

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geologie

**Petroarcheologická analýza středověké keramiky z hradu
Tepence**

Bakalářská práce

Autor: Lucie Gruntová

Studijní program: Environmentální geologie (B1201)

Vedoucí práce: Mgr. Martin Moník, Ph.D.

Olomouc 2015

Prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou prací na téma „Petroarcheologická analýza středověké keramiky z hradu Tepence“ vypracovala samostatně pod dohledem vedoucího práce a za použití literatury, kterou cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

V Olomouci dne 11. 5. 2015

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat mému vedoucímu práce Mgr. Martinu Moníkovi, Ph.D. za cenné rady a vstřícnost při zpracování informací v této práci. Poděkování také patří Mgr. Jaroslavu Kapustovi za odbornou pomoc při optické mikroskopii.

Zvláštní poděkování patří mé rodině a přátelům za podporu a trpělivost při mém studiu.

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Lucie Gruntová

Název práce: Petroarcheologická analýza středověké keramiky z hradu Tepence

Typ práce: Bakalářská práce

Pracoviště: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geologie

Vedoucí práce: Mgr. Martin Moník, Ph.D.

Rok obhajoby: 2015

Abstrakt:

Tématem této bakalářské práce je petroarcheologická analýza středověké keramiky z hradu Tepence. Tato keramika pochází ze 14. století a byla tedy pravděpodobně vyrobena a užívána ve velmi krátkém časovém rozmezí cca 66 let (Vránová, Vrána 2005). Cílem bakalářské práce je zjistit, zda keramické třídy vyčleněné archeology pro keramiku z Tepence jsou založené na rozdílné technologii výroby, a to zejména z hlediska mineralogického složení a teploty výpalu.

Teoretická část se věnuje geografii a geologii okolí obce Jívová, keramikou a metodami určování teploty výpalu. Uvádí příklady petroarcheologie středověké keramiky na Moravě a ve Slezsku. V experimentální části jsou popisovány analyzované vzorky a je použita metoda pro zjištění teploty výpalu keramiky. K zjišťování maximální teploty výpalu bylo použito měření magnetické susceptibility dle Rasmussena et al. (2012), dále optická mikroskopie a energiově disperzní analýza. Teplota výpalu jednotlivých keramických fragmentů se většinou lišila. Je tedy pravděpodobné, že původní nádoby nepocházely z jednoho výpalu, patrně ani z jedné keramické pece či dílny. Jednotlivé typologické kategorie vyčleněné archeology se tedy z části zakládají i na rozdílné technologii výroby jednotlivých vzorků.

Klíčová slova: Jívová, hrad Tepenec, magnetická susceptibilita, keramika.

Počet stran: 48

Počet příloh: 1

Jazyk: Český

Bibliographical identification

Author's first name and surname: Lucie Gruntová

Title: Petroarchaeological analysis of medieval pottery from the Castle Tepenec.

Type of thesis: bachelor's thesis

Institution: Palacký University in Olomouc, Faculty of Science, Department of Geology

Supervisor: Mgr. Martin Moník, Ph.D.

The year of presentation: 2015

Abstract:

The theme of this thesis is petroarchaeological analysis of medieval pottery from the castle of Tepenec. This pottery dates back to the 14th century and was probably made and used in a very short time about 66 years (Vránová, Vrána 2005). The aim of this thesis is to determine whether the ceramic classes defined by the archaeologists of pottery from the castle of Tepenec are based on different production technology, especially from a viewpoint of mineralogical composition and firing temperature. The theoretical part deals with the geography and geology in the vicinity of Jívová village, ceramics and methods of determining the firing temperature. This thesis also gives examples of petroarchaeology of medieval pottery in Moravia and Silesia. In the experimental section are described analyzed samples and there is used a method of determining the firing temperature of ceramics. For determining the maximum firing temperature was used the magnetic susceptibility according to Rasmussen et al. (2012), as well as optical microscopy and energy dispersive analysis. Firing temperature of each ceramic fragments, were usually different It is therefore likely that the original ceramics containers did not come from a single form of firing, probably neither same pottery kilns nor workshop. Individual typological categories earmarked by the archaeologists are based on different technology of making of individual samples.

Keywords: Jívová, Tepenec Castle, magnetic susceptibility, ceramics

Number of pages: 48

Number of appendices: 1

Language: Czech

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Popis lokality a geologické situace	11
3. Keramické materiály	13
4. Keramické suroviny	13
4.1. Hlavní keramické suroviny.....	14
4.1.1. Plastické suroviny	14
4.1.2. Ostřiva	14
4.2. Pomocné keramické suroviny.....	14
5. Fáze výroby keramiky	15
5.1. Příprava keramické hmoty.....	15
5.2. Sušení	15
5.3. Výpal	15
5.4. Povrchové úpravy.....	16
6. Petroarcheologie středověké keramiky s důrazem na období vrcholného středověku na Moravě.....	16
6.1. Písčítá keramika z Mikulčic.....	17
6.1.1. Technologická skupina A - pelity s příměsí písků	17
6.1.2. Technologická skupina B - slabě vápnité pelity.....	17
6.1.3. Technologická skupina C - vápnité aleuropelity	17
6.2. Brněnská keramika	18
6.3. Loštická keramika	18
6.4. Grafitová keramika.....	19
6.5. Keramika z okolí Přerova a Kojetína	19
7. Hlavní metody určování teploty výpalu keramiky.....	19
7.1. Paleointenzita magnetického pole.....	20
7.2. Mössbauerova spektroskopie.....	20
7.3. Magnetická susceptibilita (MS, χ)	20
7.4. Mikropetrografie	22
7.5. Rentgenová difrakční analýza XRD.....	25
7.6. Diferenční termická analýza DTA	26
7.7. Porozimetrie.....	27

8. Metodika.....	27
9. Výsledky.....	29
9.1. Analyzované vzorky.....	29
10. Diskuze.....	37
11. Závěr.....	39
12. Seznam pramenů a použité literatury.....	40
13. Přílohy.....	42

Seznam tabulek

Tab. 1: Přeměny minerálních fází s teplotou	24
Tab. 2: Přehledná tabulka znázorňující zvyšující se teplotu v intervalu 30°C a snižující se dobu sušení.....	28
Tab. 3: Fotografie analyzovaných keramických fragmentů.....	31
Tab. 4: Základní charakteristika analyzované keramiky z hradu Tepence.....	32
Tab. 5: Výsledky chemických analýz chloritů v hm. %.....	36
Tab. 6: Výsledky chemických analýz amfibolů v hm. %.....	36
Tab. 7: Výsledky chemických analýz biotitů v hm. %.....	37

