

Masarykova univerzita

PETROARCHEOLOGIE KERAMIKY

V HISTORICKÉ MINULOSTI MORAVY A SLEZSKA

Miroslava Gregerová
a kolektiv

RENATA ČOPIJKOVÁ
VERONIKA BERÁNKOVÁ
PETR BIBR
VLADIMÍR GOŠ
DANA HANULÁKOVÁ
MARTIN HLOŽEK
BLANKA HOLUBOVÁ-ZÁVODNÁ
LUCIE KRISTOVÁ
ZUZANA KULJOVSKÁ
JIŘÍ MACHÁČEK
MARIAN MAZUCH
RUDOLF PROCHÁZKA
RADEK ŠKODA
DALIBOR VŠIANSKÝ

Brno 2010



PŘEDMLUVA

1

Kompendium bylo vypracováno pro potřeby interdisciplinárních studií archeologie s geologií a dále pak je určeno všem pracovníkům materiálových věd, pro které není mineralogie a petrografie hlavním zaměřením. Je určeno pro širší čtenářskou obec, kterou zajímá pohled do mikrostruktury archeologických keramických materiálů.

Motivací k sestavení uvedeného kompendia byla skutečnost, že v České republice není k dispozici žádná publikace, která by shrnovala přehled o látkovém složení, mikrostrukturách a chemickém složení keramických artefaktů. Jsou dostupné pouze www stránky, nejčastěji britských a kanadských autorů, které poskytují pouze základní informace, nebo předkládají vybrané publikace orientované lokálně. Určitým způsobem sumarizující práce předložila v druhé polovině minulého století Shepard (1956, 1966, 1971).

Autoři si v žádném případě nekladli za cíl vypracovat knihu shrnující rozsáhlé zahraniční publikace, ani duplikovat www stránky řady keramografů a archeologů, ale naopak co nejjednodušší a nejsrozumitelnější formou zpřístupnit základní údaje o horninovém, minerálním a chemickém složení a mikrostrukturách archeologické keramiky, které můžeme identifikovat laboratorním a zejména mikroskopickým studiem.

V první části tohoto spisu jsou jednoduchou a stručnou formou shrnuty základní informace o petroarcheologii keramiky a metodách jejího studia, základní charakteristika významných minerálních skupin, které lze identifikovat petrografickým mikroskopem.

Druhá část je pojata historicky a představuje výsledky dosažené pomocí petroarcheologických metod v oblasti poznání keramických artefaktů Moravy a Slezska.

Třetí část pak představuje fotodokumentace nádob a studovaných artefaktů z vybraných lokalit, fotodokumentace mikrostruktur, pojiva a ostríva (minerálů a horninových klastů). Pro zhotovení mikrofotodokumentace byly použity výbrusové preparáty z vlastních sběrů autorů, pocházející z petroarcheologických studií moravské a slezské provenience.

Základní mikropetrografická data o archeologické keramice vycházejí i z poznatků a experimentálních ověřovacích studií realizovaných v diplomových pracích, M. Gregerovou a řadou spolupracovníků.

Monografie by nemohla být vydána bez příspěví VVZ č. MSM 0021622427 „Interdisciplinární centrum výzkumů sociálních struktur pravěku až vrcholného středověku. Archeologický terénní a teoretický výzkum, využití přírodních věd, metodologie a informatika, ochrana kulturního dědictví“.

HISTORICKÁ KERAMOGRAFIE

3

Výroba keramiky započala v mladším paleolitu a svůj post si udržela do dnešní doby, kdy směle konkuruje výrobkům ze skla, kovu a plastu. Jde o jedno z nejstarších řemesel a přestože dnešní dobu ovládá průmyslový trh, který ročně vyprodukuje velké množství sériových kusů nádobí, máme stále možnost objevit tradiční techniku a lásku k řemeslu u soukromých keramiků, experimentátorů v oboru.

Rostoucí zájem o látkovou i tvarovou variabilitu keramických výrobků vedl zhruba v polovině minulého století k osamostatnění keramografie⁴ (Ryshkevitsch, 1953, 1960). Keramografie poskytuje spolehlivou informaci o vlastnostech keramických materiálů, každý odlišný typ materiálu vyžaduje speciální metodiku studia. Keramologie je považována za obecnou disciplínu studia keramiky. Výzkum keramiky je rozdělen do mnoha oborů (archeologie, historie umění, etnografie, historie). Zahrnuje vznik (poznání technologické, poznání surovin, tváření, výpalu, glazury) funkci, opotřebení a degradaci (např. uložením v půdě) historické keramiky. Archeologie se více vždy soustředila na část jevovou (bytí), zájem o technologii se objevuje až v posledních několika desítkách let (Klug 1988). V ČR se na jejím rozvoji podílel již v minulém století R. Bárta (např. Bárta, Konta, Lhota 1951).

Keramický materiál obsahuje výjimečně pouze jeden druh krystalické fáze (minerálu), zpravidla jich obsahuje více. V keramice po výpalu můžeme identifikovat reliktů nezreagovaných surovin, jeden nebo více druhů minerálů, vzniklých žárovými reakcemi, a často sklo. V pórech bývá uzavřená plynná fáze.

Označení **keramika** pochází z řeckého slova **keramos** (hlína, zboží). Označuje výrobky z různých typů hlíny (často s příměsí dalších minerálů a úlomků hornin), které vznikly tvarováním a vypalováním.

3.1 Keramické suroviny

Tradiční keramická výroba je založena na použití jemných zemin, jež mají schopnost tvořit s vodou dobře tvárné tzv. plastické těsto. Čím je však surovina platičtější, tím se více smršťuje při sušení a pálení. To vede obvykle ke vzniku trhlinek a praskání výrobků. Proto se k zemině přidávají ostřiva, tj. materiály, které se nesmršťují, ale na druhé straně poněkud omezují tvárnost. Třetí složkou tvoří taviva. Z pohledu současných technologií se keramické suroviny rozdělují podle původu na přírodní, syntetické, druhotné (odpadové). Keramické suroviny se rozdělují i podle funkcí v keramické výrobě a současně podle jejich základních vlastností (Konta 1982).

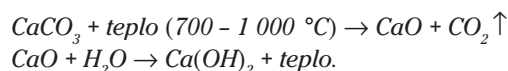
Pro účely archeologické keramiky je vhodnější rozdělení podle hlavní funkce v keramické směsi.

3.1.1 Hlavní keramické suroviny

Plastické suroviny, tj. plastické zeminy – usnadňují zpracovatelnost při tvarování. Mají schopnost tvořit s odpovídajícím množstvím vody tvárné těsto. Výrobky z něho zhotovené si podrží vymodelovaný tvar. Patří mezi ně jíly, eolické spraše, sedimenty říčních niv, hlíny, které se v přírodě vyskytují v různých stupních znečištění. Nejčistší bílá plastická zemina je kaolín, obsahující jako hlavní složku jílový minerál kaolinit.

Ostřiva – suroviny neplastické – snižují smrštění při sušení a výpalu, ve srovnání s plastickými surovinami jsou poměrně hrubozrnné a neporézní. Používají se např. křemenný písek, úlomky hornin, silně písčité hlíny, vápence, látky uhlíkaté (grafit, biomasa), nebo úlomky starší keramiky. I v současné době se v řadě tradovaných technologií používá jako ostřivo drcených mušlí. Např. indiáni kmene Oneota toto ostřivo používají pro zvýšení odolnosti keramiky proti tepelným šokům (Carter 2002).

Vápená ostřiva jsou nevhodná, pokud je keramika vypalována při teplotách vyšších než 700 °C v oxidačním prostředí a 750 °C v prostředí redukčním. Při těchto teplotách se vápenc (CaCO₃) rozkládá na CO₂ a CaO. CaO vlivem vzdušné vlhkosti hydratuje, vzniká Ca(OH)₂. Reakce je doprovázena výraznou změnou objemu. Vlivem zvětšujícího se objemu se zvyšuje vnitřní napětí a vznikají ruptury.



Indiáni kmene Shipibo-Conibo, obývající přítok Amazonky Ucayali v Peru, ostří keramická těsta zuhelnatěnou biomasou a keramickými střepy. Nadrcenou a prosetou kůru stromů rodu Licania, obsahující vysoký podíl křemíku, nedokonale spalují a takto vzniklým dřevěným uhlím ostří keramickou hmotu. Stejně tak používají drť keramických střepů, které zrnitostně upravují proséváním. Preferují starou keramiku, protože je lehčí a lépe se drtí. Proto je také skládka staré keramiky nedílnou součástí sídliště (DeBoer, Lantharp 1979).

Ostřiva ovlivňují vlastnosti keramických výrobků během zpracování, sušení i výpalu. Vlastnosti keramické směsi pak závisí na jejich obsahu, granulometrii, tvaru a na způsobu zpracování. Při běžné teplotě ovlivňují tvarovací vlhkost směsi, plastičnost, zpracovatelnost a plastickou pevnost. Během sušení ovlivňují smrštění výrobku sušením, kritickou vlhkost a mechanickou pevnost během sušení. V průběhu výpalu ovlivňují mechanické vlastnosti keramického materiálu, smrštění pálením, pórovitost, rychlost slinování a optimální teplotu výpalu. Po výpalu se projeví zejména v mechanických vlastnostech keramického materiálu, v charakteru mikrostruktury střepu a jeho fyzikálních vlastnostech. Ostřivo ovlivňuje reologii keramické směsi, smrštění a mechanické vlastnosti během jejího technologického zpracování.

Výroba klasické keramiky je založena na přírodních surovinách (jíl, křemen, živec), tj. na surovinách které jsou levné a snadno dostupné. Přehled moderní

⁴ Podle Ottovy encyklopedie je význam pojmu **keramografie** – keramografika (řec.) poněkud jiný: „Jde o malbu prováděnou na porculánu a nádobí hliněném vůbec“.

keramiky, její výrobu a uplatnění velmi detailně popsali Hanykýř, Kutzendörfer (2002).

Archeologická keramická výroba využívala přírodní suroviny, tj. takové suroviny, které nebylo nutné upravovat, nebo vyžadovaly minimální úpravu.

Zeminy

Přírodní plastické suroviny jsou stavební terminologií označovány jako zeminy (Lach 1965, 1967, 1974, 1986, Hlaváč 1988, Pytlík 1995, Pytlík, Sokolář 2002). Jde o cihlářské jíly, cihlářské hlíny, spraše a sprašové hlíny. Mezi jednoduché úpravy plastických surovin patří např. odlehování zemin (zimování nebo letnění). Potřebná homogenizace byla zajišťována haldováním.

Zemina je termín používaný zejména v inženýrsko-geologické klasifikaci hornin a je založený na jejich soudržnosti.

Jde o nezpěvněné horniny, které se dále dělí na:

- soudržné – jíly;
- nesoudržné – písky, šterky;
- organické – rašeliny atd.

Zeminy se skládají z pevných částic, vody a prostor vyplněných vzduchem. Z hlediska stavebnictví se zeminy dělí podle granulometrie (velikosti částic) na:

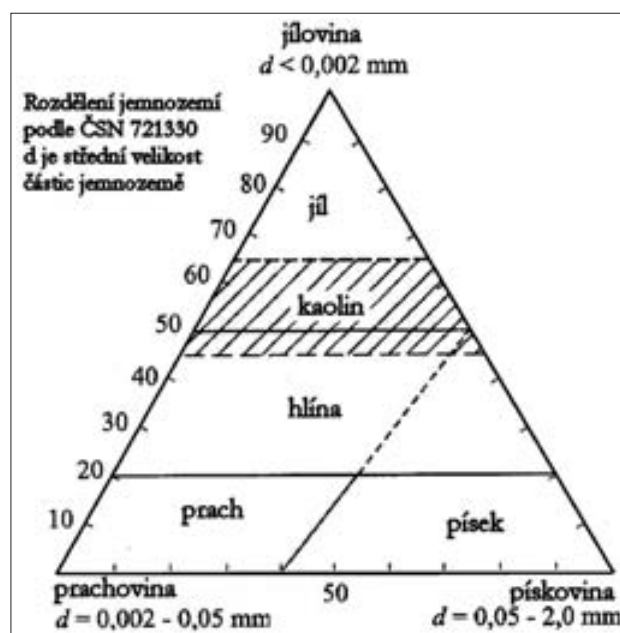
1. jemnozrnné (jednotlivé částice nelze spatřit pouhým okem) tzv. jemnozeme;
 - jíly (velikost částic do 0,004 mm);
 - hlíny (velikost částic 0,004 až 0,063 mm);
2. hrubozrnné (velikost částic lze spatřit pouhým okem);
 - písek (velikost částic 0,06 až 2 mm);
 - šterk (velikost částic 2 až 63 mm);
 - valouny (velikost částic 63 až 250 mm);
 - balvany (velikost částic více než 250 mm)⁵.

Klasifikace se může mírně odlišovat v jednotlivých zemích či dle různých autorů. Základním kriteriem třídění zemin je granulometrické složení (viz výše).

Podle procentuálního zastoupení jednotlivých frakcí je tvořeno názvosloví:

- **jíly** – zeminy s obsahem 50–100 % jíloviny (frakce <0,004 mm), 0–50 % prachoviny, 0–50 % pískoviny;
- **hlíny** – zeminy s obsahem 20–50 % jíloviny, 0–80 % prachoviny (frakce 0,004–0,063 mm), 0–80 % pískoviny (0,063–2 mm);
- **prachy** – zeminy s obsahem 0–20 % jíloviny, 35–100 % prachoviny a 35–45 % pískoviny;
- **písky** – zeminy s obsahem 0–20 % jíloviny, 35–60 % prachoviny a 40–100 % pískoviny (viz obr. 3.1:1).

Jíly, zeminy a horniny používané v keramografii lze rozdělovat podle řady kritérií. Z hlediska sedimentologického se dělí podle stupně zpevnění na: jíly – jílovce – jílové břidlice; slíny – slínovce – slínité břidlice; prachy (aleurity, silty) – prachovce (aleurolity, siltovce) – prachové (aleuritové siltové) břidlice (Konta 1972, Konta 1982, Kukul 1985).



Obr. 3.1:1 Klasifikační diagram používaný pro třídění zemin (ČSN 72 1330).

Označení jíly používáme pro nezpěvněné usazené horniny složené převážně z jílových minerálů. Na rozdíl od zpevněného jílovce se jíly snadno rozplavuje ve vodě a hnětením poskytuje plastickou hmotu. Zrnitostně jsou jíly nejjemnější usazené horniny. Jejich složení závisí na chemismu matečných hornin, na klimatu, pH a Eh sedimentačního prostředí. Jíly obsahují běžně různé příměsi, např. vápenaté nebo písčité. Jíly se klasifikují podle minerálního složení (např. kaolinitové, montmorillonitové, illitové), podle původu (např. říční, jezerní, mořské jíly) nebo podle užití (např. žárovzdorný jíly). Mnohé jíly a jílovce jsou stále vyhledávanými surovinami, zejména pro keramický průmysl (výroba cihel, střešní krytiny).

U jemnozemi nelze pozorovat jednotlivé částice pouhým okem. Velikost částic se určuje analýzou pomocí hydrometru (podle rychlosti sedimentace ve vodě).

Hrubozrnné částice se řadí do tříd na základě síťových rozběrů (přesítování pomocí různých hrubých sítí).

Tak je možné určit podíl částic v jednotlivých skupinách.

Vedle klasifikace založené na granulometrii se u zemin hodnotí i další parametry, jako např.:

- konzistence (u jíly);
- plasticita;
- tvar jednotlivých částic atd.

Přirozenou součástí zemin je voda. Obsah vody v konkrétním typu zeminy má (někdy rozhodující) vliv na schopnost ztuhnutí. Pokud provedeme pro konkrétní typ zeminy sérii hutnicích pokusů při různém obsahu vody a vyneseme do grafu závislost maximálně dosažené hustoty (v suchém stavu) na obsahu vody, obdržíme pro každý typ zeminy určitou křivku, na které lze odečíst maximum; tj. obsah vody, při kterém je možné dosáhnout nejvyššího stupně ztuhnutí (Forssblad 1981).

