábra.** BSE felvételek a nyers avasi limnoszilit színtelen, áttetsző (I.) változatának szövetszerkezetéről, melynek jellemzői a mikrométeres szemcseméret, cca.  $2\ \mu\text{m}$  körüli izometrikus szemcsék (bekarikázva) között mikrométer alatti rostos, pelyhes anyaggal. Az izometrikus szemcséket körül ölelő anyag  $10\ \mu\text{m}$  alatti pikkelyes aggregátumokban válik fel, négyzettel jelölve zajsűrt részleteket emeltünk ki, ahol a pikkelyes aggregátumok mérete és alakja jobban észlelhető; a nagyobb  $10$  és  $50\ \mu\text{m}$  közötti üregek feltehetőleg nem törési nyomok, de szerepet játszanak a törés – repedés kialakulásában; a markáns üregek esetében a szilánkok peremén (téglalappal jelölve) nem észlelhető a rostos pelyhes anyag.



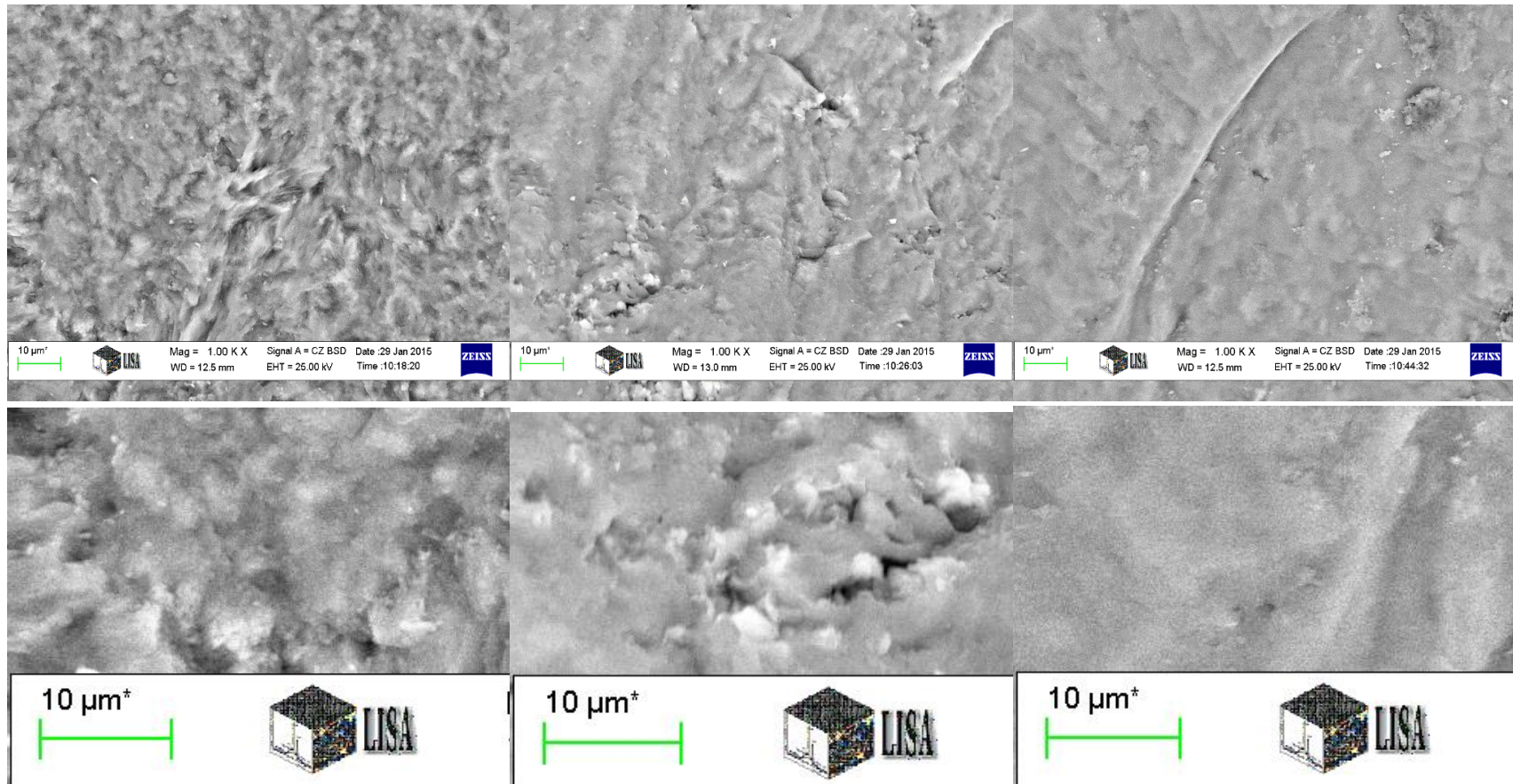


- 2. ábra.** BSE felvételek az I. típusú avasi limnoszilit nyers (balra) és 360 °C-on hőkezelt (jobbra) mintáinak szövetszerkezetéről. Hőkezelés hatására a rostos, pelyhes kitöltő anyag aránya csökken, a pikkelyes aggregátumok szegélye élesebbé válik és jobban elkülönülnek. A legkisebb pikkelyes részecskék mikrométer alattiak, ezek a hőkezelés után válnak egyértelműen láthatóvá. Az XRD vizsgálattal tapasztalt amorf anyag csökkenés és átkristályosodás valószínűleg a rostos, pelyhes víztartalmú SiO<sub>2</sub> zsugorodását és kvarccá történő átalakulását mutatja.