Seznam obrázků

Obr. 1: Zeměpisná mapa okolí hradu Tepence	12
Obr. 2: Plán lokality	13
Obr. 3: Graf vlevo znázorňuje změnu susceptibility při experimentálním znovu-přepalování; data v grafu vpravo jsou umocněna na druhou pro snazší identifikaci první odchylky od normálu	22
Obr. 4: Nákres znázorňující různá strukturní uspořádání mezi minerálními zrny keramické hmoty před výpalem (A), a po výpalu při různých teplotách (B, C, D).....	25
Obr. 5: 3-D XRD záznam simulace přepalu keramického vzorku	26
Obr. 6: Příklady stanovení maximálních vypalovacích teplot metodou magnetické susceptibility metodou Rasmussen et al. (2012).	34
Obr. 7: Sloupcový graf znázorňující maximální teploty výpalu u analyzovaných vzorků.	35

Seznam příloh

Příloha 1

Obr. 8: Vzorek před výpalem. Zrno amfibolu	42
Obr. 9: Vzorek před výpalem. Zrno křemene	42
Obr. 10: Vzorek před výpalem. Baueritizovaný biotit.	42
Obr. 11: Vzorek před výpalem. Zrno grafitu v odraženém světle.	43
Obr. 12: Vzorek po přepalu na 1200°C.....	43
Obr. 13: Vzorek po přepalu na 1200°C. Na snímku zrno amfibolu.....	43
Obr. 14: Vzorek před výpalem. Zrno grafitu v odraženém světle.	44
Obr. 15: Vzorek před výpalem. Zrno hematitu v odraženém světle.	44

Obr. 16: Vzorek před výpalem. Křemen a muskovit	44
Obr. 17: Vzorek před výpalem. Vlevo kaolinizovaný plagioklas	45
Obr. 18: Vzorek po výpalu na 1200°C. Vlevo Zrno K-živce	45
Obr. 19: Vzorek před výpalem. Nelze rozpoznat minerální fáze.....	45
Obr. 20: Vzorek před výpalem. Zrna křemene	46
Obr. 21: Vzorek před výpalem. Zrno grafitu v odraženém světle	46

Příloha 2

Obr. 22: Keramický fragment 05/2008-1158/93 před výpalem. Zrno amfibolu s akcesorickým titanitem, SEM.	46
Obr. 23: Keramický fragment 05/2008-1158/93 před výpalem. Zrno baueritizovaného biotitu a grafit, SEM.....	47
Obr. 24: Keramický fragment 05/2008-1158/93 po přepalu na 1200°C. Zrno titanitu, SEM.	47
Obr. 25: Keramický fragment 05/2008-1158/93 po přepalu na 1200°C. Zrno hematitu, SEM. ..	47
Obr. 26: Keramický fragment 05/2008-1158/93 po přepalu na 1200°C. Zrno tremolitu, SEM...	48
Obr. 27: Těsto keramického artefaktu 05/2008-1158/218 po přepalu na 1200°C, SEM.	48

1. Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá fragmenty keramických nádob datovaných archeology do 14. století. Jelikož první písemné zmínky o hradu Tepenci, ze kterého tato keramika pochází, jsou uváděny k roku 1340 a zánik hradu je datován rokem 1406, byla tato keramika pravděpodobně vyrobena a užívána ve velmi krátkém časovém rozmezí cca 66 let (Vránová, Vrána 2005). Velké množství keramiky z této lokality bylo získáno pomocí archeologických výzkumů, které zde probíhaly v letech 1968-1999 a 2003-2013. Od 19. století byl hrad ohrožen existencí kamenolomu na úpatí kopce Tepence. V Bělkovickém údolí je to jediný funkční lom na těžbu břidlice (Vránová, Vrána 2005).

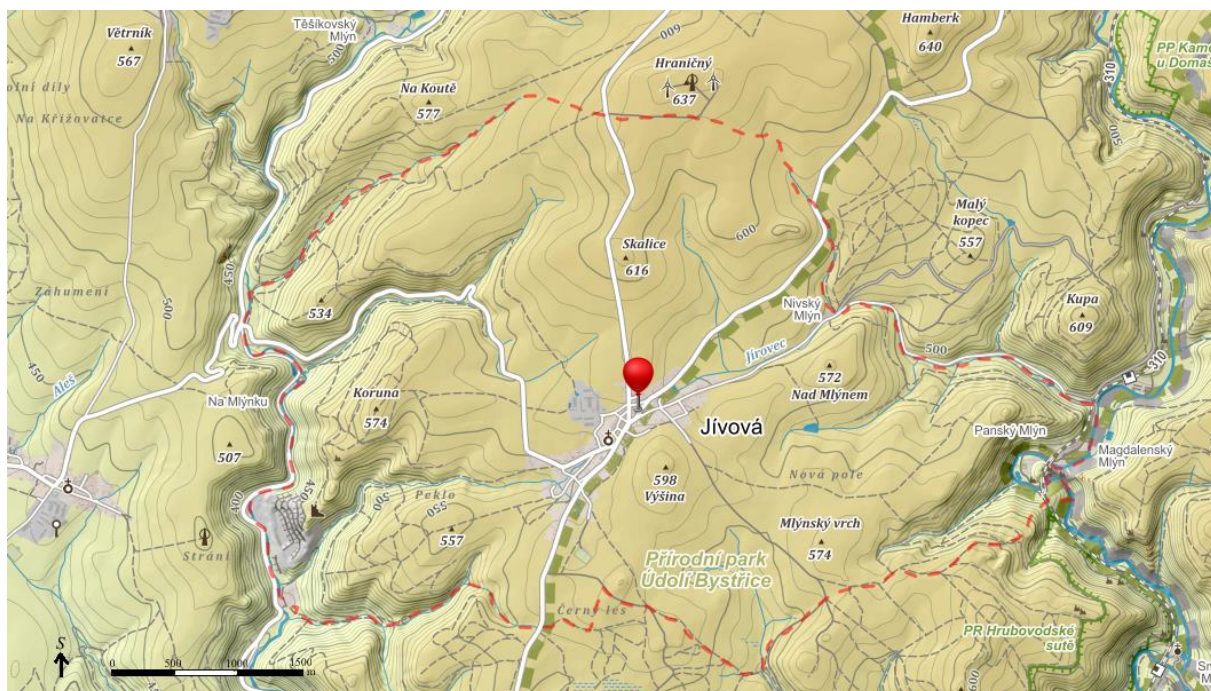
Cílem bakalářské práce je zjistit, zda keramické třídy vyčleněné archeology pro keramiku z Tepence jsou založeny na rozdílné technologii výroby, a to zejména z hlediska mineralogického složení a teploty výpalu. Výsledky analýz jsou porovnány s daty ze starší literatury o středověké keramice Moravy a Slezska. Ta jsou rovněž velmi stručně shrnuta v úvodní, rešeršní části práce. Konečně jsou zmíněny i metody určování teploty výpalu keramiky, z nichž některé byly použity v rámci laboratorní části bakalářské práce.