5 Konta (1972), Kukul (1985)

Naopak, některé typy zemin vůbec nelze ztuhit, pokud je obsah vody v nich obsažený příliš nízký (např. suchý písek), či příliš vysoký (vodou rozmočený jíl). U běžných zemin (jíl, hlína, písek) se jako nejrychlejší metoda ověření vhodného obsahu vody doporučuje sevřít v dlaní hrst zeminy: pokud se zemina rozpadá, je obsah vody příliš nízký. Pokud naopak ze zeminy můžeme vymačkat vodu, je obsah vody příliš vysoký. Při správném obsahu vody lze ze zeminy vytvořit hrudku.

Z hlediska petrologického je hlína (Konta 1972) neztuhlejší, cementačně klastický sediment, výrazně polymikrostrukturní, který zahrnuje několik smíšených druhů sedimentů v řadě písek – prach (silt) – jíl (obr. 3.1:2). Podle převahy těchto složek rozlišujeme hlíny pískové, prachové a jílové.

Z hlediska genetického lze hlíny dělit například na:

- Eluviální (reziduální hlína) – netransportovaná cementačně klastická akumulace, mající vtaž k podložní hornině;
- deluviální čili svahové hlíny – vznikající na svazích gravitačními pohyby;
- jeskynní (většinou povodňové hlíny) – souvisejí se sedimenty povrchovými;
- morénové – vzniklé činností horských či kontinentálních ledovců, zvláštním typem jsou např. souvkové hlíny – tvořené písčitymi hlínami až hlinitými písky s vtoušenými souvkami i bloky transportovaných hornin. Často mají plástevnatou mikrostrukturu, v odborné literatuře se označují jako till;
- nivní – uloženy v údolních nivách řek, jsou bohatší organickým uhlíkem a často i karbonátem, charakteristické je gradací zvrstvení;
- sprašové – vzniklé činností větru (větrem transportované a uložené), mají žlutavou až nahnědlou barvu, za sucha jsou měkké, lze je rozemnout v prstech, tvoří je převážně jemný křemitý prach (0,001–0,05 mm), převládají ve vyšších nadmořských výškách (od 300–500 m), jsou nevápnité, často se hrudkují a pak se označují jako drťové sprašové hlíny nebo spraše pahorkatin (běžně se i v nich objevuje určitý podíl mikritového karbonátu).

Sprašové hlíny s nízkým obsahem CaCO_3 jsou využívány jako cihlářské suroviny společně se svahovými hlínami. Jejich ložiska se nacházejí po celém území České republiky.

Termín hlína se používá tehdy pokud nejsou k dispozici analytické údaje o kvantitativním složení a z makroskopického hlediska je zřejmé, že jde o sediment s podstatným zastoupením jílových částic. Podle převládající složky se mezi nimi rozlišují: prachové, jílové nebo písčité hlíny.

Spraš je tradiční, všeobecný a hlavně genetický název pro klastické sedimenty eolického původu. Spraše jsou neztuhlejší, ale soudržné. Jejich hlavní složky mají rozměry prachových zrn, doprovodné jsou jílové částice a písková zrna. Většina spraší odpovídá mikrostrukturním termínům prach, jílový prach, prachový jíl, písčivý prach, jíl-písčivý prach až písek-jílový prach (Konta 1972).

Slíny jsou klasticko-cementační sedimenty, s kvantitativním obsahem kalcitu neklustického charakteru (skelety fosilií, nebo agregátní tělíska a cementační zrna variabilní velikosti) 20–80% a jílových částic klastického charakteru (s převahou jílových minerálů) také 20–80% (obr. 3.1:3). Slínovec je více či méně zpevněný klasticko-cementační sediment, opuka je označení používané nejčastěji pro zpevněné písčité slíny českého křídové pánve (Konta 1972).

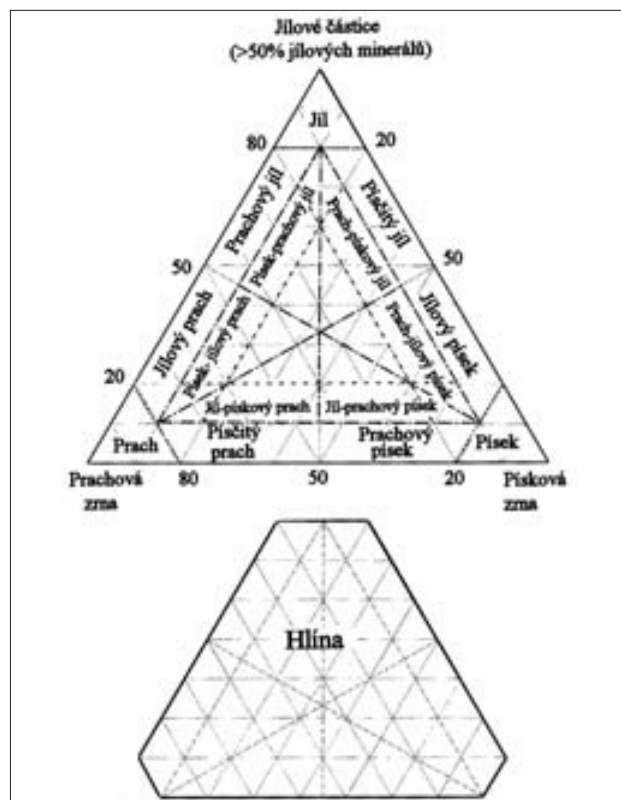
Tyto složky v neztuhlejší podobě jsou z hlediska technologie keramiky považovány za plastické suroviny.

Jíl je dokonale plastická, formovatelná, surovina, která menším tlakem umožňuje tvorbu nejjemnější plastické výzdoby a je schopná ji uchovat i v surové podobě.

Diagenetickým zpevněním jílu vznikají jílovce neboli lupky. Mnohé jílovce mají nemalý ekonomický význam zejména jako surovina keramického průmyslu. Za vlhka nebývají plastické.

L u p k y jsou zpevněné žárovzdorné jíly variabilního minerálního a chemického složení (podle Českých lupkových závodů a.s. obsahují obvykle 46,0 % SiO_2 , 36,0 % Al_2O_3 , 1,6 % Fe_2O_3 , 1,0 % TiO_2 , 0,5 % CaO , 0,3 % MgO , ztráta žíháním dosahuje přibližně 14,6 %).

Jílové břidlice jsou usazené horniny složené zejména z jílových minerálů diageneticky rekrystalizovaných. Často obsahují příměs organických látek. Charakteristický tenké destičkovitý rozpad bývá vyvolán zvětváním.



Obr. 3.1:2 Klasifikace a názvy sedimentárních hornin v řadě: písek – prach – jíl, s vyznačením pole odpovídajícího termínu hlína. Názvů se používá tehdy, pokud jílové minerály nejsou přesně identifikovány. Termínu hlína v případech kdy přesnější mikrostrukturní názvy nejsou nutné (Konta 1972).



Obr. 3.2:1 Keramická dílna z období Nové říše v Egyptě. Hrnčírský kruh je poháněn nohou. V dolní části vyobrazení je pec. Ze sarkofágu z Théb, kolem r. 1450 B.C. Vyobrazení podle www.sandragon.cz).



Obr. 3.2:3 Hrnčír, 15. stol., vyobrazení podle Picolpassa.



Obr. 3.2:2 Piccolpassovo vyobrazení hrnčírského kruhu, 15. stol. 2. Rýnský džbán z 15. stol., kamenina glazovaná solnou glazurou. Šikmé pruhy jsou způsobeny modelováním základního tvaru pásky hlíny vtláčovanými do formy. Konečná úprava je provedena na hrnčírském kruhu (podle www.sandragon.cz).

Vytáčení nádob na hrnčírském kruhu bylo stejné pro všechny druhy keramiky. Hlína se zformovala do hrudky, propracovala a umístila na talíř hrnčírského kruhu.

Pro lepší uchycení hrudky na kruh potíral hrnčír střed talíře hlínou – šlikrem (nebo podsypal pískem) a přimáčknul. Za stálého točení a zvlhčování se postupně rukama vytahují stěny nádoby. Zručnost a dovednost každého hrnčíře se pozná podle toho, jak tenkou stěnu nádoby vytvoří. Jak dokonale dokáže orientovat složky keramického materiálu ve směru rotace, aby dosáhl co největší pevnosti výrobku. Po vytočení nádoby se připevňovala ucha. Poté se nádoba odřezala drátem nebo nožem. I v tomto případě byla prioritní zručnost, praxe, a znalosti výrobce. Pouze správně upevněné ucho přilnulo k nádobě a při pálení se netrhlo.

Další 3 až 4 dny se zhotovené zboží sušilo. Větší nádoby se sušily i déle. Při sušení probíhají dva základní děje: dehydratace a smršťování které doprovází únik mechanicky vázané vody. Sušení mohlo probíhat volně v přírodě, v krytých kůlnách, v uzavřených prostorách kolem pecí nebo v příhradách nad pecemi.

Před vypálením se nádoby hladily kameny. To byla práce žen. Každá měla svůj „křemelák“, dokonale hladký valoun. Nádoby se pečlivě hladily zvenčí i zevnitř, aby se lépe vymývaly.

3.2.2 Sušení keramiky

Sušení keramiky je náročný proces. Podmínkou je zachování celistvosti vytvarovaného tělesa. Sušený



Obr. 3.2:4 Kopací hrnčírský kruh. Vyobrazen z hrací karty, 15. stol.



Obr. 3.2:5 Hrnčírská dílna. Hrnčír vyrábí hluboké pánve k pražení rudy obsahující pyrit. Pražicí pec v pozadí. Vyobrazení z Agricolyvy knihy „De re metallica“, 1556 (podle www.sandragon.cz).



Obr. 3.2:6 Výroba na hrnčírském kruhu. Vyobrazení z Agricolyvy knihy De re metallica“, 1556 (podle www.sandragon.cz).

keramický materiál je stále dvousložková soustava, která obsahuje sušinu a vlhkost. Tato soustava se může vyskytovat jako spojitý pevný skelet, v jehož pórech je kapalná fáze (vlhkost), nebo nepórovité částice, které mají na povrchu vrstvu vlhkosti. Reálné těleso z vlhkého keramického materiálu existuje mezi těmito krajními stavy. Množství roztáčovací vody resp. pracovní vlhkost těsta má v keramické výrobě velký vliv na konečné vlastnosti výrobku. Při sušení se tato voda odpařuje a na jejím místě vznikají póry, které ovlivňují vlastnosti vypáleného střepu. V běžné hrnčírské výrobě se pracuje s plastickým těstem jehož vlhkost se pohybuje v rozmezí 20 až 30%. Při formování výrobku je důležitá plasticita těsta. Čím je těsto měkčí (plastičtější), tím se snadněji zpracovává. Obsahuje-li těsto větší množství vody, tato po vysušení zanechá více pórů.

Sušení je převážně pouze fyzikální proces, při kterém se působením tepla snižuje obsah vody (vlhkosti) v materiálu bez změny jeho chemického složení. U keramických výrobků dochází často v průběhu sušení ke smrštění, ke změně jejich rozměrů. Proces sušení závisí na vnějších a vnitřních podmínkách. K vnějším patří teplota, vlhkost, tlak a rychlost proudění vzduchu v sušícím prostředí. Důležitá je i velikost a tvar sušených těles. Vnitřní podmínky souvisejí s vlastnostmi sušeného materiálu. Řadíme k nim vlhkost, způsob vazby vlhkosti, transport vlhkosti, tepelné vlastnosti a chování materiálů při sušení.

Během prohřevu tělesa se jeho povrch zahřívá rychleji než jeho vnitřní část. Se stoupající rychlostí sušení začíná klesat vlhkost materiálu. V čase konstantní rychlosti sušení vzlíná volná vlhkost z centra tělesa k povrchu. Teplota tělesa zůstává prakticky konstantní. S úbytkem volné vlhkosti se postupně zmenšuje objem sušeného tělesa a dochází ke smršťování. Ve fázi klesající rychlosti sušení se znovu zvyšuje teplota povrchu těles a celý proces se opakuje. Objemové změny během sušení způsobují v tělese vnitřní napětí, které může vyvolat jeho



PETROARCHEOLOGIE KERAMIKY

4

Archeologická keramika (keramika získaná archeologickými výkopy) bývá často jediným dokladem lidské činnosti v dané lokalitě. Moderní metody studia umožňují získat z keramického archeologického artefaktu co nejvíce poznatků, ať již jde o základní představu o jeho užitné hodnotě, nebo na základě specifických znalostí vyvodit závěry o použitých surovinách, způsobu zpracování tvarování a dekoru keramického výrobku. To vše nám dovoluje učinit si představu o technologické vyspělosti hrncířů v určité době a určitém regionu.

Petroarcheologie keramiky nám poskytuje základní informace o látkovém složení, chemismu, teplotách výpalu a změnách realizujících se v keramických artefaktech během dlouhodobé depozice v antropogenních půdních horizontech. Analytická data jsou získávána metodami běžně používanými v geologii.

4.1 Metody studia

4.1.1 Optická mikroskopie

Optická mikroskopie je založena na pozorování interakce viditelného světla s minerálem. Vlastností minerálů pozorovatelné touto metodou patří z hlediska geologické praxe k nejdůležitějším, protože umožňují jejich přímou identifikaci. Pro pochopení optických a fyzikálních vlastností minerálů a principů jejich studia je tedy nezbytné znát základní fakta jak o struktuře a chemickém složení minerálů, tak o vlastnostech světla.

Hlavním nástrojem optického studia minerálů, hornin a artefaktů je petrologický polarizační mikroskop. Na rozdíl od běžného biologického mikroskopu je vybaven polarizačním zařízením. V polarizovaném světle lze studovat i ty vlastnosti minerálů, které nejsou jinak patrné. Studium se provádí v procházejícím nebo v odraženém světle. Kvalitní využití polarizačního mikroskopu vyžaduje mnoho dalších znalostí a především praktických zkušeností.

Studium v procházejícím světle

V procházejícím světle se studium provádí na krytých výbrusových preparátech o mocnosti cca 30 μm (příloha I, obr. 4.1:1). Štěpnost, reliéf (jako důsledek indexu lomu), tvar a stavba, uzavřeniny, barva a pleochroismus (změna barvy při otáčení stolkem polarizačního mikroskopu) minerálů se sledují v lineárně polarizovaném světle (PPL = plane polarized light). Zhášení, interferenční barvy (jako důsledek dvoj-lomu) a další vlastnosti se studují ve světle polarizovaném ve dvou rovinách (XPL = cross polarized light).

Příprava vzorku pro mikropetrografické rozborů probíhá následujícím způsobem: z keramického střepu, případně nádoby je vyříznut tenký plátek, který se pomocí epoxidových pryskyřic fixuje na podložní sklo. Po zpevnění je vybrusěn na tloušťku 5–3 μm (0,05–0,03 mm). Může být zakryt krycím sklíčkem a studován v procházejícím polarizovaném světle petrografického mikroskopu. Povrch tenkého horninového plátku můžeme naleštit a využít jej např. pro studium opakních objektů v odraženém polarizovaném světle petrografického mikroskopu (viz obr.4.1:1, příloha I). Lze ho pokovit (např. uhlíkem)

a použit pro katodovou luminiscenci nebo pro elektronovou mikroskopii a mikroanalýzu.