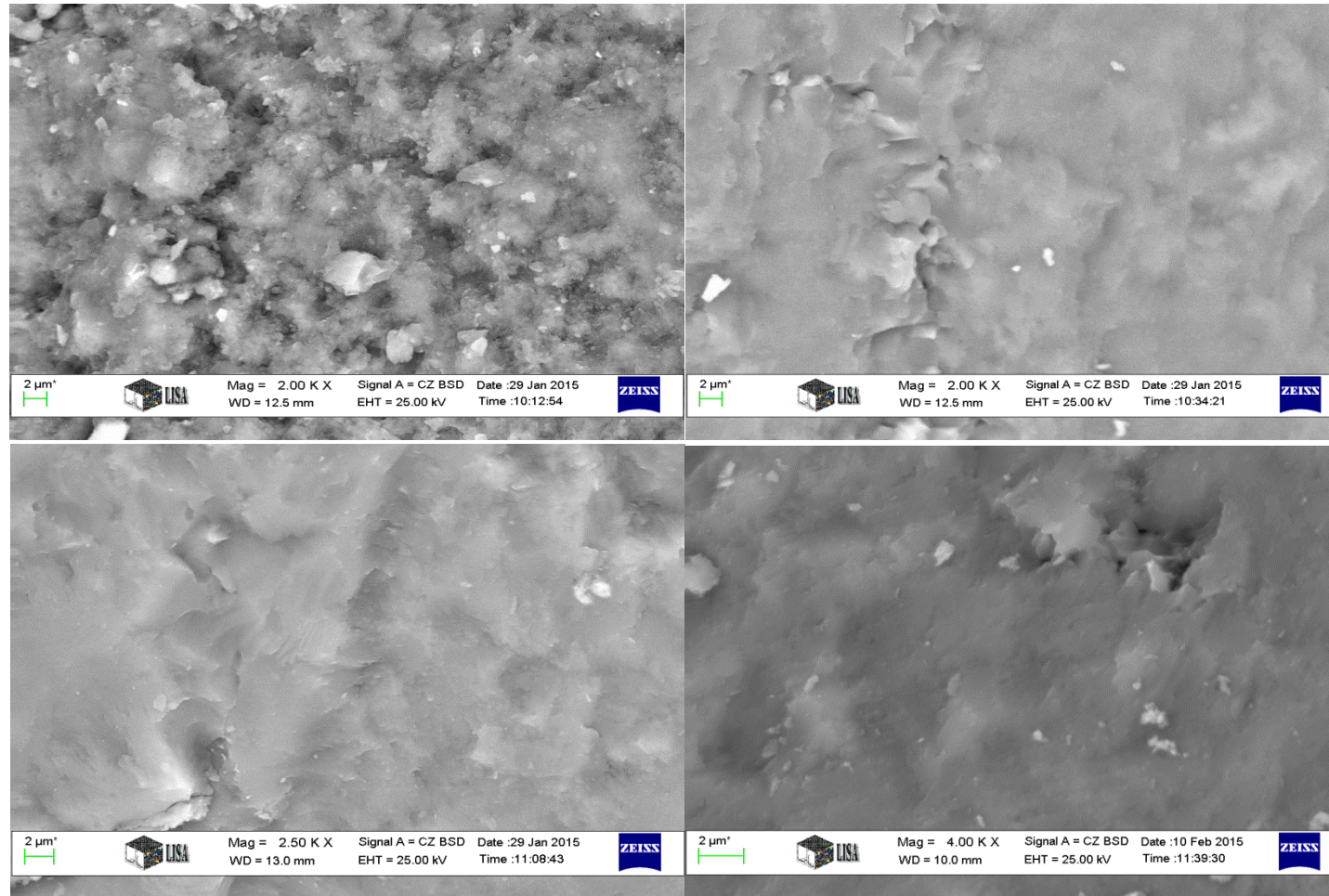


3. **ábra.** BSE felvételek a nyers avasi limnoszilicít barna-fehér sávos (II.) változatának szövetszerkezetéről, melynek jellemzői a mikrométeres szemcseméret, cca. 2 µm körüli izometrikus szemcsék (bekarikázva) között mikrométer alatti rostos, pelyhes anyaggal; izometrikus szemcséket körül ölelő anyag 10 µm alatti pikkelyes aggregátumokban válik fel, négyzettel jelölve zajszírt részleteket emeltünk ki, ahol a pikkelyes aggregátumok mérete és alakja jobban észlelhető; a nagyobb 10 és 50 µm közötti üregek feltehetőleg nem törési nyomok, de szerepet játszanak a törés – repedés kialakulásában; a markáns üregek esetében a szilánkok peremén (téglalappal jelölve) nem észlelhető a rostos pelyhes anyag.