2. Popis lokality a geologické situace

Sledované území se nachází na území bývalého okresu Olomouc a patří do Olomouckého kraje. Lokalita spadá do jihozápadní části katastrálního území obce Jívová. Lokalita se nachází v Domašovské vrchovině, která je podcelkem Nízkého Jeseníku. Okolí lokality bylo formováno erozí, zejména vodními toky zařezávajícími se v pleistocénu hluboko do masivu Nízkého Jeseníku (Janoška 2001).

Z velké části je podloží Nízkého Jeseníku tvořeno kulmem, kde se rytmicky střídají písčité a jílovité vrstvy. Najdeme zde zejména jílové břidlice, droby, slepence či pískovce. Neflyšové horniny, které byly vyčleněny z podloží spodnokarbonských kulmských vrstev a zamíchány do vrásnicích se souvrství, vytváří cizorodá tělesa, která se odlišují od okolního kulmu (Janoška 2001). Výskyt těchto hornin je převážně v pásu mezi Šternberkem a Horním Benešovem, tento pás se nazývá šternbersko-hornobenešovský pruh a tvoří důležitou strukturu v geologické stavbě Nízkého Jeseníku. Vrstvy kulmských hornin jsou zde zvrásněny ve směru SSV-JJZ, od něhož se jen málo odchylují. V tomto směru leží také hranice mezi 5 kulmskými souvrstvími: andělskohorským, moravickým, hradecko-kyjovickým a hornobenešovským. V hornobenešovském souvrství jsou především droby, které se těží např. v Bělkovickém údolí (Janoška 2001, www.geology.cz).

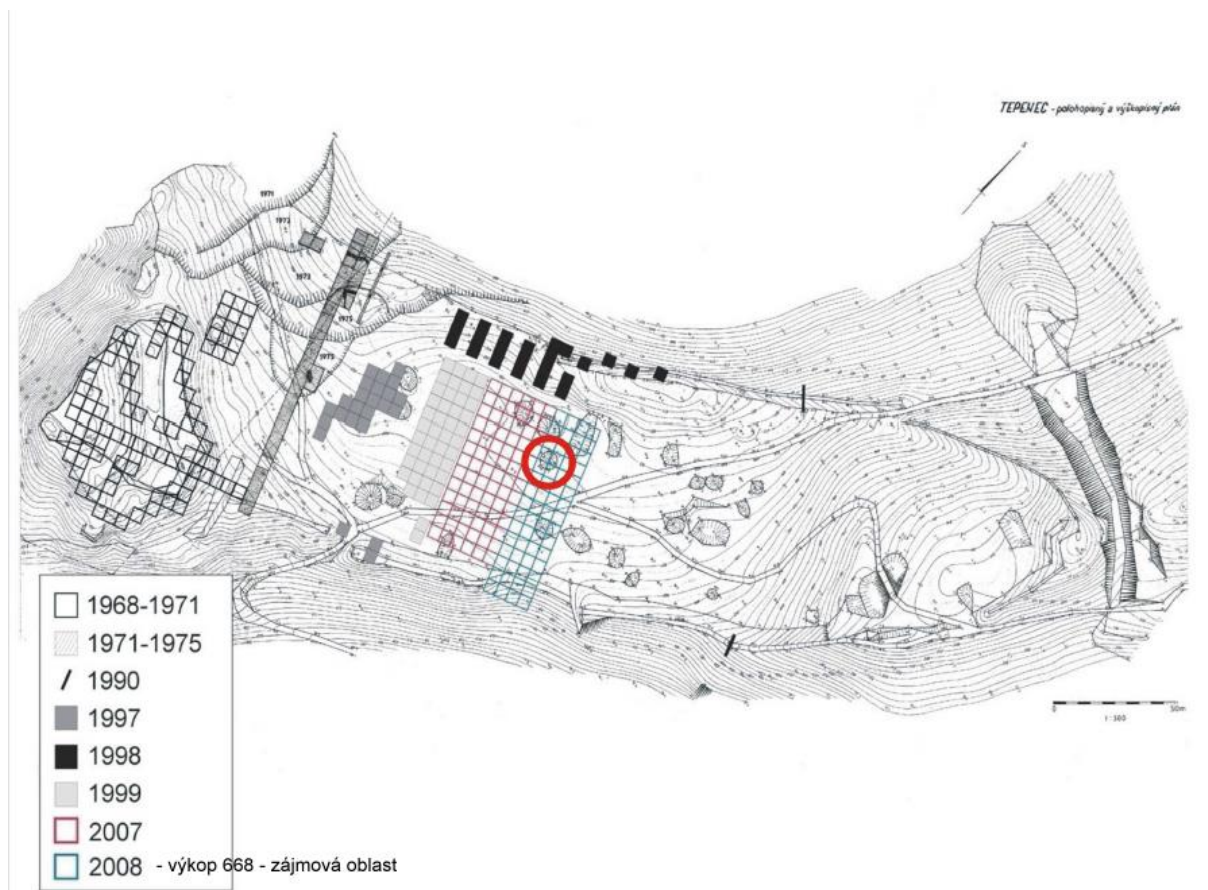
V Bělkovickém údolí pod zříceninou protéká Trusovický potok. Okolí hradu Tepence je tvořeno kulmskými sedimenty, převážně střídajících se vrstev drob a jílovitých břidlic. Tyto suroviny se zde těží pro účely stavebnictví, což vedlo ke zničení značné části hradní zříceniny.



Obr. 1: Zeměpisná mapa okolí hradu Tepence (www.mapy.cz).

Sředověký hrad Tepenec je jediným hradem na Moravě založeným Karlem IV. Tento hrad získal jméno po hoře Tepenci, na které byl vybudován za účelem ochrany a kontroly obchodní cesty z Moravy do Slezska. Jak už bylo zmíněno v úvodu, první písemné zmínky o hradu jsou z roku 1340, kdy biskup Jan Volek prodal horu Tepenec Karlu IV. Hrad Tepenec neměl příliš dlouhého trvání, byl dobyt a rozbořen vojsky markraběte Jošta již v devadesátých letech 14. století. V Olomouckých zemských deskách existuje důkaz o zničení hradu, kdy záznam z 9. ledna roku 1406 uvádí, že z hradu Tepence jsou ruiny (Plaček 2001).

Záchranné archeologické výzkumy probíhaly na lokalitě v letech 1968-1999 pod vedením Václava Buriana a poté Víta Dohnala, pracovníky Vlastivědného muzea v Olomouci. V roce 1968 byla celá lokalita zaměřena jak výškově tak i polohopisně. Nejprve byla položena sonda protínající jádro ve směru JZ-SV. Výzkumná plocha byla rozdělena na čtvercovou síť o velikosti jednotlivých čtverců 5x5 metrů. Průzkumy probíhaly na několika místech a to v jádře hradu, hradním opevněním, v hradbách a v zemním valu. Velikost prozkoumané plochy činí cca 5319 m² (Vránová, Vrána 2005).



Obr. 2: Plán lokality (Vránová, Vrána 2005).