Studium v odraženém světle

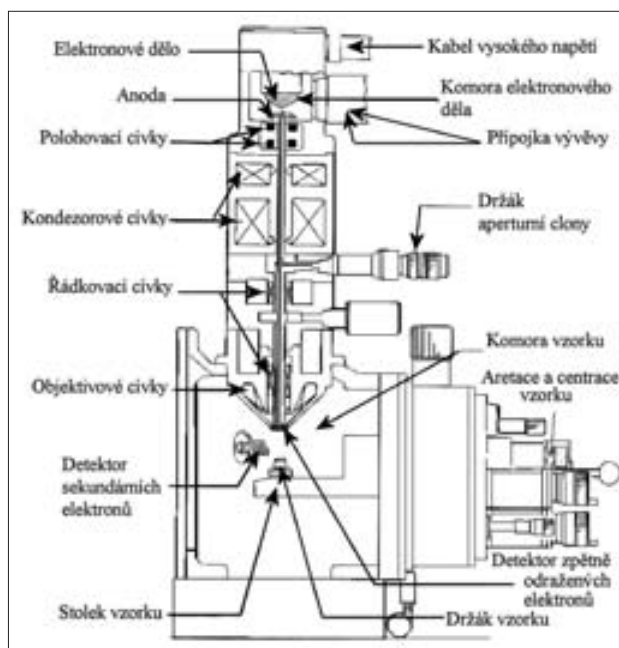
Některé minerály jsou neprůhledné do té míry, že nepropouštějí světlo ani v tenké vrstvě, nebo je propouštějí jen nepatrně. Při pozorování v procházejícím světle jsou zcela tmavé. Takové minerály označujeme jako **opákní**. Studium optických vlastností opakních minerálů se zabývá **odrazová mikroskopie**. Moderní mikroskopy umožňují obvykle kombinované pozorování v procházejícím i odraženém světle. Existují však i speciální odrazové, tzv. rudní, mikroskopy nebo mikroskopy metalurgické. Preparáty pro odrazovou mikroskopii se nazývají **nábrusy**. Studovaný vzorek je rozříznut, řezná plocha je zbrusěna do roviny a vyleštěna. Na rozdíl od výbrusů se nábrusy nepřikrývají krycím sklíčkem.

I když význam optické mikroskopie s rozvojem instrumentálních analytických metod v poslední době poklesl, je v praxi stále hojně používána pro svoji názornost a relativní přístrojovou i finanční nenáročnost.

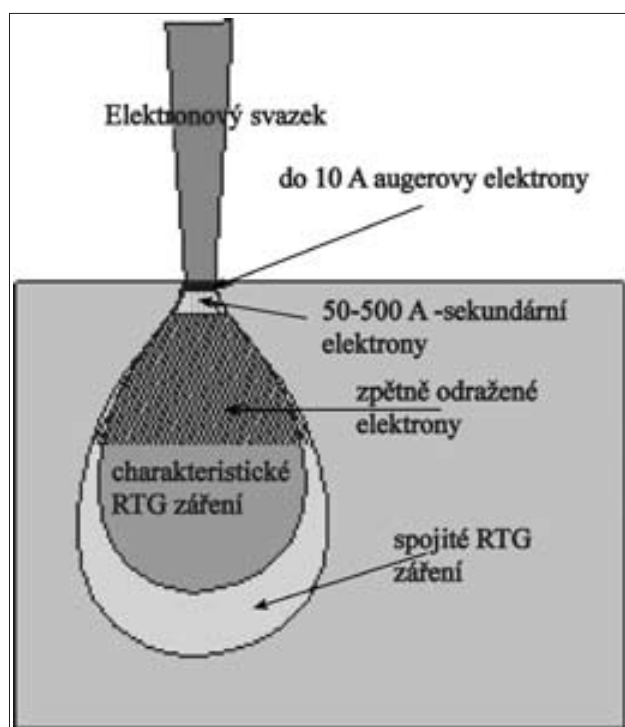
4.1.2 Scanovací elektronová mikroskopie a mikroanalýza

Scanovací elektronová mikroskopie a mikroanalýza je soubor nedestruktivních metod studia morfologie a prvkové analýzy povrchu pevných látek, který je založen na interakci dopadajícího svazku urychlených elektronů se studovaným vzorkem. Základním přístrojem této techniky je scanovací (rastrovací, řádkovací) elektronový mikroskop (SEM, REM, ŘEM).

SEM se od optického (světelného) mikroskopu liší tím, že pro pozorování předmětů nevyužívá světelné



Obr. 4.1:1 Schematický řez elektronového mikroskopu (<http://www.chm.bris.ac.uk/pt/diamond/stuthesis>).



Obr. 4.1:2 Excitační objem – oblast interakce hmoty vzorku a urychlených elektronů. Jeho velikost závisí na hustotě vzorku a energii urychlených elektronů, obvykle se pohybuje od 1 do 5 μm .

paprsky a soustavu klasických čoček, ale svazek urychlených elektronů a čočky elektromagnetické. Vlnová délka urychlených elektronů je výrazně kratší než vlnová délka světla a tak je možné sledovat mnohem menší objekty než za pomoci světla. SEM je přístroj, který vytváří obraz elektronickou, nikoli optickou cestou.

Základní součástí přístroje je elektronová tryska (katoda), které produkuje primární elektrony urychlené nejčastěji na energii 5–30 KeV. Ty jsou sadou elektromagnetických čoček a clonek fokusovány na povrch preparátu. Vychylovací cívkou řádkovacího systému umožňují, aby tento svazek bod po bodu a řádek po řádku systematicky přejížděl (řádkoval) vymezenou oblast podobným principem jaký se využívá v televizní technice (CRT obrazovky). Zkoumaný vzorek se vkládá do komory mikroskopu na speciální motorizovaný stolek. Vnitřní prostory elektronového mikroskopu jsou vyvakuované (obr. 4.1:1). Při dopadu urychlených primárních elektronů na povrch vzorku dochází v důsledku srážek s elektronovými obaly atomů vzorku k celé řadě jevů jejichž detekcí získáváme informace o zkoumané látce.

Část dopadajících primárních elektronů se pružně odrazí zpět a opustí vzorek s nezměněnou energií (rychlostí). Nazýváme je **zpětně odražené (rozptýlené) elektrony (BSE = back scattered electrons)**. Jiné elektrony se od atomů odráží nepružně, to znamená, že atomům předávají jen část své energie a samy postupně energii ztrácejí. Při tomto ději může dojít k vyrazení elektronů z obalu atomu, tzv. **sekundárních elektronů (SE = secondary electrons)**. Energie SE je na rozdíl BSE velmi

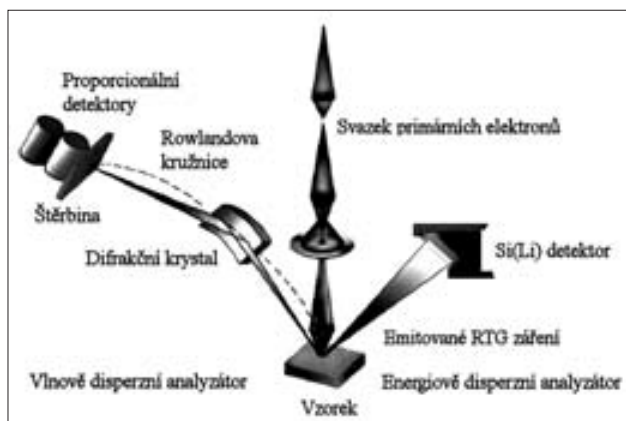
malá (jednotky eV). Část elektronů, která srážkami ztratila veškerou energii a byla vzorkem pohlcena nazýváme **absorbované elektrony**. **Augerovy elektrony** vznikají, pokud SE vyrazí další elektron z obalu. Jejich energie je ještě nižší než SE. Vyrazení sekundárního elektronu z elektronového obalu atomu vzorku (během elastických srážek s urychlenými elektrony) vede k nestabilnímu energetickému stavu atomu. Při následném zaplňování uvolněných energetických hladin ionizovaných atomů elektrony z vyšších energetických hladin vede ke vzniku **charakteristického rentgenového záření**, jehož energie odpovídá rozdílu příslušných energetických hladin. Zbytek energie předané primárním elektronem je vyzářen v podobě brzdného **spojitého rentgenového záření** (bremsstrahlung), luminiscence a tepla (obr. 4.1:2).

K pozorování vzorku se nejčastěji využívá detekce sekundárních a zpětně odražených elektronů speciálními detektory. Protože mají sekundární elektrony velmi malou energii mohou vzorek opustit pouze ty SE, které vznikly ve velmi malé hloubce pod povrchem (escape depth) cca 50–500 Å. Jejich množství závisí především na reliéfu povrchu vzorku; větší produkce bude na hranách a rozích než na plochách a depresích.

Metoda SEI (Secondary Electron Imaging) umožňuje jejich využití pro zobrazování morfologie povrchu vzorku. Vedle vysokého zvětšení ($X0x - X0\ 000x$) je výhodou této metody velká hloubka ostrosti. Zpětně odražené elektrony jsou generovány z větší hloubky než SE, takže ve srovnání se SEI má jimi vytvořený obraz menší rozlišení. **Metoda BEI** (Back Scattered Electron Imaging) má však jinou výhodu: množství primárních elektronů, které se odrazí od vzorku, je závislé na průměrném protonovém čísle atomů tvořících vzorek (od těžších fází se odráží více elektronů). Proto se fáze z vyšší hustotou jeví ve zpětně odražených elektronech jako světlejší než fáze lehčí (obr. 4.1:4). Pomocí programů analýzy obrazu BSE lze obraz dále zpracovávat, například k určení poměru zastoupení jednotlivých fází, jejich orientaci a pod.

Charakteristické rentgenové záření poskytuje informaci o prvkovém složení vzorku, protože vlnová délka čar je pro každý prvek charakteristická a nezávisí na energii primárních elektronů. Děj se odehrává ve velmi malé oblasti (řádově X až $X0\ \mu\text{m}^3$) "hruškovitého" tvaru pod povrchem vzorku. Proto je metodami elektronové mikroanalýzy možno analyzovat velmi drobné objekty (už od velikosti X μm). Rentgenové záření je detekováno a analyzováno **rentgenovými spektrometry**. Ve spektru charakteristického rentgenového záření lze jednotlivé spektrální čáry indikovat dvěma způsoby: podle vlnové délky nebo podle energie. Na základě toho rozlišujeme energiově disperzní analýzu a vlnově disperzní analýzu. Jejich princip je názorně doložen v obr. 4.1:3.

Energiově disperzní systém (EDS) se používá především ke stanovení kvalitativního prvkového složení vzorku a k rychlé (i když méně přesné) kvantitativní analýze. Základem je polovodičový detektor, který společně s další elektronikou převedou energii dopadajícího záření na elektrické pulzy, které jsou na základě velikosti rozděleny do 1024 nebo 2048 kanálů. Jednotlivým kanálům



Obr. 4.1:3 Elektronová mikroanalýza. Dvě možnosti detekce RTG záření (převzato z www.stránky).

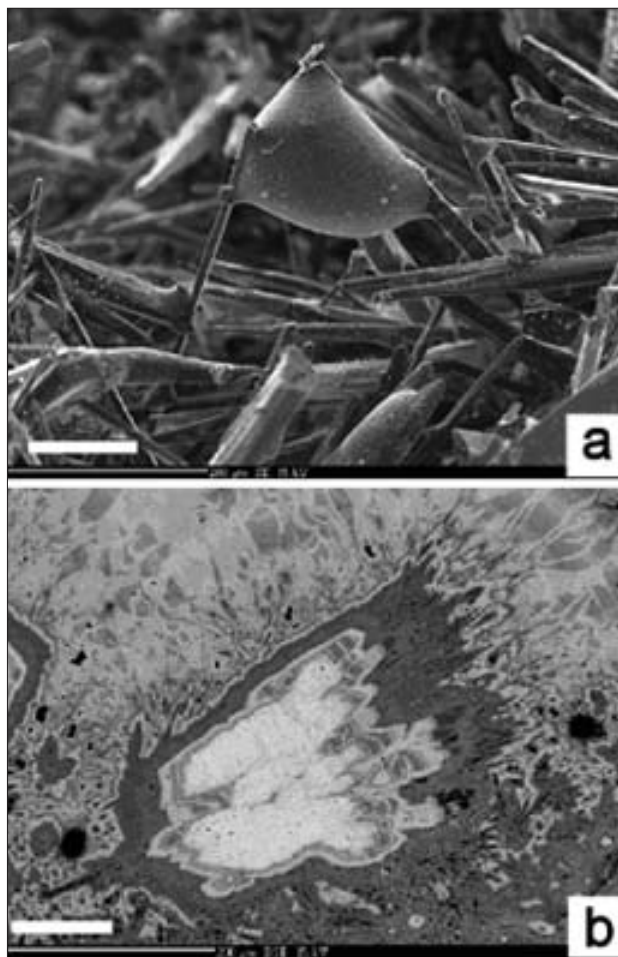
přiřadíme odpovídající hodnotu energie odpovídajícího rentgenového záření (nejčastěji 10 eV nebo 20 eV na kanál). Spektrum dopadajícího rentgenového záření je zobrazeno jako histogram, ve kterém je na vodorovné ose vynesena energie záření a na svislé ose je počet pulzů v jednotlivém kanále. Na základě pozice píku na vodorovné ose můžeme prvek identifikovat, přičemž výška píků odpovídá zastoupení prvku ve zkoumané fázi. Tato metoda umožňuje načítat celé spektrum najednou a doba potřebná k získání spektra se pohybuje v desítkách sekund. Nevýhodou této techniky je menší spektrální rozlišení (píky některých prvků se překrývají) a horší mez detekce (kolem 0,5 hm. %). Většina přístrojů neumožňuje detekci prvků lehčích než B.

Vlnově disperzní systém (WDS) analyzuje rentgenové záření pomocí **vlnově disperzního spektrometru**. Jeho součástí je krystal (monochromátor), detektor a mechanika pro pohyb krystalu a detektoru. Rentgenové záření emitované vzorkem dopadá na krystal a k difrakci příslušné vlnové délky dochází v případě splnění podmínky Braggovy rovnice:

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

kde: d – mezirovinná vzdálenost difrakčních rovin monochromátoru, θ – difrakční úhel, λ = vlnová délka záření, n = celé číslo vyjadřující řád difrakce (difrakce 1. řádu $1\lambda_1 = 2d\sin\theta$, difrakce 2. řádu $2\lambda_2 = 2d\sin\theta$; pokud difraktuje záření o vlnové délce λ_1 , tak při stejné konfiguraci spektrometru bude difraktovat i záření s poloviční vlnovou délkou λ_2 – difrakce 2. řádu).

Pro identifikaci každého prvku (příslušné energie rtg záření) je nutno natočit monochromátor do odpovídající polohy (úhel θ), aby došlo ke splnění Braggovy podmínky. Difraktované záření je registrováno proporcionálním plynovým detektorem. Získaný signál je následně elektronicky zpracován. Spektrum je získáno vynesemím úhlu θ na vodorovnou osu a počtem pulzů na svislou osu. Pro zjištění množství daného prvku měříme výšku píku. Pro pokrytí většiny prvků (Be, B-U) je zapotřebí několik různých monochromátorů. Součástí elektronového mikroanalýzátoru je až 5 vlnově disperzních spektrometrů,

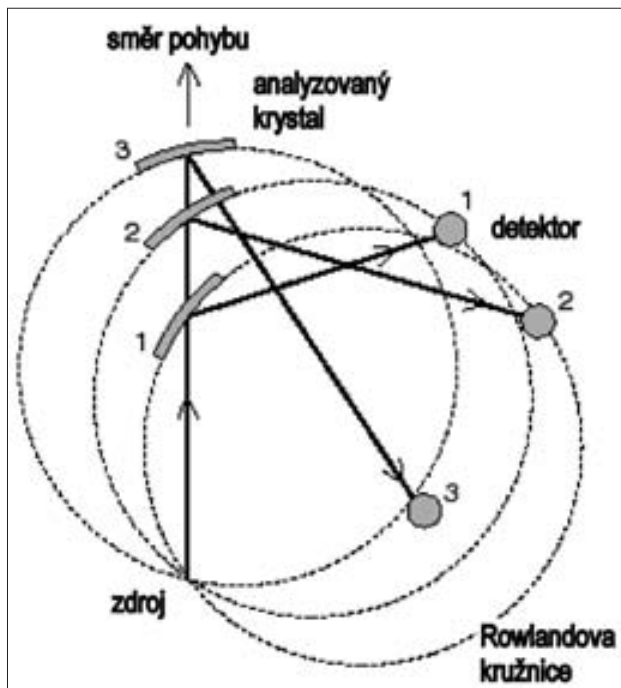


Obr. 4.1:4 Příklady fotografií z elektronového mikroskopu. a) SE fotografie – kapka utuhlého skla na krystalcích mulitu (foto V. Žáček), b) BSE fotografie – variace mezi Pb a Ca u minerálů řady apatit-pyromorfit (foto J. Sejkora).