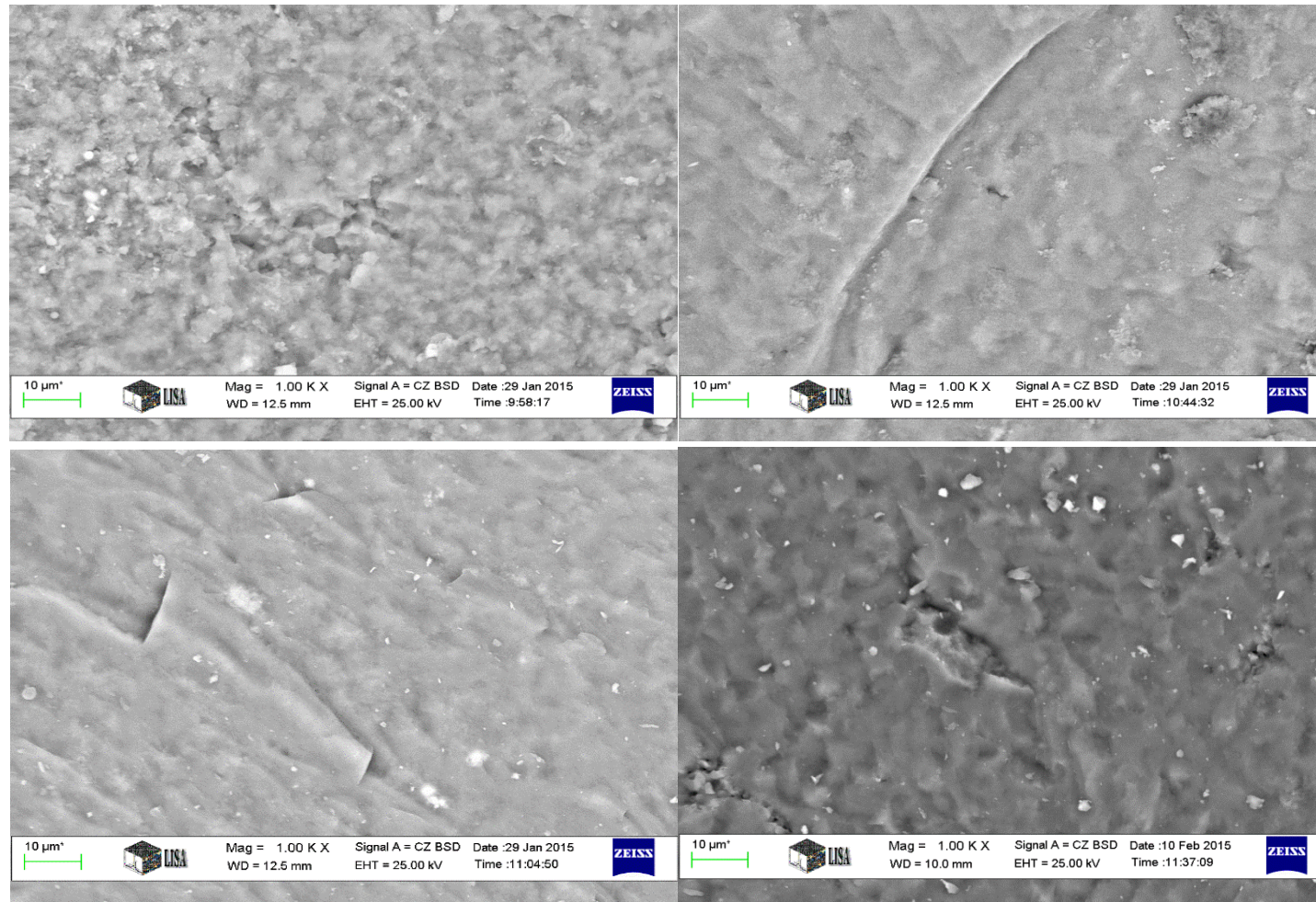


4. **ábra.** BSE felvételek az avasi limnoszilit barna-fehér sávós (II.) változatának szövetszerkezetéről (balra: nyers minta; közepen: 260 °C –on hőkezelt minta; jobbra: 360 °C –on hőkezelt minta). A nagyított felvételeken megfigyelhető a cca. 2 μm körüli izometrikus szemcsék közötti mikrométer alatti rostos, pelyhes anyagnak a hő hatására történő, fokozatos eltűnése (átkristályosodás =termális metamorfózis).