3. Keramické materiály

Keramické materiály je možno rozdělit podle několika základních hledisek zejména obsahu pórů, použití výrobků, chemického a fázového složení nebo dle struktury na hrubou a jemnou keramiku. Hrubá keramika má silnostěnný a hrubozrnný stěp. Patří k ní cihlářské výrobky a kamenina. Mezi jemnou keramiku řadíme porcelán, obkládačky, zdravotnickou a technickou keramiku a také nádoby z hrnčířského kruhu. Jemná keramika se vyznačuje jemnozrnným a tenkým stěpem. Keramické materiály můžeme dále rozdělovat podle využití výrobků, obsahu pórů, chemického a fázového složení apod. (Gregerová 2010).

4. Keramické suroviny

Suroviny, ze kterých vzniká tzv. keramické těsto, můžeme dělit na hlavní neboli základní a pomocné keramické suroviny. Hlavní suroviny tvoří v těstu klíčový podíl, kdežto suroviny pomocné slouží ke zlepšení technologických vlastností (Gregerová 2010).

4.1. Hlavní keramické suroviny

Mezi hlavní keramické suroviny patří plastické suroviny neboli plastické zeminy a suroviny neplastické neboli ostřiva.

4.1.1. Plastické suroviny

Jedná se o suroviny, které mají po smíchání s určitým množstvím vody schopnost tvořit snadno tvarovatelnou hmotu, která si podrží svůj tvar. Mezi tyto suroviny řadíme hlíny, jíly nebo sedimenty říčních niv (Gregerová 2010). Plastické suroviny lze také označit jako pojiva, která mají schopnost spojovat nesoudržná zrna v kompaktní hmotu. Např. hlíny a jíly jsou pojiva mechanická, protože během procesů tuhnutí a tvrdnutí u nich nedochází k chemickým změnám.

4.1.2. Ostřiva

Tyto suroviny nevytvoří s vodou tvárné těsto. Ostřiva ovlivňují vlastnosti keramických výrobků během zpracování, sušení i výpalu. Neplastické suroviny ovlivňují tvarovací vlhkost směsi, zpracovatelnost a plastičnost. Během sušení ovlivňují smrštění sušením a pevnost, při výpalu ovlivňují smrštění, pórovitost, rychlost slinování a rychlost výpalu. Ve srovnání s plastickými surovinami jsou hrubozrné, neporézní a snižují plastičnost hmoty. Mezi neplastické suroviny lze zařadit úlomky hornin, uhlíkaté látky, úlomky starší keramiky či rozemleté mušle a kosti (Gregerová 2010).

4.2. Pomocné keramické suroviny

Mezi pomocné suroviny řadíme lehčiva, taviva, keramické barvy, glazurovací hmoty a plastifikátory. Keramické barvy musí odolávat teplotám výpalu keramiky. Používají se k probarvování, k povrchové výzdobě apod. Mezi základní taviva řadíme živce, fonolity, skelná taviva, nefelinické fonolity a nefelinické syenity (Gregerová 2010). Taviva se uplatňují během slinování, což je významný proces probíhající při výpalu keramiky. Slinování spojuje krystalické fáze a v konečném stadiu by měl vzniknout monokrystal (Hanykýř 2008). Slinování je samovolný proces, který se uplatňuje nad určitou teplotu, je to zahřání práškové pevné hmoty, tak aby nedošlo k jejímu úplnému roztavení. Vzniklá tavenina z části hmoty po ochlazení spojí neroztavená zrna. Kvalitu slinování keramiky ovlivňuje tvar, velikost zrn a jejich tendence tvořit agregáty. Hnací silou slinování je snižování povrchové energie soustavy.

5. Fáze výroby keramiky

V rámci výroby keramiky můžeme rozlišovat několik vzájemně navazujících fází, které jsou potřeba pro zhotovení finální verze výrobku.

5.1. Příprava keramické hmoty

Nejužívanějším způsobem přípravy keramické směsi je mletí v bubnovém mlýnu za použití vodní suspenze. Směs je dále prosívána mezi síty a tím je zbavována nežádoucích částic z mletí, které by znehodnocovaly konečný výrobek. Následuje proces tvarování, kterým keramika získává potřebnou podobu. Keramiku můžeme tvarovat různými způsoby např. ručním zpracováním, lisováním, litím do forem či vytlačováním.

Ve 14. století dovedli hrnčíři vytáčet výrobky z jednoho kusu hlíny na rychlobrátkovém nožním kruhu, což dokazuje např. keramika nalezená v Kroměříži (Hanykýř 2008). Nádoby vytáčené na nožním kruhu mají stejnoměrně silné a vyhlazené stěny.

5.2. Sušení

Sušení před výpalem je nutné pro odpaření dostatečného množství vody tak, aby keramické nádoby při výpalu nepopraskaly. V průběhu sušení je nutné udržet jednotnost vytvarovaného tělesa. Během sušení často dochází ke smrštění, tedy k procesu, kdy teplo snižuje obsah vody v materiálu (Gregerová 2010).

5.3. Výpal

Výpal je základním procesem v technologii výroby keramiky. Cílem správného výpalu je získání keramického materiálu při zachování tvaru. Výsledný výrobek je pevný, ale zároveň křehký, má nízkou tepelnou i elektrickou vodivost a odolává vysokým teplotám (Gregerová 2010).

Ve středověku Čech a Moravy byla dle Nekudy a Reichertové (1968) keramika vypalována při teplotách v rozmezí od 800-920°C, což bylo zjištěno zkouškou DTA (viz str. 22). Hrnčířské pece se hloubily do země pro udržování teploty. Pece se dělily na jedno či vícekomorové, používané buď pro tzv. oxidační či redukční výpal (Nekuda, Reichertová 1968).

Keramiku lze pálit dvěma způsoby: oxidačně a redukčně. Výpal oxidační probíhá zejména v pecích elektrických, keramika má barvu danou použitou hlínou a vypalovací teplotou. Pro tento druh výpalu je typická keramika s větší nasákovostí, proto bývá oxidačně pálená keramika často glazurována. Redukční výpal je charakteristický pro celý středověk, zvláště pak

pro jeho vrcholnou část. Keramika pálená redukčním výpalem je černá s nízkou nasákavostí. Při tomto výpalu dochází k vyhoření uhlíku i z porů střepu za nedostatku vzduchu (Hanykýř 2008).

5.4. Povrchové úpravy

Keramické výrobky jsou často povrchově upravovány. Povrch výrobků může být upraven mechanicky a to rytím, broušením, leštěním nebo např. pokovováním. Nejčastěji se však na keramiku nanáší vrstvy glazury nebo engoby. Glazury jsou tenké skelné vrstvy na povrchu výrobku, engoby pak vrstvy jemně mletých keramických směsí, kdy cílem je zakrýt původní barvu a zjemnit nerovnosti povrchu (Gregerová 2010).