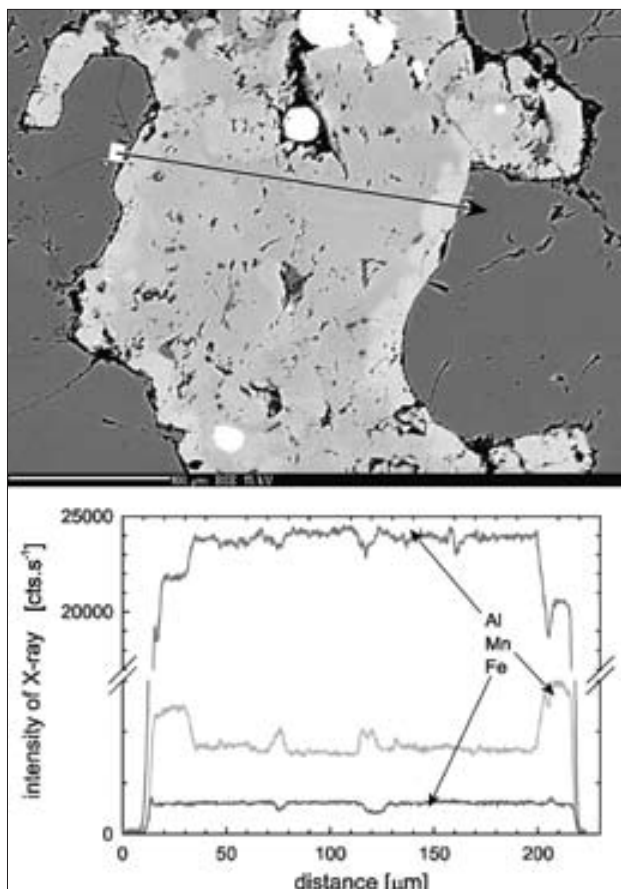
proto je možno měřit až pět prvků najednou. Pomocí WDS je možno poměrně velmi přesně stanovovat obsahy většiny prvků těžších než B. Na rozdíl od EDS má WDS mnohem lepší spektrální rozlišení a lepší mez detekce. Mez detekce je pro B až F 0,2–0,5 hm. %, pro Na a těžší prvky 0,01–0,05 hm. %. Proto lze touto metodou analyzovat i prvky s velmi nízkým zastoupením (stopové prvky). Nevýhodou je její vyšší časová náročnost.

Klasický scanovací elektronový mikroskop je v základní výbavě osazen pouze detektorem SE popřípadě i BSE detektorem. Dále je možné jej vybavit i EDS a WDS detektorem, detektorem katodové luminiscence atd. Elektronová mikrosonda je v podstatě elektronový mikroskop speciálně přizpůsobený pro analytické účely. Jeho konstrukce umožňuje osazení až 5 WDS a jednoho EDS spektrometru.

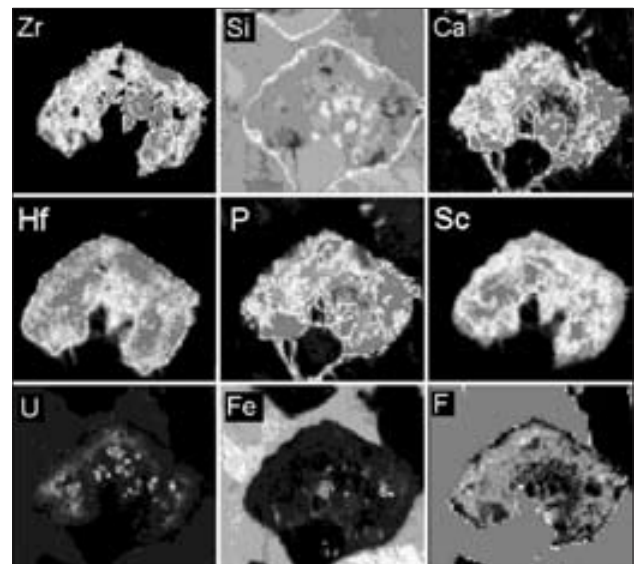
EDS nebo WDS analýzy se někdy označují názvem **bodová analýza**, protože stanovení prvkového složení vzorku se provádí ve velmi malém objemu, prakticky v bodě (několik μm^3). Pokud chceme znát průměrné chemické složení dané oblasti, můžeme využít plošnou analýzu – necháme elektronový svazek scanovat určitou oblast.



Obr. 4.1:5 Schématický náčrt spektrometru (www4.nau.edu/microanalysis).



Obr. 4.1:6 Ukázka liniového profilu – příklad variujícího zastoupení Al, Mn a Fe v řezu krystalu Mn-andalusitu až kanonaitu (převzato z Novák, Škoda, 2008).



Obr. 4.1:7 Prvková mapa. Příklad variability chemického složení metamiktického zirkonu (Breiter et. al. 2006).

Další možností elektronové mikroanalýzy (EDS i WDS) je **liniová analýza** (též liniový scan). V tomto případě se svazek primárních elektronů pohybuje po povrchu vzorku po vybrané úsečce (obr. 4.1:6), buď po jednotlivých měřících bodech (krocích) nebo kontinuálně. Výsledkem je graf zobrazující změnu obsahu prvků ve zvolené linii (používá se například pro studium zonálnosti fází) obvykle v kombinaci s BSE fotografií. Dále je možno využít metodu zobrazující distribuci (rozložení) prvků v určité ploše preparátu, tzv. **prvkovou mapu** (obr. 4.1:7).

Pro pozorování reliéfních vzorků je vhodné na povrch nanést vrstvu vodivého materiálu (grafit, zlato, Au/Pd), která zajistí odvod nahromaděného elektrického náboje. Nízkovakuové (environmentální) elektronové mikroskopy umožňují pozorování nevodivých vzorků v režimu horšího vakua (1–1000 Pa) bez nutnosti nanesení vodivé vrstvy. Pro přesnou EDS nebo WDS analýzu je bezpodmínečně nutné, aby byl povrch vzorku naleštěn a orientován kolmo na dopadající elektronový svazek. Nejčastějšími preparáty jsou leštěné výbrusy a nábrusy. Na jejich povrch musí být rovněž nanášena vrstva grafitu.

Výhody metod elektronové mikroanalýzy jsou zřejmé z předešlého textu. Analyzuje se velmi malá oblast vzorku v pevném stavu, proto je možno studovat složení i velmi drobných zrn a inkluzí. Součástí přístroje bývá optický mikroskop, takže je možno jednoduše vyhledat místo, které chceme analyzovat. Naopak k nevýhodám patří velmi vysoká pořizovací cena EDS nebo WDS mikroanalýzátoru, nutnost dokonalé přípravy preparátů (hlavně leštění) a ztížená analýza lehkých prvků (B až N) a nemožnost stanovení H-Li (Be). I přes tato omezení představují dnes metody elektronové mikroanalýzy nejpopulárnější způsob prvkové analýzy vzorků v geologických i materiálových vědách.



**ARCHEOLOGICKÁ KERAMIKA
VYBRANÝCH LOKALIT
MORAVY A SLEZSKA**

5

Během dlouhodobé spolupráce mezi ústavu archeologie a muzeologie FF MU a geologických věd PřF MU v Brně byla realizována řada studií mapujících technologii pravěké až novověké keramiky pomocí moderních analytických metod. Rozšiřující se spolupráce ÚGV PřF MU s dalšími archeologickými pracovišti (např. Achaia Brno, Archeologický ústav AV ČR, Ústav archeologie Slezské univerzity v Opavě, Archeologická základna v Mikulčicích, detašované pracoviště Archeologického ústavu AV ČR atd.) umožnila vznik celé řady petroarcheologicky orientovaných diplomových prací i monografií (např. Kristová 1994, Beránková 1996, Bibr 1997, Hanuláková 2006, Kuljovská 2007, Gregerová 1996a, Hložek 2008). Následující text poskytuje přehled publikovaných výsledků výzkumu pravěké, středověké a novověké keramiky na těchto pracovištích.

Nálezy keramiky v období mladého paleolitu (40000–13500 př. n. l.) jsou poměrně vzácné. Petroarcheologické rozboru keramiky byly provedeny na dvou lokalitách. Analyzována byla vypálená hrudka hlíny z lokality Bohunice Ic-Kejbaly IV. (Nerudová, Hložek, Gregerová, Havlica 2003) a hrudky z mladopaloeolitické stanice v Jarošově (Gregerová, Hložek 2005). Nedestruktivně, pomocí počítačové tomografie (CT), byly zkoumány vnitřní struktury věstonické Venuše a další drobné keramické plastiky z Dolních Věstonic. Počítačová tomografie potvrdila, že ze sošky byl proveden odběr vzorků. Současně prokázala uvnitř sošky praskliny a závalky kongrecí CaCO_3 (Hložek, Krupa 2006).

Široce pojaté byly vědeckovýzkumné studie keramiky z období neolitu (5600–4000 př. n. l.). Problematika technologie neolitické keramiky byla studována na početných souborech vypíchané keramiky z Olomouce-Slavonína, Pavlova a Těšetic-Kyjovic (Hložek 1999, Hložek 2000a; Hložek, Gregerová, Havlica 1999; Gregerová, Hložek 2000; Hložek 2001). Mikropetrografické analýzy poskytly odpověď na otázky původu antropomorfních i zoomorfních nádob a plastik na neolitických sídlištích v Těšeticích – Kyjovicích, Květnici a v Brodce u Prostějova (Gregerová, Hložek 2002; Hložek, Gregerová, Snitilý 2008; Gregerová, Hložek 2009). Na základě detailních mikropetrografických studií byly rozpoznány rozdíly mezi třemi neolitickými kulturami v Těšeticích – Kyjovicích. Současně byla řešena i otázka provenience grafitu v kultuře s lineární keramikou (Hložek, Gregerová 2007, Kazdová, Hložek 2002).

V rámci multidisciplinárního zhodnocení nálezů z unikátního hrobu ženy na lokalitě Dluhonice byla provedena petrografická analýza přiložené nádoby mladšího stupně kultury s moravskou malovanou keramikou (Schenk, Kuča, Hložek et al. 2007). Mikropetrografické studie preparátů keramiky se uplatnily i při deskripci otisků prstů na miniaturních nádobkách kultury s moravskou malovanou keramikou (Králik, Urbanová, Hložek 2008). Hmotnostní spektrometrie byla využita při rozboru zuhelnatělých zbytků na stěnách neolitické keramiky. Analýzy prokázaly přítomnost dehtu z březové pryskyřice (Prokeš, Hložek 2007). Velmi podrobně byly prostudovány vlastnosti lineární keramiky z Vedrovic. M.j. byla

provedena i korelace keramiky této kultury s dalšími lokalitami (Gregerová, Hložek 2006).

U keramiky eneolitických kultur (4000–2000 př. n. l.) jsme se zabývali technologií výroby zvoncových pohárů – KZP (Hložek 2003b). Z pohřebiště kultury se šňůrovou keramikou byly analyzovány fajánsové korálky (Gregerová, Hložek, Sulovský 2006).

Z doby bronzové (2000–750 př. n. l.) pocházely keramické artefakty z lokality Práslavice. I daném případě byla hlavní pozornost směřována na podchycení rozdílů v technologii keramiky středodunajské mohylové kultury a lužické fáze kultury lužických popelnicových polí (Gregerová, Hložek, Šabatová 2006). Magnetická susceptibilita byla využita při studiu keramického souboru z pohřebiště popelnicových polí v Domamyslicích. Naměřené hodnoty dokládaly pouze rozdíly mezi tenkostěnnou keramikou a silnostěnnými nádobami (Hložek 2005a). Keramická chřestítka ze stejné lokality jsme hodnotili pomocí technického rentgenu. Výsledky identifikovaly keramické kuličky v cibulovitých a kaminky v cívkovitých chřestítkách (Hložek 2005b).

Soubor keramiky ze sídliště horákovské kultury v Těšeticích-Kyjovicích je prozatím jediným námi analyzovaným materiálem doby halštatské (750–400 př. n. l.) na Moravě. Zdejší grafitová keramika byla srovnávána na jedné straně s nalezenou surovinou a na druhé straně s keramikou z Traisentalu (Hložek, Gregerová, Ramsel, Golec 2003).

Mimořádná pozornost byla a je věnována analýzám grafitové keramiky.

Rozboru grafitu a grafitové keramiky z produkce laténské sídliště (400 př. n. l. – počátek n. l.) ve Strážovicích publikoval Hložek (1995). Mikropetrografické charakteristiky laténské grafitové keramiky z Kyjovska a Hodonínska předložili Hložek, Gregerová (2001). Výsledky studia provenience tzv. mistřínské keramiky publikoval Hložek (2003). Časně laténská keramika zahrnovala i kolkované výrobky. Analýzy byly orientovány především na identifikaci provenience kolkovaného zboží (Hložek, Gregerová 2002; Hložek, Gregerová 2008; Jílek, Hložek, Dreslerová 2005).

Z doby římské (počátek n. l.–400 n. l.) byl analyzován pouze jeden významnější soubor keramiky ze sídliště v Kostelci na Hané (Gregerová, Hložek 2007). Zde jsme se zaměřili na určení shody či neshody makroskopicky vytríděných skupin keramiky s jejich mikropetrografickou skladbou.

Z časně slovanského období (6.–8. stol.) pocházel glazurovaný hliněný korálek ze sídliště Břeclav-Libivá. Rastrovací elektronovou mikroskopií a EDX mikroanalýzami byla určena povaha glazury. Keramika středohradištního a mladohradištního období (9.–12. stol.), byla studována na početnějších souborech. Soubory grafitové keramiky z Moravy a Slezska byly hodnoceny pomocí optické mikroskopie a diferenční termické analýzy (Gregerová, Kristová 1995, Gregerová, Procházka 1998). Ve středohradištním období se v keramických souborech častěji setkáváme i s technickou keramikou. Např. tyglíky (lokalita Břeclav-Pohansko a Staré Město) byly zkoumány

pomocí petrografického a elektronového mikroskopu (Hložek 1997; Macháček, Gregerová, Hložek, Hošek 2007). Zuhelnatěné organické reliktů na starohradištní keramice z Kosoře (Prokeš, Hložek 2006) byly analyzovány hmotnostním spektrometrem.

Výzkumy středověké keramiky byly zahájeny již v polovině 90. let. Podrobné mikropetrografické analýzy byly provedeny u grafitové, slídivé, engobované a glazurované brněnské keramiky, z období po r. 1440 (Gregerová 1996). Pozornost byla věnována i středověké stavební keramice. Cihly s hojným množstvím archeobotanického materiálu v surovině byly analyzovány v nálezech z kláštera v Ludanicích (SR). Mikropetrografickým rozborům byly podrobeny cihlářské výrobky z vypalovacích zařízení ze Sezimova Ústí (Gregerová 2008). Mikropetrografickými rozborů byla doplněna trasologická analýza cihly z předhradí lelekovického hradu (Králik, Urbanová, Hložek 2006). Pomocí rentgen-fluorescenční analýzy byly zkoumány stopy kovů na povrchu tyglíků nalezených v brněnských jímkách (Hložek, Merta, Peška 2004; Hložek, Holub, Sedláčková, Trojek 2005).

Rentgen-fluorescenční analýza se rovněž uplatnila při zkoumání glazur a barev novověké keramiky z Pardubic (Čechák, Hložek, Musílek, Trojek 2007a,b).