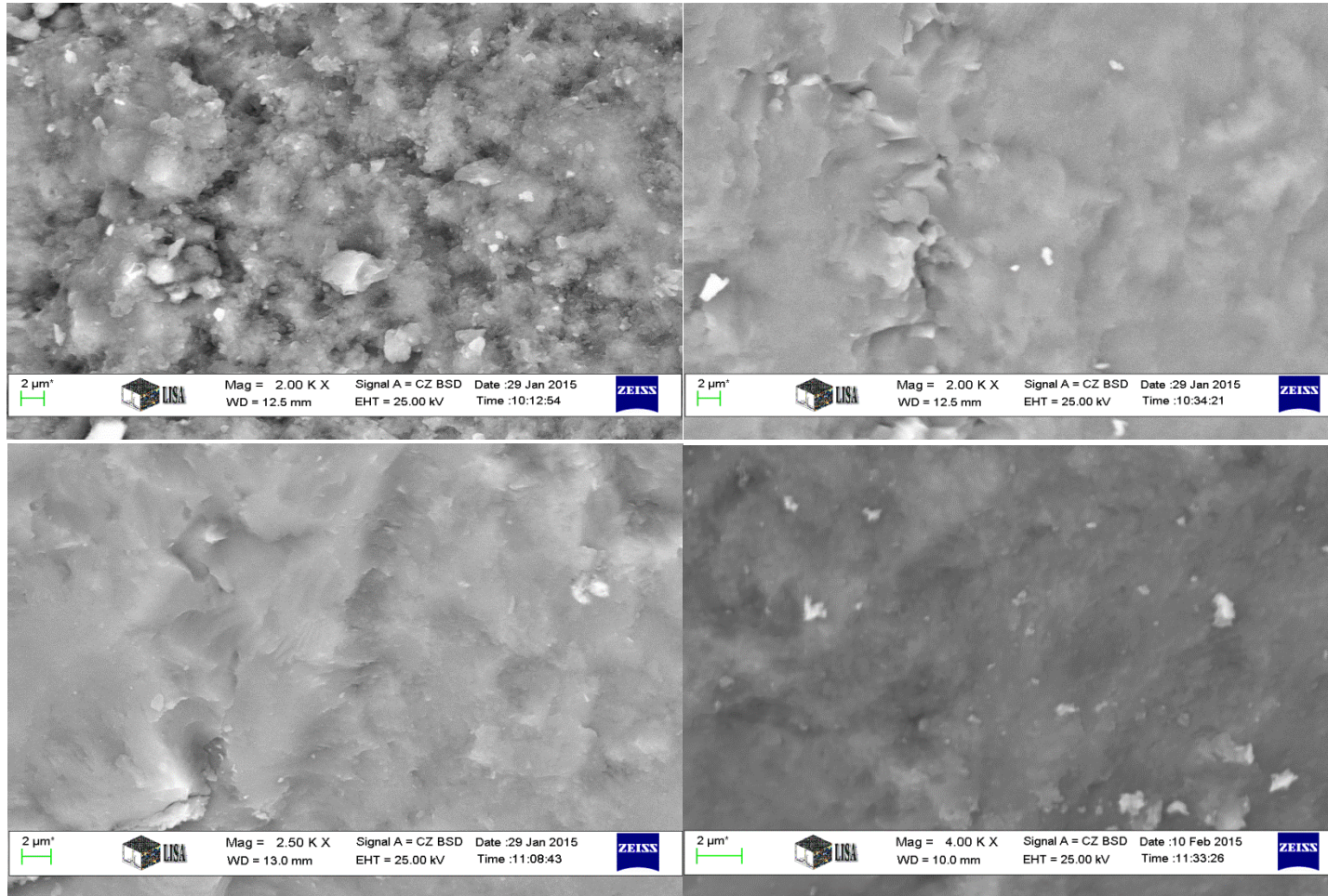


5. **ábra.** BSE felvételek a 360 °C-on hőkezelt I. (balra fent), II. (jobbra fent), és III. (balra lent) típusú avasi limnoszilit mintákról és a 2003. 23. 1050. leltári számú, vöröses elszíneződésű avasi lsz. töredékből vett mintáról (jobbra lent), amely mind a II., mind a III. mintákhoz is hasonlít.