Dekorace středověkých nádob na Moravě a ve Slezsku můžeme rozdělit podle technického provedení do pěti kategorií:

- a) výzdoba provedená dřevěnou tyčinkou či hřebem - nejčastěji vlnovky či rýhy, které jsou vodorovné, mohou být různě široké i hluboké,
- b) výzdoba provedená ozubenými kolečky - vytvářejí vodorovné řady,
- c) dekorace plastická - k tomuto druhu dekorací patří otisky prstů, ornamenty, plastické lišty,
- d) výzdoba malovaná červenohnědou hlinkou,
- e) zdůrazňování povrchu olovnatými polevami - mělo jak dekorativní tak i technologický účel, s cílem snižovat propustnost nádoby (Nekuda, Reichertová 1968).

6. Petroarcheologie středověké keramiky s důrazem na období vrcholného středověku na Moravě

Moravská středověká keramika pochází z různých sídlištních jednotek, více nálezů je též datovaných mincemi. Keramické těsto většinou obsahovalo drobná zrna písku, slídy či grafitu jako ostřiva. Grafitová keramika je nacházena spíše na Moravě než v Čechách. Nejčastějším tvarem keramických nádob je hrnec, který má tvar mísovitý či vejčitý (Nekuda, Reichertová 1968).

Středohradištní keramika pochází z 9-10. století. Od 9. století se poměrně jednotná keramika začíná stanovovat do jednotlivých regionálních okruhů, vykazujících určité odlišnosti především ve výzdobě a tvarech hrncovitých nádob (Lutovský 2001). Středohradištní keramika je zde uvedena pro srovnání vrcholné keramiky s mladšími vzorky.

Ve 13. a 14. století se častěji objevují mísovité poklice, hrnky s jednoduchým uchem a sporadicky grafitové hrnky. Na Moravě jsou nádoby zastoupeny především hrnci, poháry,

mísami, hrnky s uchem, pánvemi, apod. Např. mezi nálezy ze středověké osady Mstěnice ze 13. století se řadí hrnce, mísy či hrnky s uchem, které jsou vyráběny z šedočerné hlíny se slídou a jemným pískem. Nádoby z této osady byly vypalovány při teplotách 850-860C°, jak bylo opět zjištěno metodou DTA (Nekuda, Reichertová 1968).

Ve 14. století se začínají vyrábět kachle, které lze rozdělit na nádobkové a komorové. Na Moravě měly nádobkové kachle tvar baňkovitý a tyglíkovitý a byly objeveny např. v Olomouci, Brně, či v Dolanech. Kachle komorové byly nalezeny mj. v Kroměříži. Ve 14. století se vyskytují keramické nádoby na nožkách a např. pánve mají držadlo prodlouženo dřevěným nástavcem. Velmi specifickou kategorií středověké výroby na Moravě je tzv. loštická keramika, vyráběná od konce 14. století (Nekuda, Reichertová 1968).

6.1. Písčítá keramika z Mikulčic

Mikulčice leží na území Jihomoravského kraje, v bývalém okrese Hodonín. Mikulčická keramika z 9-11. století je dobře petrologicky prozkoumána a v jistém smyslu představuje základ organizované středověké výroby keramiky na Moravě. Níže jsou uvedeny keramické třídy vyčleněné v Mikulčicích M. Gregerovou (2010).

6.1.1. Technologická skupina A - pelity s příměsí písků

Nejčastěji se jedná o okraje nádob s částí výduti zdobené vlnicemi. Jako hlavní surovinu lze určit pelity až aleuropelity s příměsí písků. V ostřivu je možné z minerálů rozpoznat zejména křemeny, muskovity a draselné živce, které dominují nad plagioklasy, z fragmentů hornin pak nacházíme křemence, aplity, pískovce a silicity.

6.1.2. Technologická skupina B - slabě vápnité pelity

Studované artefakty jsou okraje nádob s částí výdutě zdobené vlnicí. V této skupině výchozí surovina odpovídá pelitům s karbonátovým mikritem. Z úlomků minerálů lze doložit křemen, živce převažující nad plagioklasy, staurolit, granát, turmalín, zelený amfibol a pyroxen. Mezi úlomky hornin se objevují zejména křemence, pískovce, aplity, silicity a reliktů vápenců.

6.1.3. Technologická skupina C - vápnité aleuropelity

Studované artefakty skupiny C jsou okraje nádob s částí výdutě zdobené vlnicí, řadami vlnic nebo kombinací vlnic a obvodových rýh. Výchozí surovinou pro skupinu C byl vápnitý aleuropelit. Pomocí mikroskopického pozorování zde rozbory prokázaly výskyt těchto minerálů: křemeny, pyroxeny, alkalické živce, které převažují nad plagioklasy, granáty, biotity i

muskovity, zirkony a amfiboly. V horninové asociaci se vyskytují opět křemence, dále vápence, břidlice s grafitem a kalcitem, chloritové břidlice, úlomky hydrotermálních žil, aplity a mylonity. Na stěnách pórů byly pozorovány nerozložené relikty vápenců a sekundární kalcit. Ve výbrusech se vyskytovaly póry černě lemované uhlíkem, což dokládá přítomnost biomasy při výpalu. Tvar pórů značí, že vznikly vyhořením dřevěných pilin či slámy.

6.2. Brněnská keramika

Z hlediska vývoje středověké keramiky na Moravě je důležitý výzkum brněnské keramiky, datované do 12. a 13. století. Keramické těsto je zde ovlivněno geologickým podložím města, tvořeným např. granodiority, metabazalty, železitémi pískovci nebo křemennými slepenci. V souvislosti s tím je keramické ostřívo místní keramiky tvořené minerálními i horninovými klasty. Mezi úlomky minerálů převažují muskovity, biotity a křemeny, turmalíny, draselné živce a plagioklasy, z úlomků hornin se nejčastěji objevují pískovce a granodiority

V pozdním 13. století zde dominuje zakuřovaná keramika, která má tmavě šedé až černé odstíny barev. Technologií výroby bylo dosaženo vyšší tvrdosti při tenčích stěnách nádob (Procházka 2000).

6.3. Loštická keramika

Z nálezů keramiky v Lošticích vyplývá, že zde ve středověku bylo množství dílen vyrábějících tzv. loštickou keramiku. Můžeme ji rozdělit dle funkce na hrnce, poklice, poháry a trojnožky. Nízká pórovitost a novotvořené minerální fáze střepů naznačují, že v hrnčířských pecích mohlo být dosaženo teplot až kolem 1250°C, jak bylo zjištěno pomocí geochemického výzkumu loštických pohárů. Byl proveden experiment, při němž byly vyrobeny repliky pohárů z jílovitých zaválků nalezených v průběhu archeologických výzkumů (Gregerová, Hložek 2008).