Mikrospetrografie se využívá i v rámci experimentální archeologie (Hložek 2002). Na jejím základě jsme připravili vytvářecí hmoty pro modelování replik venuší střelického typu ze surovin v podloží lokality Těšetice-Kyjovice (Hložek, Kazdová 2007). Minerály přepálené v keramické hmotě posloužily jako zpřesňující indikátor teplot výpalu stěn hrnčírských pecí a keramiky (Gregerová, Hanuláková 2007). Pomocí analytických metod byl proveden pokus o upřesnění smrštění neolitické keramiky. Studium bylo provedeno na experimentálních vzorcích. Tyto byly použity i jako srovnávací materiál pro posouzení změn recentních otisků prstů v hlíně po výpalu (Hložek, Králik 2005).

Vzájemným srovnáním mikropetrografie originální neolitické keramiky z Mohelnice a experimentálních vzorků, byla posuzována drť starší keramiky (šamotu), jako součást ostřiva ve vytvářecí hmotě nádob (Hložek, Tichý, Dohnálková, Dohnálková 2006).

Výsledky mikropetrografických rozborů byly průběžně doplňovány geochemickými daty a ověřovány.

V následujících kapitolách jsou předloženy poznatky z petroarcheologického studia provedeného na vybraných souborech historické keramiky písčité, grafitové a slídivé. Mezi studovanými středověkými keramickými technologiemi tvoří zcela unikátní skupinu Loštické poháry. Proces jejich formování, míšení surovin a specifické složení ostřiva byl ověřen nejen pomocí moderních petrografických analytických metod, ale i experimentálně. Nástup novověkého hrnčírství s sebou nese výrazné rysy glazurovaného zboží. Habánská keramika představuje technologicky progresivní směr v hrnčírské výrobě. Aplikací mikrochemického studia se podařilo prokázat rozdíly v používaných glazurovacích směsích mezi různými hrnčírskými dílnami. Spolu s tím byla potvrzena i vysoká znalost technologií barevného glazurování.

5.1 Petroarcheologie písčité keramiky z Mikulčic a Pohanska

Pro petroarcheologické analýzy raně středověké negrafitové keramiky byly vybrány vzorky ze dvou významných raně slovanských lokalit Pohanska u Břeclavi a Mikulčic. Obě rozlehlá hradiska jsou od sebe vzdálena pouhých 16 km vzdušnou čarou, přičemž Mikulčice leží na dolním toku řeky Moravy a Pohansko v údolní nivě řeky Dyje. V 9. stol. mezi nimi existoval úzký vztah, který se projevil i v keramice. Velice podobné jsou především nádoby, které na Pohansku označujeme jako typ 4 (Dostál 1975) či skupinu B (Macháček 2001,) a v Mikulčicích jako typ 3 podle původního třídění Klanici (Klanica 1970, Poláček 1995).

Z obou lokalit byla petroarcheologické analýze podrobena právě tato typologicky příbuzná keramika. Na vnější straně bývá hrdlo odsazeno od výdutě. Na zkoumaných nádobách či spíše jejich fragmentech se objevuje výzdoba v podobě hřebenových pásů umístěných nad hřebenovými vlnicemi či naopak. Na těchto nádobách se ve zvýšené míře objevují plastické lišty. Typická hřebenová vlnice bývá symetrická, středně vysoká a středně hustá, objeví se však i různé kombinace skloněných, nízkých, příp. i hustých vlnic. Keramika skupiny B bývá standardně vyrobena z hrubého, dobře redukčně vypalovaného materiálu (Macháček 2001). Keramika mikulčického typu 3 se vyznačuje velmi podobnými znaky. Je ostřena středně hrubým, méně často i jemným pískem. Její povrch je zrnitý (krupičkovitý), beze stop hlazení. Menší i velké hrnce mají rozmanité formy, zpravidla s ostře vyhnutým okrajem. Jejich charakteristická výzdoba sestává z uvolněných, ležerně rytých hřebenových vlnic a pásů. Vyznačují se prožlabenými, kalichovitě prohnutými okraji, které však mohou být někdy profilovány i jednodušeji, tzn. mohou být méně výrazně prohnuté, vodorovně seřiznuté či členité. Pokročilá technologie výroby se projevuje tenkými, pravidelnými stěnami. Na dnech se objevují plastické značky (Poláček 1995, Kavánová 1996).

Na základě prostorové distribuce keramiky s prožlabenými, kalichovitě prohnutými okraji byl definován tzv. mikulčický okruh, který zabírá především meziříčí a okolí dolních toků Dyje a Moravy s centry v Mikulčicích a na Pohansku. Typologicky shodná keramika se objevuje v tomto regionu i na vesnických pohřebištích (např. Dostál 1966, Měřinský 1985) a sídlištích (Poštorná, Mutěnice a Břeclav – Libivá). Ojedinelé nádoby, které se z mikulčického okruhu dostaly do cizího prostředí, lze poměrně snadno identifikovat. Staňa (1984) rozpoznal ve stotisícovém souboru keramických fragmentů ze Starých Zámků u Lišně 14 střepů importovaných z mikulčického okruhu, a dále i „mikulčickou“ nádobu na rajhradském pohřebišti. Podobně byl nalezen ojedinelý fragment z nádoby s prožlabeným okrajem na hradisku v Kramolíně (Poláček 1994, 1994a). Úplně jiný charakter mají nálezy „mikulčické“ keramiky z Olomouce – Předhradí (např. Bláha 1980). Byl zde zachycen velkomoravský horizont, který

obsahoval překvapivě velké množství (71,2 %) fragmentů z nádob s prožlabenými, kalichovitě prohnutými okraji. Keramika z mikulčického okruhu nalezená v Olomouci vytváří v regionu severní Moravy izolovaný ostrůvek, mezi nímž a vlastním územím mikulčického okruhu leží rozsáhlý prostor charakterizovaný zcela jinou hrncinou (např. pomoravský okruh). Tato keramika se liší svojí kvalitou od běžných výrobků známých z okolí Olomouce. Bláha (1980) vyvozuje z její výlučnosti kulturně politické souvislosti Olomouce s jižní Moravou na sklonku velkomoravského období. Mohla zde manifestovat zvláštní postavení Olomouce v přirozeném centru Hornomoravského úvalu. Poněkud jiné vysvětlení distribuce nádob s prožlabenými a kalichovitě prohnutými okraji předkládá Měřínský (1986). Naznačuje určité přesuny osídlení z neklidné jihomoravské oblasti ležící na okraji maďarského panství k severu, které probíhaly od počátku či v 1. pol. 10. stol. Podobně interpretují nálezy keramiky tzv. litoměřického typu, koncentrované na malém území v severozápadních Čechách, také čeští archeologové (Bubeník, Meduna 1994).

Pro určení petroarcheologických rysů bylo analyzováno 32 keramických artefaktů z Pohanska a 30 artefaktů z Mikulčic. Jejich základní charakteristiky jsou uvedeny v tab. 5.1:1–5.1:6.

5.1.1 Petroarcheologie písčité keramiky z Pohanska

5.1.1.1 Pohansko technologická skupina I

Keramické artefakty technologické skupiny I byly zhotoveny z pelitické plastické suroviny s příměsí středně zrnitého písku.

V minerální asociaci technologické skupiny I se vyskytuje křemen, alkalický živec, plagioklas, amfibol, turmalín granát, slídy, kyanit, rutil, sillimanit, glaukonit.

Z horninových úlomků jsou přítomny křemence, aplity, silicity, slídivé břidlice, prachovce, úlomky vápenců, železité pískovce, ruly, mylonity.

Drobná, polozaoblená až poloostrohranná zrnka **křemene** bývají zřetelně rozpraskána. V několika vzorcích se v křemenu objevují tence jehličkovité sillimanity.

Mikroperthitické alkalické živce se vyskytují jako drobné zaoblené klasty. Zastoupen je mikroperthitický **ortoklas** a **mikroklin**. Ortoklas je silně kaolinitizovaný, jemně mřížkovaný mikroklin bývá bez produktů přeměn a je čirý. Perthity jsou žilkovité, kapičkovité, vřetenovité až filmové.

Polozaoblené až zcela dokonale omezené, polysynteticky zdvojitěné **plagioklasy** bývají zastoupeny méně častěji než alkalické živce. Jsou čiré i přeměněné, kaolinitizované a sericitizované. Pokud jsou zrnka plagioklasů drobnější, jsou čirá a obvykle uzavírají sloupečkovitý apatit.

Slídy se vyskytují ojediněle. **Biotit** je hnědý, místy pleochroický, častěji však intenzívně baueritizovaný a rubifikovaný. V některých biotitech jsou nápadná drobná opakní zrnka.

Tence lupenitý až šupinkatý, bezbarvý **muskovit** je v pojivu střepu poměrně rozšířený, paralelně uspořádaný.

Světle hnědozelený **amfibol** je zřetelně pleochroický, střípkovitý. Je na něm patrné slabé tepelné postižení. Podél štěpných ploch a na okrajích zrn se hnědozelená barva postupně mění v zářivě červenou. Střípkovité klasty má i hnědozelený až světle hnědý, výrazně pleochroický, často zonální **turmalín**.

V akcesorickém množství se vyskytuje růžový až bezbarvý, často silně rozpraskaný, nepravidelně omezený **granát** a **kyanit**. Klasty kyanitu mají charakteristickou štěpnost, nejsou na nich patrné žádné stopy termického procesu. Jehlicovité krystaly sillimanitu tvoří často peckovité protáhlé agregáty.

Akcesoricky je zastoupen zřetelně pleochroický rozpraskaný turmalín.

Horninové klasty jsou nejčastěji polozaoblené. **Aplity** jsou tvořeny xenomorfně omezeným křemenem, alkalickými živci a plagioklasy. Mají charakteristickou mikropanxenomorfně zrnitou mikrostrukturu. Blastomylonitová mikrostruktura je specifická pro protáhlé klasty **mylonitů**. Mylonity jsou budovány z jemně drčených křemenů a alkalických živců, lemujících větší undulózně zhášejší křemeny. Úlomky **křemenců** mají izometrické mozaikovitě mikrostruktury. Přítomné **silicity** jsou nápadné sférolitickými – nerovnoměrně zrnitými mikrostrukturami. Okrouhlé až dokonale kulaté jsou klasty jemně zrnitých železitých **pískovců a prachovců**. Zachovávají se i relikt **vápencového ostřiva** (vápenný nedopal).

Protáhlé klasty **metamorfních břidlic** mají výrazně plošně paralelní mikrostruktury. Slídivé břidlice jsou složeny z křemene a muskovitu. Úlomky **rul** se vyskytují vzácně. Mají granoblastické mikrostruktury. Jejich minerální paragenezi tvoří křemen, alkalický živec, plagioklas ±biotit, ±muskovit. **Sillimanitové ruly** mají výrazné fibroblastické mikrostruktury. Obvykle je tvoří křemen, alkalický živec, biotit a sillimanit.

Běžné jsou relikt **biomasy**.

Minerální asociace ostřiva dvou keramických artefaktů technologické skupiny I (vz. č. 12, 16) je relativně druhově chudá. Identifikovány byly alkalické živce > plagioklasy a křemen. Horninové klasty jsou pestřejší: křemence, křemenné pískovce, aplity a mylonity.

Exotický keramický artefakt

V první technologické skupině z Pohanska se vyskytuje i exotická keramika (vz. č. 1, objekt-hrob 191, inv. č. 187585, okraj s výdutí zdobenou).

Mikropetrografický rozbor prokázal, že významnou složkou jeho ostřiva jsou slídy a slídivé břidlice. Z dalších minerálních a horninových klastů jsou zastoupeny alkalické živce, plagioklasy, křemen, amfiboly, granáty, sillimanit a kyanit.

V rámci horninových úlomků převažují slídivé břidlice (muskovit-grafitové břidlice, muskovitové ruly a biotit-sillimanitové ruly) nad ostatními (křemenci, silicity, aplity, amfibolity a mylonity).

Křemen tvoří zaoblená, polozaoblená až ostrohranná, převážně čirá zrnka. Vzácně uzavírá jemně jehličkovitě sillimanit.

Alkalické živce jsou poměrně hojné. Obdobně jako u křemene tvoří jak ostrohranné, tak i polozaoblené úlomky různé velikosti. Nejhojnější je jemně mřížkovaný, téměř čirý mikroklin, méně jsou zastoupeny alkalické živce mikroperthitické, ojediněle jsou kaolinitizované klasty ortoklasu.

Spolu s alkalickými živci se vyskytují drobnější, kaolinitizované místy i sericitizované, polysynteticky zdvojitěné **plagioklasy**.

Muskovit převažuje nad **biotitem**, který je zastoupen podružně. Obě slídy jsou lupenité až tence lupenité. Muskovit je bezbarvý nebo velmi slabě nažloutlý. Jeho paralelní orientace podmiňuje paralelní mikrostrukturu artefaktu. Rezavě hnědý biotit je obvykle výrazně přeměněný.

Běžný je narůžovělý až bezbarvý, rozpraskaný **granát** a úlomky **kyanitu** s charakteristickou štěpností.

Zelený, místy až bezbarvý **amfibol** a světlý žlutohnědý, pleochroický **turmalín** jsou zastoupeny sporadicky.

Panxenomorfně zrnité **aplity** jsou složené z alkalických živců, křemene, plagioklasů a slíd. Klasty **sillimanitových rul** mají výrazné fibroblastické mikrostruktury. Obvykle je tvoří křemen, alkalický živec, biotit a sillimanit. **Grafit-muskovitové** a **muskovitové břidlice** jsou nápadné s plošně paralelními mikrostrukturami. Obsahují grafit, muskovit, křemen a Fe-pigment. Okrouhlé klasty **křemenců** mají zrna křemene uspořádané v dlažební mozaikovitou mikrostrukturu. Protáhlé klasty mylonitů jsou nápadné polohami drceného křemene. Drobné úlomky **amfibolitů** mají minerální paragenezi zelený amfibol-plagioklas. Vzácně obsahují titanit. Okrouhlé až bizarní klasty **silicitů** mají nápadnou sférolitickou mikrostrukturu.

Keramický střep se liší od předchozích výrazně vyšším podílem slíd a slídových břidlic.

5.1.1.2 Pohansko technologická skupina II

Keramické artefakty technologické skupiny II byly vyrobeny ze slabě vápnitých pelitů s příměsí písku.

Jejich minerální asociaci tvoří křemen, alkalický živec, plagioklas, turmalín, granát, epidot, baueritizovaný až rubifikovaný biotit, vzácně muskovit, amfibol, sillimanit a akcesorický titanit.

V horninové asociaci se vyskytují především křemence, mylonity a aplity, které v některých artefaktech doplňují vápence, železité pískovce a silicity. Vzácně se objevují prachovce.

Klasty **křemene** jsou v řezu oválné, dokonale zaoblené až kulaté. Pouze místy se vyskytují klasty polozaoblené.

Alkalické živce jsou běžně tabulkovité se zaoblenými rohy. Ve výbrusových preparátech bývají mikroperthitické, velmi jemně mikroklinově mřížkované, často alterované. V produktech přeměn je přítomen jílový minerál a/nebo sericit.

Plagioklasy jsou mezi klasty ostříva až velmi vzácné. Jejich drobné, obvykle nepravidelně omezené klasty jeví polysyntetické dvojčatění. Oproti alkalickým živcům jsou čiré, bez produktů sekundárních přeměn.

Hnědý až rezavě hnědý **biotit** není pleochroický, není patrná anizotropie, pozorujeme pokročilou baueritizaci a rubifikaci. Místy uzavírá jemný opakní pigment.

Tence lupenitý bezbarvý **muskovit** je významnou součástí pojiva a kopíruje plošně paralelní mikrostrukturu.

Světle hnědý, sektorově zonální až hnědozelený **turmalín** je silně pleochroický, nevykazuje žádné známky teplotního postižení.

Sillimanit se vyskytuje jako jemně vláknité krystalky uzavřené v křemenu.