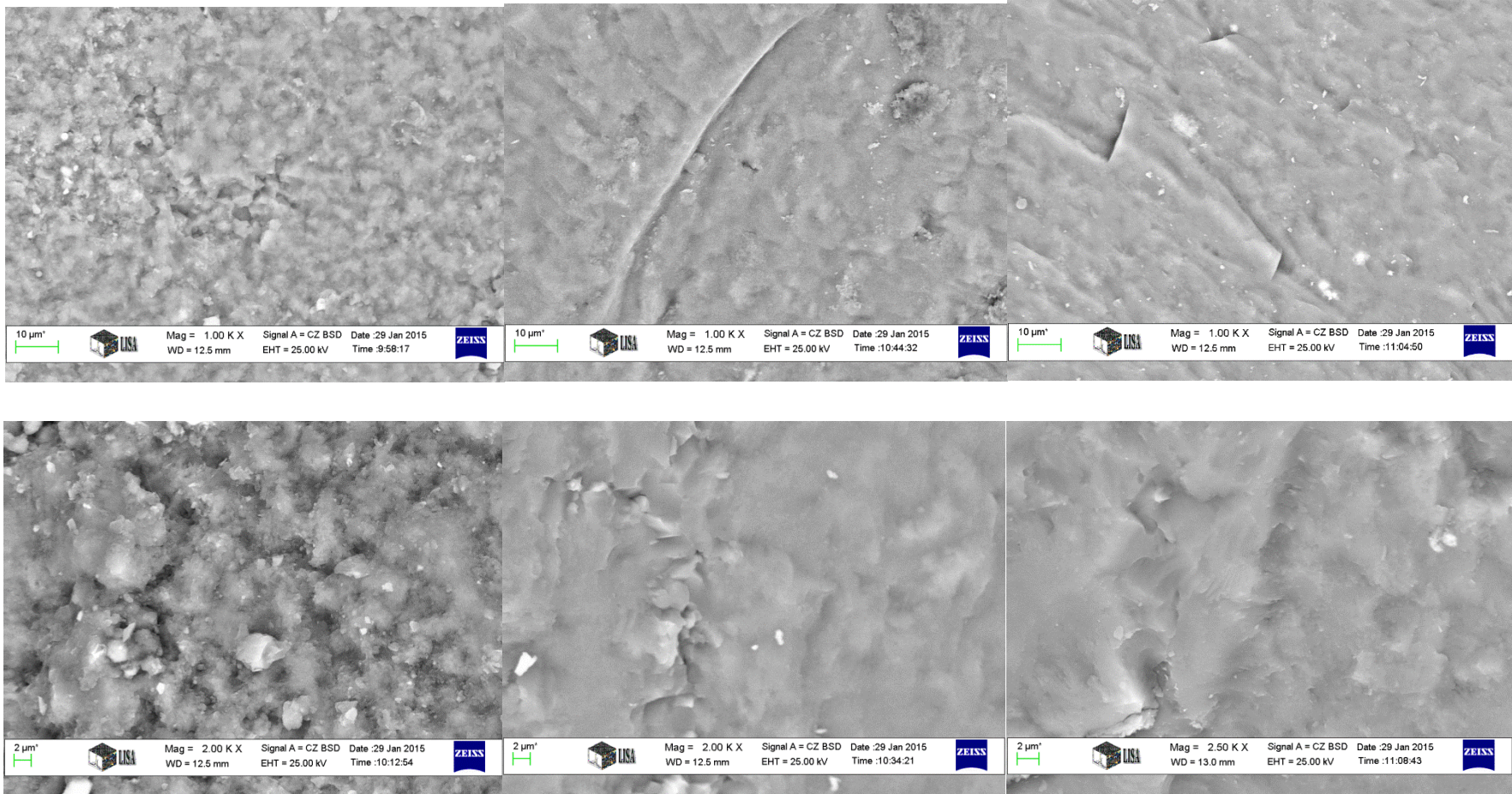


6. ábra. BSE felvételek a 360 °C-on hőkezelt I. (balra fent), II. (jobbra fent), és III. (balra lent) típusú avasi limnoszilicít mintákról és a 2003. 23. 1050. leltári számú, vöröses elszíneződésű avasi lsz. töredékből vett mintáról (jobbra lent), amely mind a II., mind a III. mintákhoz is hasonlít.