Hojnost pozůstatků pecí a hrnčířského odpadu naznačuje, že zde šlo o masovou výrobu, ve které lze opět rozlišit několik skupin (Goš 2007). Do první keramické skupiny (010) patří nádoby pokryté puchýřky. Mikroskopickým pozorováním zde byly zjištěny sklovité fáze se spinelidy a fluidální mikrostrukturou. Druhá keramická skupina (020) je označována jako kameninového charakteru. V této skupině je mikrostruktura fluidální a póry jsou protáhlé. Třetí skupina (030) se nazývá keramika celistvá. Tyto nádoby byly vypalovány z jemné kaolinové zeminy a mají, rovněž fluidální mikrostrukturou. Čtvrtá skupina (040) obsahuje keramiku z běžné hrnčířské hlíny, která má odstíny barev od světle hnědé až po tmavě hnědou. Tato keramika má ostřívo zastoupeno hrubě zrnitým pískem. K páté skupině (050) řadíme hrubě grafitovou

keramiku. Ostřivo je tvořeno grafit-muskovitovou a grafit-chloritickou břidlicí, někdy i samostatnými úlomky grafitu (Goš 2007).

6.4. Grafitová keramika

Typickým představitelem keramiky 10-14. století na Moravě, v jižních Čechách, v Rakousku a ve Slezsku je tzv. grafitová keramika. Morava stojí v centru výskytu grafitové keramiky nejenom díky své geografické poloze, ale zejména rozsahem výroby. Pouze část grafitové keramiky byla ve 13. a 14. století na Moravu dovážena z Rakouska. Grafitovou keramiku nelze makroskopicky třídit (Gregerová 2010). Zdrojem uhlíku mohou být grafitové horniny nebo zuhelněná biomasa. Zuhelněná biomasa mohla být přidávána do keramického těsta úmyslně např. jako dřevěné uhlí. Tuhová keramika se vyskytuje nejčastěji ve spojení s fylity, svory nebo metakvarcity bohatými na grafit (Gregerová 2010). Grafit byl do keramiky přidáván záměrně, aby zvyšoval nepropustnost a ohnivzdornost, někteří autoři tvrdí, že byl přidáván z estetického hlediska. Dle názoru Goše (1977) byl grafit do keramiky přidáván záměrně a to kvůli větší odolnosti při užívání na otevřeném ohni a měl zamezovat popraskání při výpalu.

6.5. Keramika z okolí Přerova a Kojetína

Středohradištní keramika (cca 800-950 n. l.; Pokorná 2007) z Přerova patří do skupiny písčité keramiky. Bylo zjištěno, že kromě náplavových písčitých sedimentů, zřejmě z řeky Moravy, byly při tvorbě těsta používány spraše či sprašové hlíny (Pokorná 2007).

Vzorkům z Přerova jsou značně podobné stejně datované nálezy keramiky z Kojetína. Pouze mikrostruktury analyzovaných vzorků byly odlišné, v Kojetíně se jednalo o mikrostrukturu všesměrně zrnitou nebo paralelní, v Přerově o mikrostrukturu fluidální. Vypalovací teploty byly okolo 700°C. Pouze jeden střep z Kojetína měl vyšší vypalovací teplotu, a to okolo 900°C (Pokorná 2007).

7. Hlavní metody určování teploty výpalu keramiky

Z petroarcheologického hlediska je velice důležitá technologie výpalu keramiky. Teplota výpalu byla nejprve odhadována pomocí minerálního složení keramických střepů, později pak pomocí instrumentálních a jiných metod. Níže jsou uvedeny hlavní instrumentální (7.1.-7.6.) a jiné (7.7.) metody používané při odhadu teploty výpalu.

7.1. Paleointenzita magnetického pole

Železité oxidy v keramické hmotě obsahují tzv. termoremanentní magnetismus z doby, kdy došlo k výpalu (Velraj et al. 2010). Při jeho měření dochází k souběžnému zahřívání po stejných intervalech (např. po 25°C) a měření intenzity magnetického pole. Kromě numerického datování keramických fragmentů lze touto metodou, podobně jako při Mössbauerově spektroskopii (viz níže), získat údaje o zastoupení ferri - a feromagnetických zrn v keramické hmotě a nepřímo tak určit teplotu výpalu (Velraj 2010).

7.2. Mössbauerova spektroskopie

Mössbauerova spektroskopie je nedestruktivní analytická metoda založena na Mössbauerově jevu rezonanční jaderné absorpce gamma záření. Tuto metodu lze primárně použít pro materiály obsahující železo, přičemž je vhodná zejména pro stanovení izotopů ^{57}Fe , ^{57}Co , ^{119}Sn , ^{121}Sb , ^{129}In (Gregerová 2010). Z hlediska odhadu teploty výpalu je vhodné sledovat obsah dvojmocného a trojmocného železa, obsažených v magnetitu a hematitu. Zastoupení obou minerálních fází lze teoreticky odhadnout na základě barvy střepu, kdy hematit způsobuje červené a magnetit černé zbarvení (Musthafa et al. 2010). Ve studii Ricciardi et al. 2008 bylo jako „mineralogického termometru“ použito zastoupení Fe-spinelidů, hercynitu (oba svědčící pro teploty > 900 °C při redukčním výpalu) a metalického železa. Oxidy Fe jsou ale často obsaženy v amorfni matrix, proto autoři zároveň sledovali poměr Fe (II) vůči celkovému obsahu Fe (tzv. redukční index), vypovídající též o oxidačním nebo redukčním výpalu. Zvýšené množství trojmocného železa bývá ztotožňováno s oxidačním výpalem a výskytem hematitu, dvojmocné železo zřejmě vzniká při redukčním výpalu nebo výpalu s kolísavým přístupem kyslíku a je spojené s výskytem spinelidů a maghemitu (Musthafa et al. 2010). Lze tedy předpokládat, že rozlišením mocenství železa ve vzorku lze dospět k odhadu teploty, související s teplotou vzniku hematitu (570°C) a maghemitu (500°C) (Cornell, Schwertmann 2003).

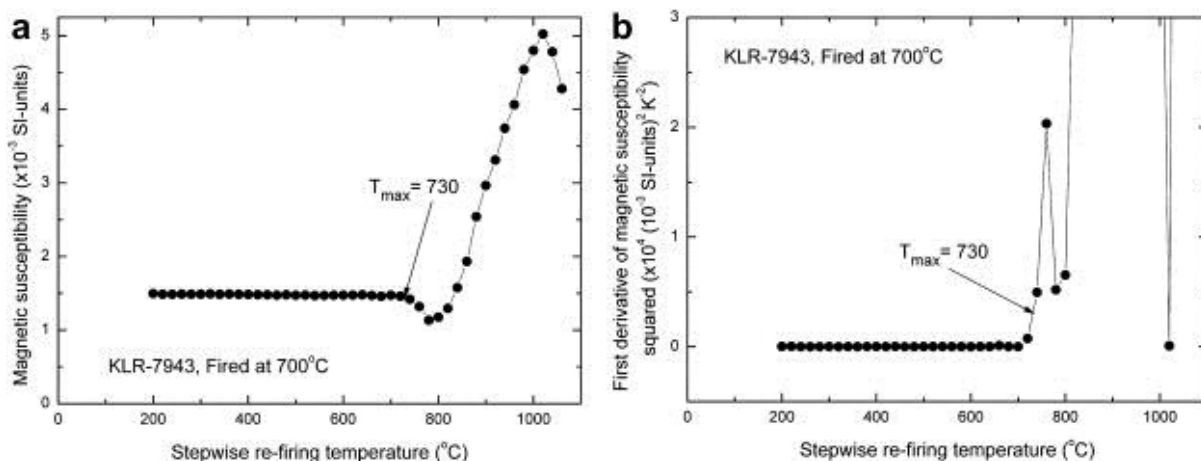
7.3. Magnetická susceptibilita (MS, χ)