V pojivu se vzácně objevují světle hnědé úlomky titanitu. Vzácně jsou i bezbarvé, nepravidelně omezené, rozpraskané granáty.

Horninové klasty jsou druhově málo pestré. Zjištěny byly mozaikovitě **křemence**, paralelně uspořádané, nestejněměrně zrnité sericitové **mylonity**, úlomky reliktních vápenců a křemen-živcové aplity. Ojediněle jsou úlomky jemně zrnitých kaolinitových a železitých pískovců a hornin s epidotem.

Vzácně se setkáváme se stopami po biomase a s úlomky starší oxidačně pálené keramiky.

Exotický keramický artefakt

Rovněž ve druhé technologické skupině se setkáváme s cizorodým artefaktem. Jemně zrnitý vzorek č. 24 (inv. č. 145668, okraj s výdutí zdobenou), okrové barvy je ve studovaném souboru cizorodý. Plastická surovina je shodná se skupinou, odpovídá rovněž vápnitému aleuropelitu.

Od popisované skupiny se zcela odlišuje technologií přípravy keramického těsta. Pokud pomineme určitou podobnost minerální asociace, pak zásadní rozdíl je v přítomnosti hornin. Všechny horninové klasty patří mozaikovitým křemencům. Rozdílné je i omezení klastů ostříva. Klasty v technologické skupině II jsou polozaoblené, zaoblené až dokonale kulaté. Ve vz. č. 24 je ostřívo ostrohranné, s velkou pravděpodobností záměrně drcené.

Z úlomků minerálů byly identifikovány: křemen, alkalický živec, muskovit, plagioklas, turmalín, rutil, epidot, granát, amfibol, sekundární karbonát. Z horninových klastů jsou přítomny pouze křemence.

Křemen tvoří jemná, ostrohranná až poloostrohranná zrnka místy s patrným rozpraskáním. V některých zrnech jsou nápadné inkluze tence jehličkovitých sagenitů.

Plagioklasy se vyskytují jako nepravidelně omezené až střípkovité klasty, s výrazným polysyntetickým lamelováním. Místy uzavírají sericit, vzácněji jílové minerály.

Alkalické živce jsou v porovnání s plagioklasy zastoupeny ojediněle. Jejich velmi jemné úlomky mají patrné smouhovité perthity (odmišený albit) nebo mikroklinové mřížkování.

Muskovit je jemně lupenitý až šupinkatý, bezbarvý, paralelně uspořádaný, v pojivu střepu poměrně rozšířený. Velmi dobře kopíruje nevýrazně paralelní mikrostrukturu keramického střepu.

Hnědý až oranžově hnědý, zřetelně pleochroický **turmalín** bývá zastoupen sporadicky. Vedle turmalínu jsou akcesoricky přítomny růžové až bezbarvé **granáty**, zelený pleochroický **amfibol**, slabě nahnědlý **epidot** a hnědočervené **rutily**. Jejich úlomky jsou nápadně ostrohranné, turmalín a rutil vzácně i sloupečkovité.

Póry jsou povlečené nebo zcela vyplněné sekundárním karbonátem.

5.1.1.3 Pohansko technologická skupina III

Keramické artefakty technologické skupiny III. byly zhotoveny z plastické suroviny odpovídající vápnitým aleuropelitům s příměsí středně zrnitého písku.

Z minerálních klastů byl identifikován křemen, alkalický živec, plagioklas, muskovit, baueritizovaný biotit, turmalín, glaukonit a zelený amfibol. Ojedinelé byly tepelně postižené hnědé amfiboly. V jednom ze vzorků byl nalezen staurolit a andalusit.

Mezi horninovými klasty lze rozpoznat: křemence, silicity, pískovce, prachovce, prachové břidlice, slídkové břidlice, břidlice s grafitem, sillimanitové ruly, mylonity, aplity a ojedinelé mikrogranity. Součástí ostřiva byly i úlomky vápenců.

Klasty **křemene** tvoří zaoblená až polozaoblená zrnka, velikosti prachu až písku. Zrna jsou bez inkluzí, čirá, na některých z nich je patrné rýhování, často jsou rozpraskaná.

Alkalické živce jsou relativně početnou složkou ostřiva. Obdobně jako křemen bývají nestejně zrnité. Vyskytují se jako dokonale zaoblené až polozaoblené anizometrické klasty. Nejhojnější je jemně mřížkovaný, téměř čirý mikroklin, méně jsou zastoupeny alkalické živce mikroperthitické, ojedinelé kaolinitizované ortoklasy.

Spolu s alkalickými živci se vyskytují drobnější, kaolinitizované místy sericitizované, polysynteticky zdvojitěné, **plagioklas**y.

Muskovit je lupenitý až tence lupenitý, bezbarvý, místy slabě nažloutlý. Obvykle se vyskytuje jako izolované lupínky v pojivu střepe, uspořádán je plošně paralelně.

Rezavě hnědý **biotit** uzavírá místy opakní pigment, často je baueritizovaný a rubifikovaný¹⁹.

Světle **hnědozelený amfibol** je zřetelně pleochroický, sloupečkovitý či nepravidelně zrnitý. Klasty jsou místy zaoblené. Nejsou na něm patrné žádné tepelné změny.

Narezavělý, původně **zelený amfibol** je zastoupen sporadicky.

Turmalín tvoří střípkovité úlomky. V minerální asociaci je ojedinelý. Vyskytují se modrozelené, hnědozelené a oranžově zelené variety.

Horninové klasty jsou obvykle polozaoblené, okrouhlé až protáhlé. Mikropanxenomorfně zrnitá mikrostruktura je charakteristická pro úlomky křemen-živcových **aplitů**. Aplity jsou tvořeny xenomorfně omezeným křemenem, alkalickými živci a plagioklas. Některé jejich klasty obsahují turmalín. **Mikrogranity** bývají nápadně sférolitickými útvary alkalických živců. Protáhlé klasty **mylonitů** se vyznačují nápadně anizometricky uspořádanými shluky jemně drčených křemenů a alkalických živců, které uzavírají „porfyroklasty“ křemene. Úlomky **křemenců** a železitých křemenců mají laločnatě i zubovitě

mozaikovitě mikrostruktury. Značná variabilita byla pozorována v případě silicitů. Vyskytují se **silicity** se sférolitickými, nerovnoměrně zrnitými, reliktními i fibrolitickými mikrostrukturami. V některých z nich lze rozpoznat tvarové relikty foraminifer. Okrouhlé až dokonale kulaté jsou klasty jemně zrnitých **pískovců a prachovců**. **Sedimentární prachové břidlice** tvoří protáhlé, mikrolaminované klasty. V minerální asociaci lze rozpoznat křemen, muskovit, biotit, alkalické živce, plagioklas a jílové minerály. V některých z nich je přítomen karbonátový mikrit. Mezi horninovými klasty byly rozpoznány i relikty **vápencového ostřiva** (vápenný nedopal).

Protáhlé klasty **metamorfních břidlic** mají výrazně plošně paralelní mikrostruktury. Slídkové břidlice jsou složeny z křemene a muskovitu. **Sillimanitové ruly** mají fibroblastické mikrostruktury. Jejich minerální parageneze tvoří křemen, sillimanit, biotit, muskovit, alkalický živec, plagioklas.

Přibližně v polovině z analyzovaných vzorků lze identifikovat relikty **biomas**y.

Ve vz. č. 17 se vyskytují i úlomky starší keramiky.

V povrchových vrstvách (nebo i v celé hmotě artefaktu) je v pórech přítomen sekundární karbonát a mnohdy i sekundární fosforečnan – vivianit. Minerály vznikly pravděpodobně v důsledku vlivu okolního geologického a/nebo antropogenního prostředí.

Výpal keramiky proběhl v redukční atmosféře, teplota byla blízká 700 °C. Na vnějším povrchu některých artefaktů je patrný oxidační přepal.

5.1.2 Petroarcheologie písčité keramiky z Mikulčic

Obdobně lze i zde mezi písčítými keramickými artefakty rozpoznat tři technologické skupiny.

5.1.2.1 Mikulčice – technologická skupina I

Výchozí surovina odpovídá pelitům až aleuropelitům s příměsí písku.

Z úlomků minerálů lze v ostřivu doložit křemen, alkalické živce převažující nad plagioklas a muskovit. Mezi úlomky hornin se objevují křemence, silicity, aplity, mylonity a pískovce.

Křemen se zaoblenými až dokonale zakulacenými klasty je nejhojnější složkou ostřiva. Místy je silně rozpraskaný.

Alkalické živce převažují nad plagioklas. Jejich polozaoblené až zaoblené úlomky se od křemene odlišují alteracemi. Mikroklinové i ortoklasové klasty, jsou velmi slabě kaolinitizované. Bývají i mikroperthitické.

Plagioklasy se vyskytují jako nepravidelně omezené úlomky s výrazným polysyntetickým lamelováním. Uzavírají sericit, vzácněji apatit.

Lupínky bezbarvého **muskovitu** jsou ojedinelé.

Horninovou asociaci ostřiva tvoří nejčastěji **křemence a jemně zrnité pískovce**, ojedinelé jsou **aplity a mylonity**. Minerální parageneze aplitických klastů je muskovit-křemen-ortoklasová. Mikrostrukturu mají mikropanxenomorfně zrnitou. Některé póry mají pigmentované

¹⁹ Baueritizovaný a rubifikovaný biotit nelze jednoznačně rozpoznat od chloritu. Protože většinou chlority vznikají přeměnou biotitu nejsou v minerální asociaci uváděny, a to i přesto, že ve výchozí surovině mohou být přítomny.

lemy uhlíkovou substancí. Lze proto předpokládat hoření biomasy.

5.1.2.2 Mikulčice – technologická skupina II

Výchozí surovinou byl pelit s karbonátovým mikritem (1–5 %).

Minerální asociaci ostríva tvoří křemen, alkalické živce převažující nad plagioklasy, zelený amfibol, staurolit, granát, turmalín a pyroxen.

V horninové asociaci se vyskytují křemence, pískovce, silicity, aplity, mylonity a reliktové vápence.

Úlomky **křemene** jsou polozaoblené až poloostrohranné. Křemen je čirý, místy slabě undulózně zháší.

Alkalické živce převažují nad plagioklasy. Tvoří polozaoblené až zaoblené klasty, jsou velmi slabě alterované – kaolinitizované.

Nepravidelně omezené klasty **plagioklasů** se vyskytují vzácněji. Jsou zdvojitěné, výrazně polysynteticky lamelované. Bývají i alterované, dvojitě lamely jsou místy zastřeňeny produkty sekundárních přeměn zejména sericitizací.

Zelený **amfibol** je zřetelně pleochroický (X- bezbarvá, Z- smaragdově zelená), má velmi dobře patrnou charakteristickou štěpnost a středně vysoký dvojlom. Nemá znaky teplotního postižení.

Úlomky **pyroxenů** jsou světle hnědé, téměř nepleochroické. Rovněž na nich nepozorujeme žádné stopy po výpalu. Identifikovány byly i žluté, poikilblastické, úlomky **staurolitu** a bezbarvých až světle růžových rozpraskaných **granátů**.

Lupínky bezbarvého **muskovitu a rubifikovaného (baueritizovaného) biotitu** jsou velmi vzácnými složkami ostríva.

Z úlomků hornin jsou přítomny **aplity a mylonity**, jemně zrnité **pískovce, silicity a křemence**. V úlomcích aplitů byly vedle xenomorfních křemenů a živců přítomny i zonální hnědé **turmalíny**. Běžně jsou zastoupeny jemně zrnité pískovce.

Některé póry mají uhlíkovou substancí pigmentované lemy. Pravděpodobně jde o stopy po vyhoření **biomasy**, která mohla mít funkci lehčiva.

5.1.2.3 Mikulčice – technologická skupina III

Výchozí surovinou byl vápnitý aleuropelit.

Mikropetrografickými rozbory byla prokázána minerální asociace: křemen, alkalické živce převažující nad plagioklasy, amfibol, pyroxen, sagenit, granát, muskovit, biotit a zirkon. V horninové asociaci jsou přítomny: křemence, vápence, vzácné pískovce, metakvarcity, biotitové a sillimanitové ruly, břidlice s grafitem a kalcitem, chloritové břidlice, nerozložené mikrogranity, aplity, mylonity a úlomky hydrotermálních žil.

Křemen tvoří drobná, polozaoblená až zaoblená zrnka s patrným rozpraskáním. V některých zrnech jsou přítomny agregáty tenké jehličkovitých sagenitů.

Alkalické živce vždy výrazně převažují nad plagioklasy. Jejich nepravidelně omezené klasty mají patně smouhovité perthity (odmíšený albit), častější je jemně mřížkovaný (mikroklin) než ortoklas. Jsou velmi slabě alterované – kaolinitizované.

Plagioklasy se vyskytují podružně. Tvoří nepravidelně omezené až tabulkovité klasty, se zaoblenými rohy. Nápadné je výrazné polysyntetické lamelování. Uzavírají sericit, vzácněji jsou kaolinitizované.

Muskovit bývá v pojivu střepe významně zastoupený. Jeho bezbarvé, tenké lupenité úlomky jsou paralelně uspořádané. Rovněž rezavě hnědý až červenohnědý **biotit** je jemně lupinkovitý. Je podružně zastoupený než muskovit a je silně rubifikovaný, místy uzavírá opakní zrnka. Obě slídy velmi dobře kopírují paralelní až lentikulární mikrostrukturu keramického střepe.

Úlomky světle hnědých **pyroxenů** s charakteristickou štěpností jsou velmi vzácné. Není na nich patrný vliv teploty.

V akcesorickém množství jsou přítomny střípkovité růžové až bezbarvé **granáty**, zelené až hnědozelené pleochroické **amfiboly**, bezbarvý, dokonale štěpný **kyanit** a jehlicovité agregáty **sillimanitu**, velmi vzácné jsou zirkony.

V horninové asociaci upoutávají pozornost klasty **hydrotermálního křemene** s patrnými přírůstkovými zónami, četné klasty **rul a břidlic s grafitem a kalcitem**.

Výrazné jsou plošně paralelní mikrostruktury protáhlých klastů **metamorfních břidlic**. **Chloritové břidlice** jsou složeny z křemene a chloritu+opakní zrna. Úlomky **biotitových rul** se vyskytují vzácně. Mají granoblastické až lepidogranoblastické mikrostruktury. Jejich minerální paragenezi tvoří křemen, alkalický živec, plagioklas +biotit +muskovit.

Aplity jsou tvořeny xenomorfně omezeným křemenem, alkalickými živci a plagioklasy. Mají charakteristickou mikropanxenomorfně zrnitou mikrostrukturu. **Mikrogranity** mají hypautomorfně zrnité mikrostruktury a minerální paragenezi křemen, alkalický živec, plagioklas + muskovit. **Mylonity** jsou složeny z jemně drcených křemenů a alkalických živců, lemujících větší zrna undulózně zhášejícího křemene. Blastomylonitová mikrostruktura je specifická. Protáhlé až izometrické úlomky **křemenců** mají dlažbovité mikrostruktury. Jsou tvořeny výhradně křemenem. Klasty **metakvarcitů** jsou protáhlé, mikrostruktury anizometrické. Vedle křemene obsahují i sericit a velmi jemný opakní pigment. **Silicity** jsou uspořádány do sérolitických často nerovnoměrně zrnitých mikrostruktur. Klasty jemně zrnitých **pískovců a prachovců** jsou okrouhlé až dokonale kulaté. Zachovány jsou i reliktové **vápencového ostríva** (vápenný nedopal).

Velmi nápadné jsou reliktové nerozložené vápence a sekundární kalcit na stěnách pórů. Přítomnost **biomasy** prokazují ve výbrusovém preparátu póry černě lemované uhlíkem, jejichž tvar názorně dokládá, že jde o póry vzniklé po vyhoření dřevěných pilin, sena nebo slámy. V pórech artefaktů je přítomen i **vivianit**.