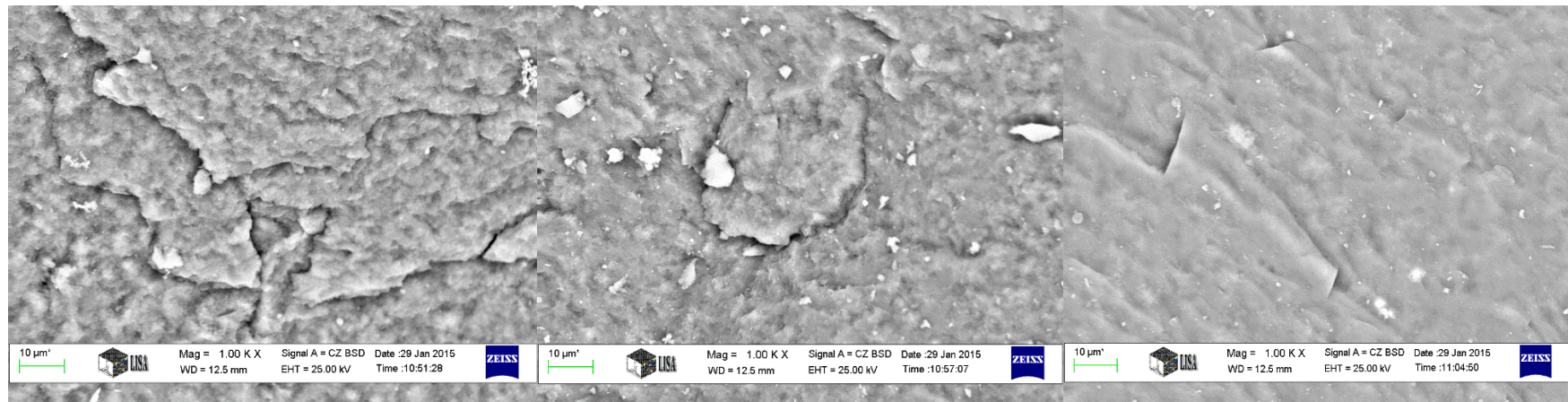


7. **ábra.** BSE felvételek a 360 °C-on hőkezelt I. (balra fent), II. (jobbra fent), és III. (balra lent) típusú avasi limnoszilit mintákról és a 2003. 23. 923. leltári számú, vöröses elszíneződésű avasi lsz. töredékből vett mintáról (jobbra lent), amely mind a II., mind a III. mintákhoz is hasonlít.