Magnetická susceptibilita je fyzikální bezrozměrná veličina., která popisuje chování materiálu ve vnějším magnetickém poli. Měříme ji pomocí kapamůstku (kapametru) a dělíme na objemovou (χ_{bulk}) a hmotnostní (χ_{mass}) (Rasmussen et al. 2012). Pomocí metody určujeme provenienci, stanovujeme teplotu výpalu nebo obsahy černých barvicích pigmentů v keramice. Magnetická susceptibilita zejména závisí na přítomnosti ferro- a ferrimagnetických minerálů (Gregerová 2010).

Hlavní surovinou keramických nádob bývá často jíł, který se skládá z jílových minerálů ve směsi s různými jinými minerály. Po vypálení minerály prodělávají charakteristickou reakci, jako např. dehydroxylaci, proměnu a rozklad. Během výpalu dochází, v závislosti na mineralogickém složení keramického těsta, jeho zrnitosti, maximální teplotě výpalu, době trvání vypalování a na redukčních podmínkách z vypalovací/sušící pece, i ke změně magnetických vlastností keramiky (Rasmussen et al. 2012). Důsledkem je pravděpodobně kombinace modifikace i destrukce některých původních minerálů a tvorba minerálů nových (Rasmussen et al. 2012).

Před vlastním měřením magnetické susceptibility se vzorek z keramického materiálu suší při určité teplotě např. 120°C po dobu 24 hodin, poté se nechá zchladit, zváží se a změří se jeho magnetická susceptibilita pomocí kapametru (Rasmussen et al. 2012). Poté dochází k opakovanému zahřívání materiálu při rovnoměrně se zvyšujících teplotách. Po každém novém zahřátí o určitý pravidelný interval (např. 20°C) se znovu změří magnetická susceptibilita. Předpokladem je, že při dosažení teploty převyšující původní teplotu výpalu dojde k významné změně na křivce reprezentující magnetickou susceptibilitu. Minerální fázi nejvíce odpovědnou za růst magnetické susceptibility v původní studii (Rasmussen et al. 2012) byl gehlenit (zjištěn pomocí XRD), ačkoliv nelze vyloučit určitou roli hematitu.

Metoda byla demonstrována na keramických vzorcích z velmi různorodých zdrojů keramických surovin a to z Dánska, Izraele a Argentiny. V SZ Argentině byla aplikována na sadu vzorků dvou archeologických období, s rozdílnými vypalovacími technologiemi. První sada keramiky z tzv. pozdního období pocházela z let 900-1450, druhá pak z let 1480-1532, z tzv. inckého období. Zjištěné maximální vypalovací teploty ukázaly na dvě hlavní skupiny keramiky, prolínající obě období. Jedna byla vypalována při 830°C, druhá při 950°C. Důvodem mohlo být v každém období používání různých pecí či stejné pece více rodinami s různou technologií výpalu, případně i kolísání teploty v peci při výpalu (Rasmussen et al. 2012).



Obr. 3: Graf vlevo znázorňuje změnu susceptibility při experimentálním znovu-přepalování; data v grafu vpravo jsou umocněna na druhou pro snazší identifikaci první odchylky od normálu. Na vodorovné ose je teplota výpalu, na svislé ose magnetická susceptibilita (Rasmussen et al. 2012).

7.4. Mikropetrografie

Mikropetrografie keramiky neboli keramická petrografie je analytická metoda založená na optické mineralogii a petrografii. Využívá vědomostí o optických a tvarových vlastnostech hornin a minerálů, které lze zjišťovat pomocí běžného optického mikroskopu. Pomocí mikroskopického pozorování můžeme vzorky rozdělit dle typu mikrostruktury, velikosti ostřiva, keramické hmoty a složení (Gregerová 2010).

U úlomků hornin a minerálů zkoumáme stupeň přeměny, změny optických vlastností, barevné změny, apod. Na základě zjištěných změn fyzikálních i optických vlastností jsme rámcově schopni stanovit teplotu výpalu, můžeme určit charakter vypalovacího prostředí nebo zjistit zda keramický střepek podléhal vícenásobnému žáru. V případě grafitové keramiky lze rozpoznat, jestli je grafit součástí ostřiva nebo pojiva (Gregerová 2010). Funkce rozemletého grafitu ve vrcholném středověku spočívala ve zvýšení ohnivzdornosti a nepropustnosti nádob. Pojivo bývá často pigmentováno grafitem nebo dochází k záměrnému zakuřování nádob mletým či rozdrceným grafitem, čemuž se říká grafitová substance. U některých vzorků je možné grafit v ostřivu rozpoznat makroskopicky a u keramiky s grafitovou substancí (pigmentací) se jedná se o homogenní substanci (Gregerová 2010). Mikropetrografickými analýzami můžeme stanovit pouze kvantitativní podíl grafitových hornin v ostřivu, nelze však stanovit kvantitativní podíl grafitu v pojivu keramického střepe.

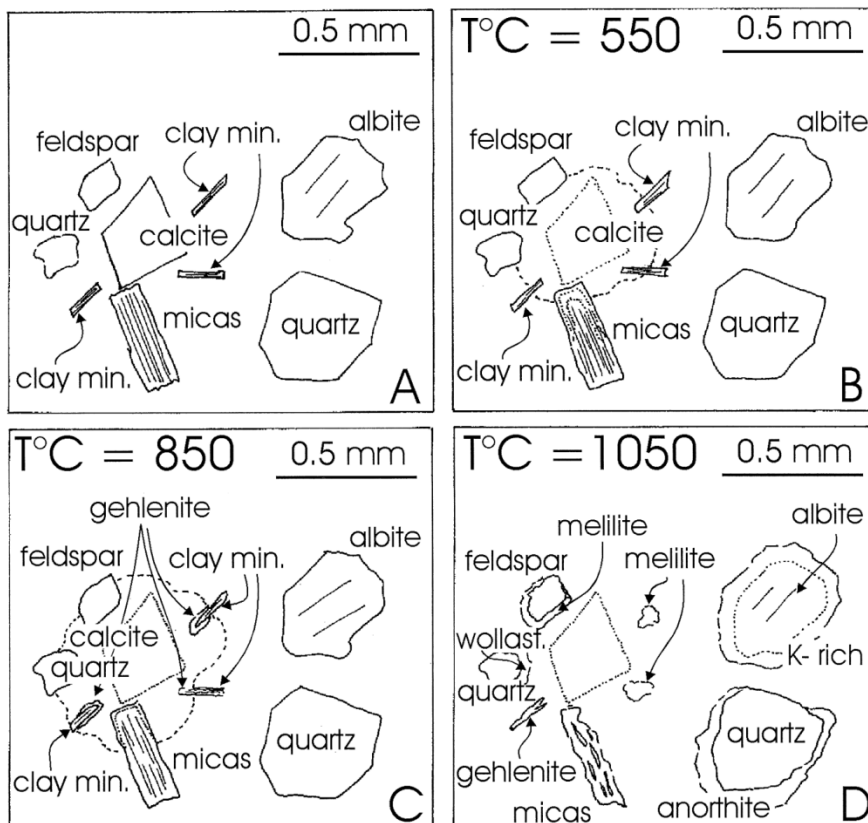
V keramických střepech se často setkáváme s úlomky hornin a minerálů, které lze využít při stanovení provenience, tj. oblastí těžby surovin. Tabulka 1. poskytuje informace o přeměnách minerálních fází s teplotou. Reprezentované úlomky minerálů můžeme rozdělit na světlé