5.1.3 Chemické složení keramických artefaktů z Mikulčic a Pohanska

Pro studium chemického složení studovaných keramických materiálů byly využity chemické silikátové analýzy a WDX mikroanalýzy pojiva studovaných artefaktů.

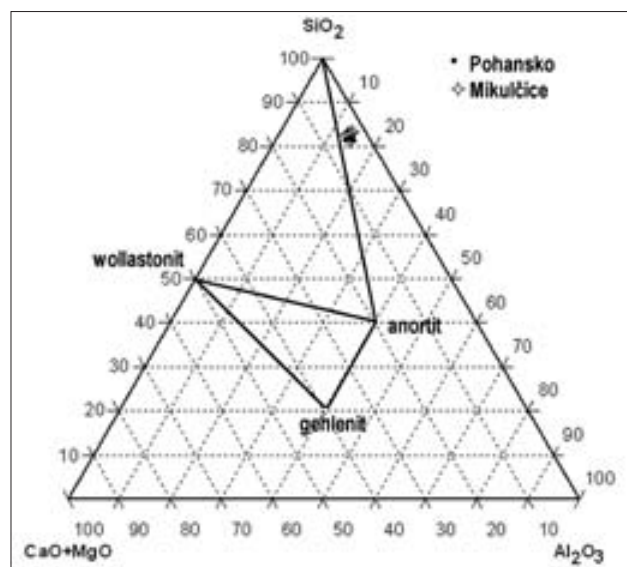
5.1.3.1 Chemické složení keramických artefaktů

Chemické složení písčité keramiky z Pohanska a Mikulčic bylo stanoveno u 10 ze studovaných artefaktů. Pro analýzy bylo vybráno pět úlomků keramiky z každé z hodnocených lokalit. Na nich byla provedena klasická silikátová analýza (tzv. mokrou cestou). Výsledky silikátových analýz jsou uvedeny v tab. 5.1:7. Z tab. 5.1:7 je zřejmé, že mikulčická keramika vykazuje vyšší průměrný obsah oxidu křemičitého (o 2,3 %). Obsah oxidu hlinitého je vyšší u keramiky z Pohanska (průměrně o 0,3 %). Přibližně o 0,3 % je v mikulčické keramice vyšší obsah oxidu draselného a o 0,2 % oxidu fosforečného. Chemické složení keramik na obou lokalitách se vyznačuje velmi nízkým obsahem oxidu sodného.

Z ternárního diagramu (obr. 5.1:1), používaného pro posouzení homogenity, je patrné, že analyzované keramické artefakty se koncentrují napravo od linie anortit-křemen a představují keramiku chudou na Ca+Mg.

Analýzované střepy jsou podle těchto kritérií homogenní.

Výsledky chemické analýzy byly použity pro výpočet normativního minerálního složení keramiky²⁰. Přepočtení je uvedeno v tab. 5.1:8. Na první pohled je patrné, že vyšší



Obr. 5.1:1 Ternární diagram $(\text{MgO}+\text{CaO})\text{-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ dokládající chemickou homogenitu studovaných keramických artefaktů písčité keramiky z Pohanska a Mikulčic (upraveno podle Maggetti, Rossmann 1981).

²⁰ Termín „normativní minerál“ se používá pro vypočtené minerální standardy, které se liší od reálného minerálního složení. Jde o normativní křemen, albit, plagioklas atd. viz dále. Stanovení těchto norem se provádí podle standardních zjednodušených formulí minerálů s užitím počítačových programů. Přepočtení bylo provedeno softwarem MINLITH autorů Rosen et al. (2000) pro sedimentární horniny. Autoři si jsou vědomi toho, že používají klasifikaci doporučenou pro sedimentární horniny pro technolity blízké více metamorfovaným horninám. Jde o to co nejvíce si přiblížit původní suroviny. Normativní klasifikace CIPW a jim podobné, s libovolnými korekcemi, nikdy neposkytovaly „srovnatelné“ výsledky suroviny – keramika. A to i přesto, že i keramika je „žárově metamorfovaný“ sediment.

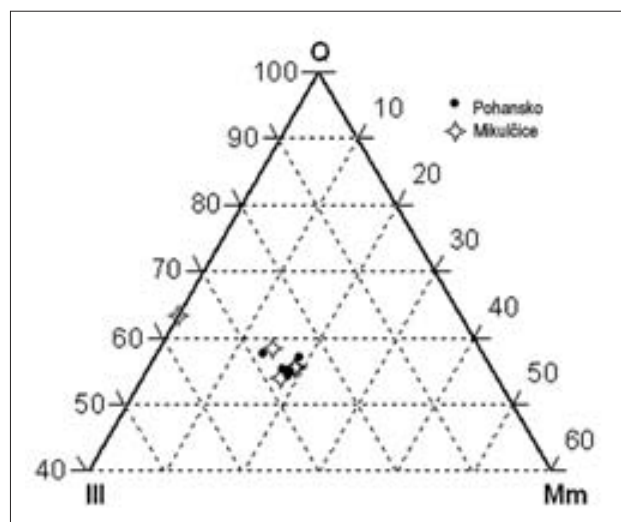
procentuální zastoupení oxidu křemičitého se v minerálním složení projevilo v různém obsahu normativního křemene.

U mikulčické keramiky je zhruba o 3 % vyšší než u keramiky z Pohanska. Z obr. 5.1:2 je zřejmé, že rozdíly nejsou tak zásadní. Pouze jeden vzorek z Mikulčic (vz. 57) se svojí projekcí odlišuje. V jeho pojivu nebyl stanoven normativní montmorillonit a kaolinit.

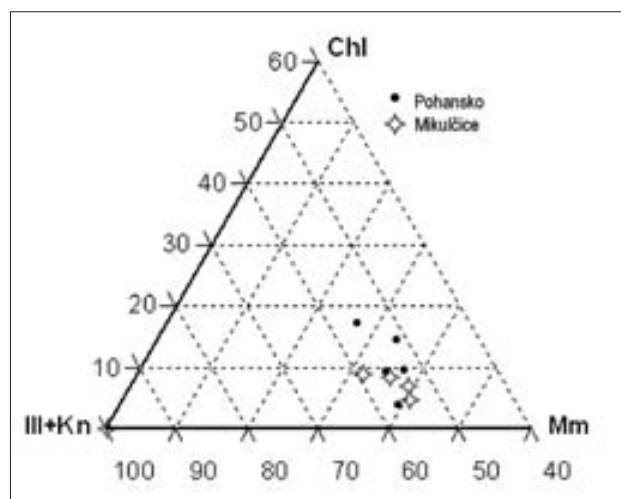
Normativní složení pojiva keramických artefaktů naznačuje, že jeho hlavní fáze tvoří illit a montmorillonit. Zastoupení normativního kaolinitu je velmi nízké až nulové. Znázornění skladby pojiva bylo provedeno pomocí normy illit+kaolinit, chlorit a montmorillonit (viz. obr. 5.1:3).

5.1.3.2 WDX mikroanalýzy pojiva artefaktů z Pohanska a Mikulčic

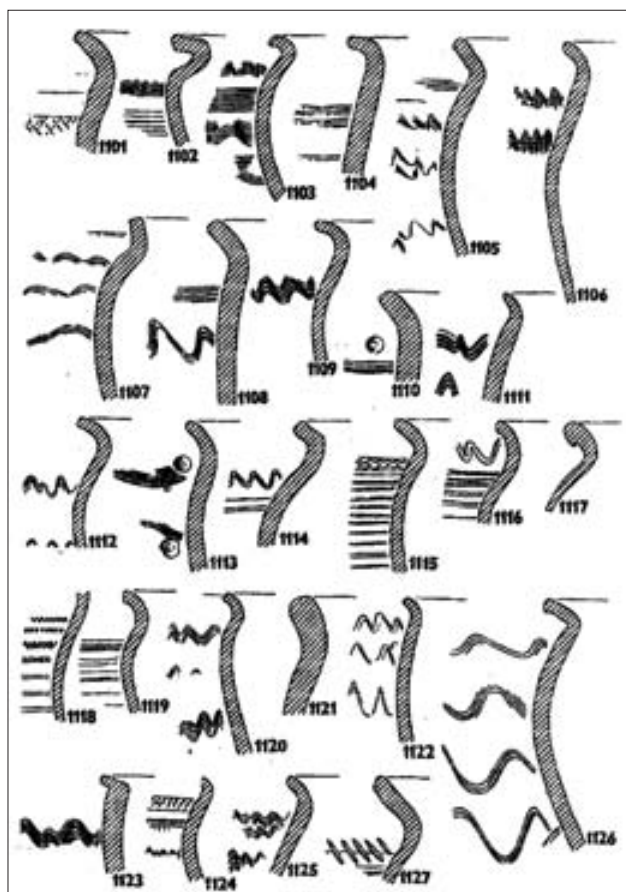
V každém výbrusovém preparátu ze studovaných artefaktů bylo provedeno 20–25 bodových analýz pojiva.



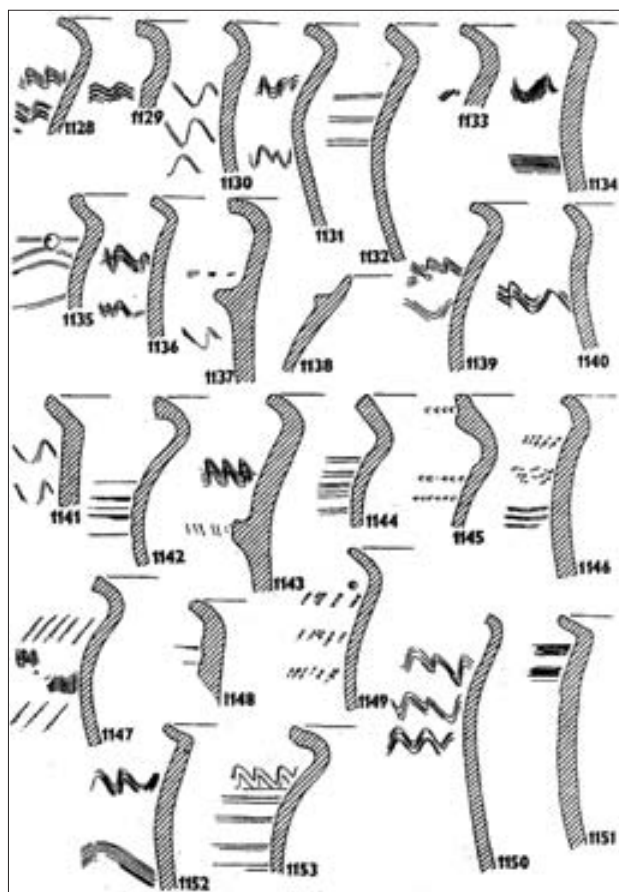
Obr. 5.1:2 Projekce normativního křemene a hlavních složek pojiva (normativního illitu a montmorillonitu) keramických artefaktů z Mikulčic a Pohanska. Vysvětlivky viz tab. 5.1:8.



Obr. 5.1:3 Normativní složení pojiva keramických artefaktů z Mikulčic a Pohanska. Vysvětlivky viz tab. 5.1:8.



Obr. 5.2:13 Řezy grafitovou keramikou z Mikulčic.



Obr. 5.2:14 Řezy grafitovou keramikou z Mikulčic (pokračování).

grafitové keramiky z Mikulčic jsou doloženy obr. 5.2:13 až obr. 5.2:16.

Korelační koeficient obsahu grafitu a tloušťky stěny keramických nádob je poměrně nízký (+0,42). Kladná hodnota vypovídá o tom, že s tloušťkou stěny keramické nádoby by měl obsah grafitové substance růst. Pokud vycházíme z absolutní hodnoty korelačního koeficientu, jde o závislost velmi slabou. Obsahy grafitu musely být ovlivněny jinými faktory, z nichž jedním je pravděpodobně atmosféra během výpalu. Vztah tloušťky keramiky v příčném řezu a obsahu grafitové substance dokumentuje graf reálných a očekávaných tloušťek keramiky v řezu podle obsahů grafitové substance (obr. 5.2:17). V souboru studovaných grafitových artefaktů mikulčické keramiky byl vyčleněn i **typ keramiky s exotickými technologickými prvky**.

V ní jsou zastoupeny keramické střepy, které lze s určitými výjimkami zařadit do výše definovaných skupin. Obsahy grafitu korespondují s některými z uvedených technologických typů, ale střepy se určitými atributy tak výrazně liší, že je vhodné z nich vytvořit samostatnou skupinu. Šest artefaktů se výrazně lišilo vysokým obsahem a orientací slíd, tři artefakty měly extrémně nízký obsah ostriřiva. Z toho dva byly vypálené redukčně a jeden oxidačně.

Změna barvy povrchu byla do určité míry závislá na způsobu výpalu, tj. zda byl oxidační nebo redukční.

Respektive u některých střepů se projevují oba. Výsledkem je jinobarevná povrchová vrstva, která má mnohem slabší ořet.

U dvaceti osmi střepů mikulčické grafitové keramiky byly pozorovány určité povrchové změny, které vyvolávají dojem povrchové úpravy. Obvykle jsou patrné již na makrovzorcích. Povrchově upravené fragmenty mají často výrazně světlejší povrchovou vrstvu.

Mohou vnikat **oxidačním přezahem** to znamená, že po prvním výpalu (redukčním nebo i oxidačním) následuje druhý, krátkodobý výpal v oxidačních podmínkách. Takto byla „upravena“ převážně keramika II. technologického typu. Struktura střepů v řezu má pak sendvičový vzhled. Vnější povrch obsahuje pouze grafit makroskopický nebo grafit není přítomen (např. u technologického typu I. tj. keramiky pálené oxidačně). Oxidační přezah bývá nečastěji na vnější straně keramického zboží, ale u keramiky slídové byl u několika vzorků pozorován oboustranný, vnější i vnitřní oxidační přezah keramické nádoby.

Tyto změny povrchu mohou vznikat i nezáměrně v souvislosti s nahodilou pozicí výrobku v peci. Nebo odrazejí změny atmosféry ve vypalovacím prostoru v závěru výpalu. Redukční podmínky se mohou, v důsledku nedbalosti topiče, nebo nedodržení technologie výpalu, změnit v oxidační a výrobky zcela přirozenou cestou změni barvu povrchu. Známé jsou i „strakaté“ výrobky.

Mikrostruktury archeologické keramiky

Mikrostruktury všesměrně zrnité³³

(není patrná žádná přednostní orientace ani u pojiva a ani u ostřiva).

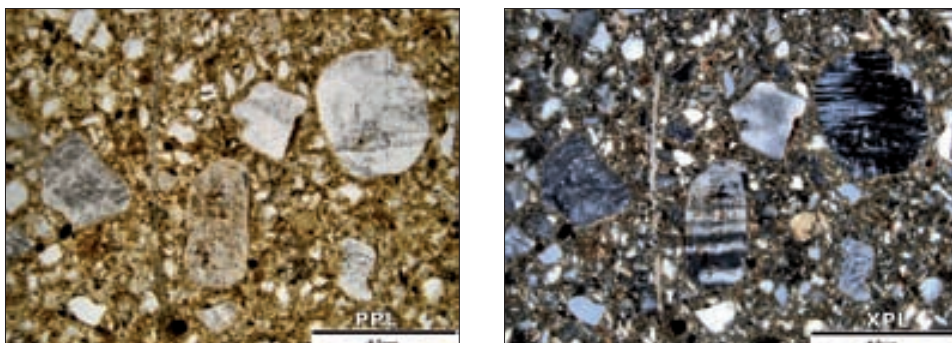


Foto 4.2:1 Mikrostruktura všesměrně zrnitá, pojivo heterogenní. Keramika časně slovanského období. Pavlov.

Mikrostruktury paralelní - (v petrografickém mikroskopu je patrné plošně paralelní uspořádání slídových minerálů souhlasné obvykle s povrchem výrobku).