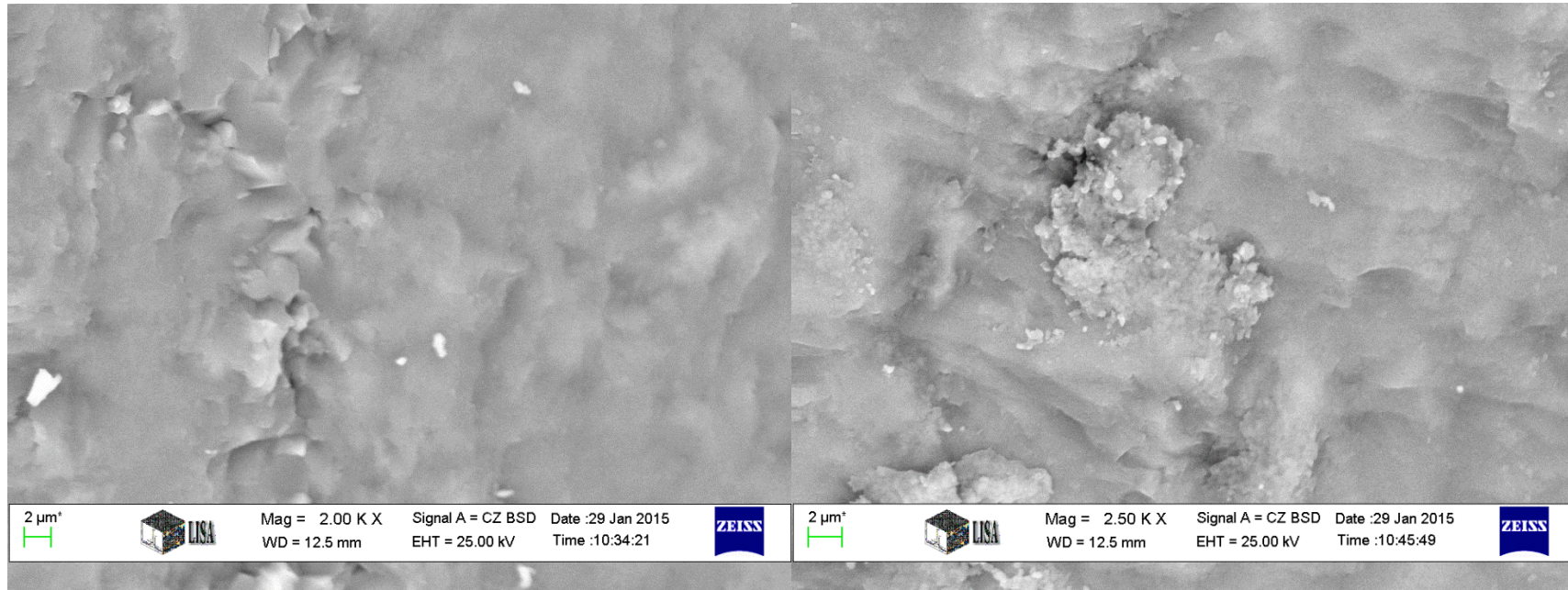


8. **ábra.** BSE felvételek a 360 °C-on hőkezelt I. (balra), II. (középen), és III. (jobbra) típusú avasi limnoszilicit minták szövetszerkezetéről százszoros (felső sor) és kétszázszoros (alsó sor) nagyításban. A II. és III. változatot ezzel a módszerrel nem lehet megkülönböztetni egymástól.



**9. ábra.** BSE felvételek a III. típusú avasi limnoszilit minták (nyers, balra; 260 °C-on hőkezelt, középen; 360 °C-on hőkezelt, jobbra) szövetszerkezetéről százszoros nagyításban. 260 °C hatására még nem következik be látványos változás a nyersanyagban, ehhez képest az ekkora hőhatásra a nyersanyagban bekövetkező vízvesztés a FTIR vizsgálattal már egyértelműen kimutatható.





**10. ábra.** BSE felvételek a 260 °C –on (balra) és 360 °C –on hőkezelt, II. típusú avasi limnoszilit szövetstruktúrájáról. Bár a pikkelyek szélei elmosódtak ( $\text{SiO}_2$  képződés, a nyersanyagban található kis kvarczárványok változatlanok maradtak. Az át- és újrakristályosodás hozzávetőleges mértékét (ezzel együtt a nyersanyagot ért hő viszonylag pontos értékét) a rendelkezésre álló módszerek közül tehát egyedül csak a FTIR segítségével lehet megállapítani.