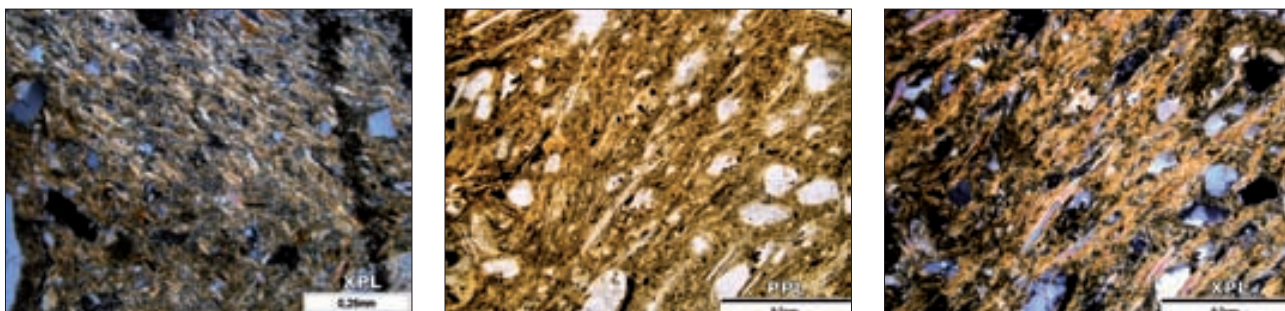


Foto 4.2:2 Mikrostruktura paralelní, pojivo heterogenní. Keramika středohradištního období. Mikulčice.

Foto 4.2:3 Mikrostruktura paralelní, pojivo heterogenní. Hluboké Mašůvky, kultura s lineární keramikou.

Mikrostruktury lentikulární – lístkovité (tence lupenité, tence tabulkovité, šupinkaté) minerály doškovitě překrývají „oka“ ostřiva“.

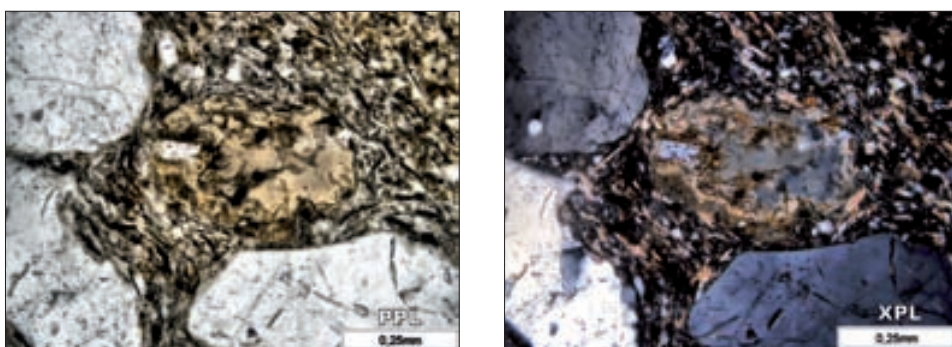


Foto 4.2:4 Mikrostruktura lentikulární, pojivo homogenní. Keramika středohradištního období. Mikulčice.

33 Foto: Petrografický mikroskop Olympus BX51.

Charakteristické stavební prvky

Střípkovitý charakter ostřiva

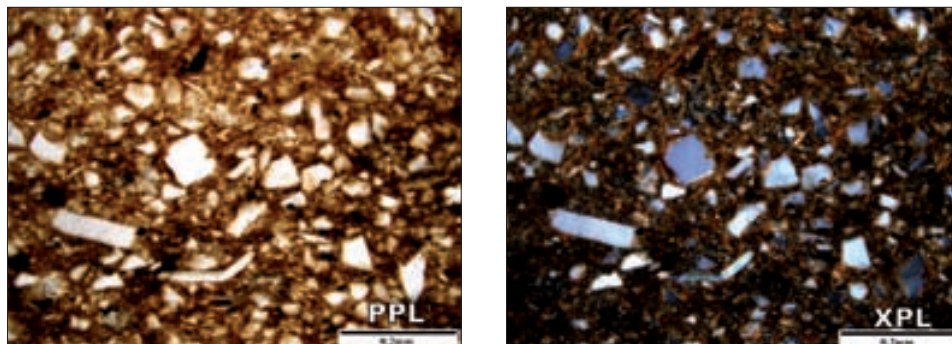


Foto 4.2:18 Střípkovitý charakter ostřiva. Keramika věteřovské kultury. Bánov.

Pod glazurové mezivrstvy. Vznikají jako tenké lemy mezi vlastním keramickým jádrem a povrchovou glazurou.

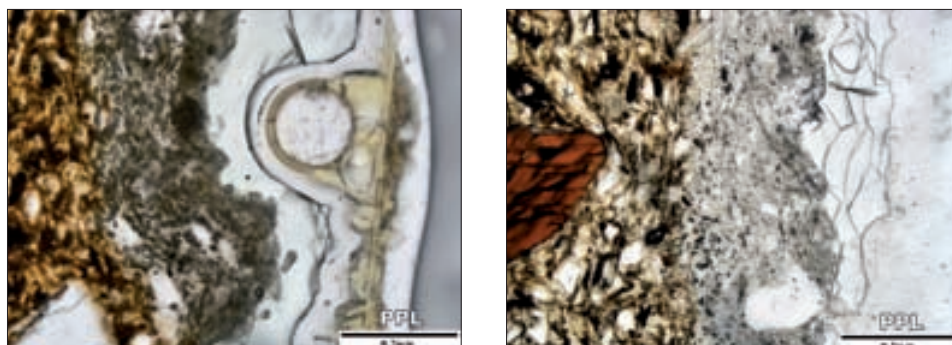


Foto 4.2:19 Mezivrstvy pod barevnou glazurou. Keramika habánská, 17 století. Strachotín.

Typy archeologických keramik podle ostřiva

Keramika písčité

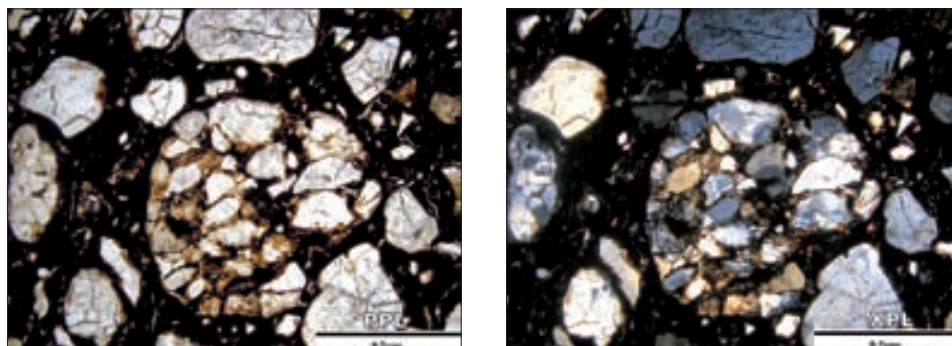


Foto 4.3:1 Písčité keramika středohradištního období. Mikulčice.

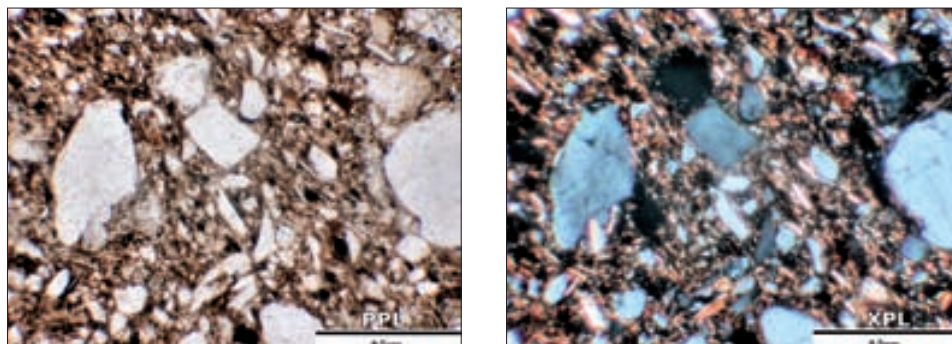


Foto 4.3:2 Písčité keramika. Keramika mladohradištního období. Přerov.

PRILOHA 5

Loštické poháry



Foto 5.5:1 Loštický pohár s šesti oušky a pohár bez oušek. Sbírký Moravského muzea v Brně.

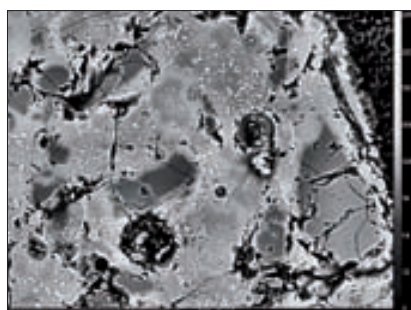


Foto 5.5:2 Mikrostruktura keramiky skupiny (010). Drobné vysoce odrazné (bílé) krystaly tvoří spinely. Cameca SX100, BSE. Foto P. Sulovský.

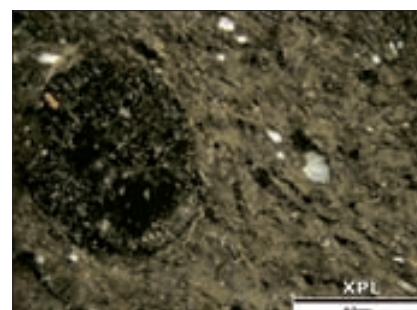
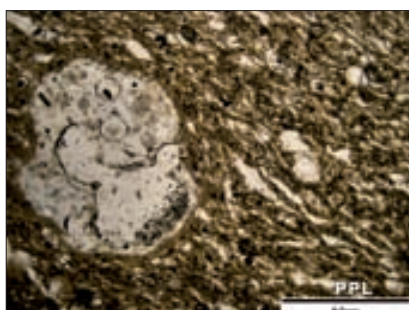


Foto 5.5:3 Fluidální mikrostruktura s okrouhlými útvary pórovité skloviny. Keramická skupina (010). Petrografický mikroskop Olympus BX51. Foto M. Gregerová.

PRILOHA 6

Fotodokumentace habánské keramiky z lokality Strachotín a Vacenovice

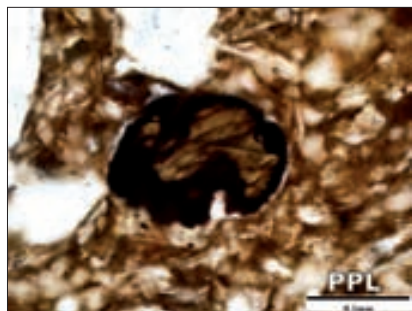


Foto 5.6:1 Tmavě hnědočervený amfibol s opacitovým lemem. Keramický artefakt S 8/11. Strachotín.

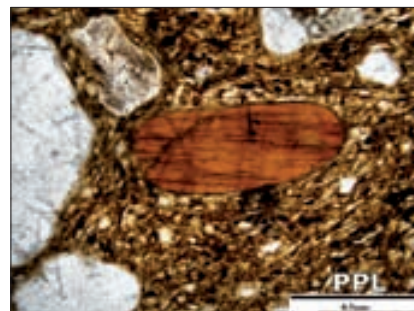
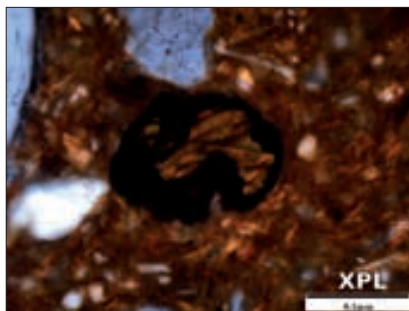


Foto 5.6:2 Červený amfibol keramickém artefaktu Keramický artefakt S 7/11. Strachotín.

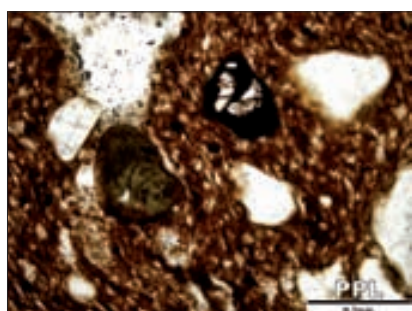


Foto 5.6:3 Granát s opakním lemem vedle turmalínu. Keramický artefakt S 10/11. Strachotín.

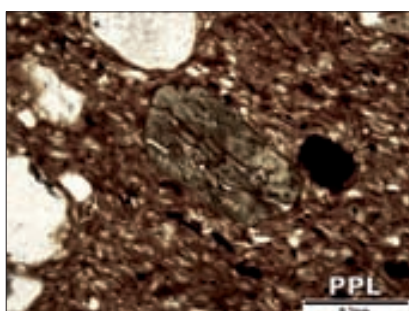


Foto 5.6:4 Pyroxen. Keramický artefakt S 8/11. Strachotín.

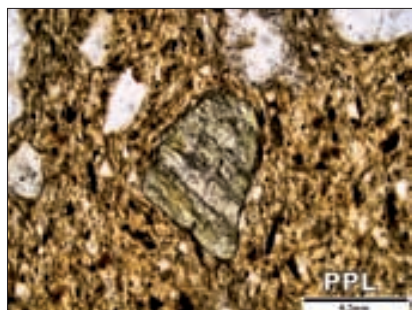
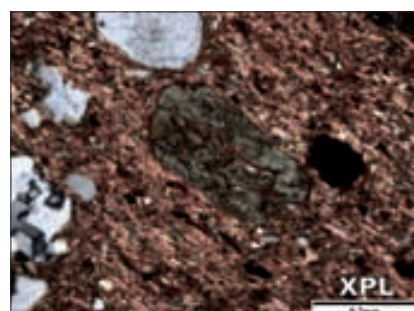


Foto 5.6:5 Epidot v keramickém artefaktu S6/11, Strachotín.

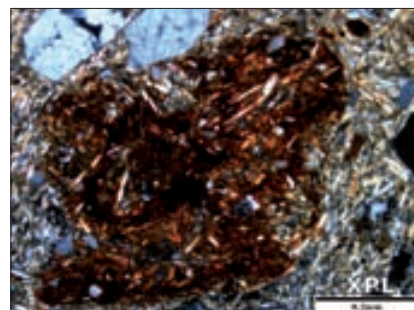
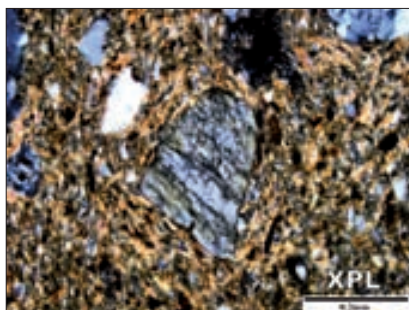


Foto 5.6:6 Úlomek starší keramiky v keramickém artefaktu K10/14. Vacenovice.

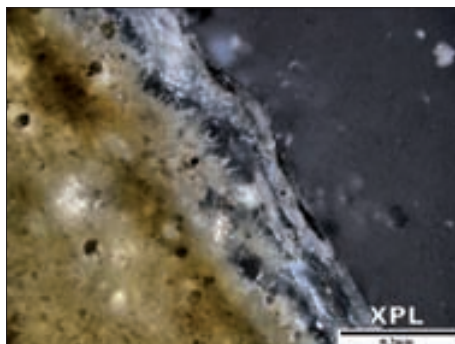
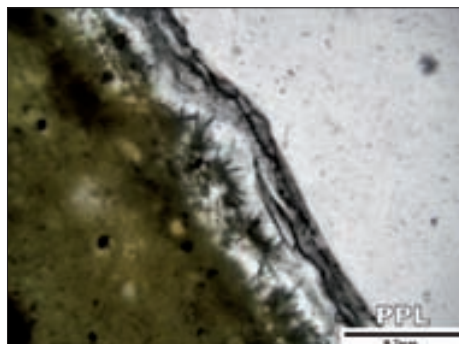


Foto 5.6:7 Mikrostruktura glazovaného keramického artefaktu Strachotín (S 2/11) a mezivrstvy s jehlicovitými krystaly alamositu?.