minerály (křemen, foidy, apatit, muskovit, živce, kalcit) a tmavé minerály (granáty, biotit, amfibol, pyroxen, olivín, apod.). Plagioklasy podléhají častým přeměnám a ve výbrusech bývají zakalené (kaolinitizace, sericitizace). Biotit je jedním z nejrozšířenějších minerálů historické keramiky a je tepelně málo stabilní. S teplotou ztrácí alterací pleochroismus, klesá jeho dvojlom a postupně se rozpadá i jeho struktura. Na obrázku 4. jsou znázorněna různá strukturální uspořádání mezi minerálními zrny keramické hmoty před výpalem a po výpalu při různých teplotách.

Stupeň výpalu (°C)	Minerály
300	<ul style="list-style-type: none"> • chlorit - mění se barva v PPL ze zelené na červenou, tvar je patrný • pyrit - rozklad nad 350°C • od 300°C do 1040°C dochází ke spalování organických příměsí a uhlíku
400	<ul style="list-style-type: none"> • glaukonit - do 500°C je agregátní struktura rozpoznatelná, zelená barva se mění na hnědou • kaolinit - ztrácí vodu při teplotě 400-600°C
500	<ul style="list-style-type: none"> • biotit - projevují se oxidace dvojmocného Fe na trojmocné, dochází k baueritizaci a rubifikaci • od 573°C dochází k přeměně nižšího křemene na vyšší • grafit při oxidačním výpalu vymizí při teplotách nad 500°C, ale při výpalu redukčním je stabilní až do teplot 3000°C
700	<ul style="list-style-type: none"> • biotit -úplná ztráta pleochroismu • chlorit - ztráta původního tvaru lupenitých agregátů, struktura chloritů se rozpadá • glaukonit - lze pozorovat okrouhlé rezavě hnědé útvary • chrysotil - uvolňuje se voda • kaolinit - rozpad struktury • amfibol - barevné změny
800	<ul style="list-style-type: none"> • muskovit - pokles dvojlomu • chrysotil - postupně se mění na směs forsteritu, Mg_2SiO_4 a SiO_2 • nad 800°C dochází k tvorbě gehlenitu a pyroxenu

	diopsidového typu
900	<ul style="list-style-type: none"> • staurolit - do 950°C nebyly pozorovány změny v optických vlastnostech • zirkon - do 950°C nebyly pozorovány změny v optických vlastnostech • vznik spinelidů a hercynitu při redukčním výpalu • růst gehlenitu kolem jílových minerálů při 850°C • nad 900°C se vytváří skelné fáze
1000	<ul style="list-style-type: none"> • andezín - patrné proniky sklovité fáze • křemen - podél trhlin patrné proniky sklovité fáze, reakční lemy anortitu • albit - pokud je výpal vyšší než 1050°C pozorujeme náznaky zonální stavby (reakční lemy K-živce) a štěpné trhliny jsou zvýrazněny hnědě oranžovým zbarvením • mikroklin - přechází do sanidinu • kaolinit - přeměna na spinel
1100	<ul style="list-style-type: none"> • enstatit - při teplotě nad 1130°C probíhá přeměna na klinoenstatit
1200	<ul style="list-style-type: none"> • enstatit - při teplotě 1250°C se přeměňuje na protoenstatit • nad 1200°C vzniká mullit

Tab. 1: Přeměny minerálních fází s teplotou (Gregerová 2010; Richardi et al. 2008; Musthafa et al. 2010; Všianský 2009; Hanykýř 2002; Gregor, Čambal 2007).



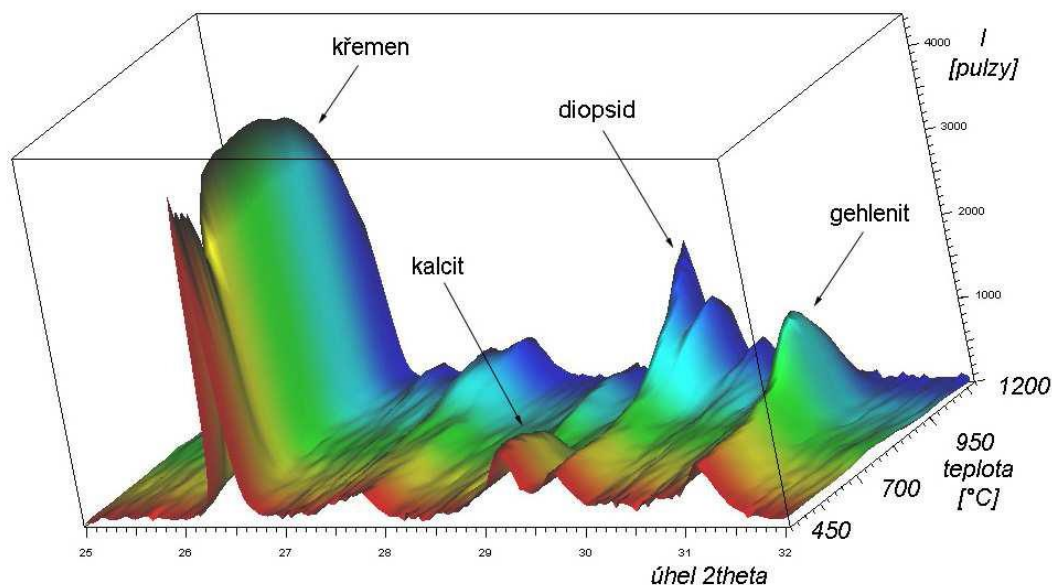
Obr. 4: Nákres znázorňující různá strukturní uspořádání mezi minerálními zrny keramické hmoty před výpalem (A), a po výpalu při různých teplotách (B, C, D). Výchozím materiálem byl jíł bohatý na vápník. Obr. A: zrna použitá při vypalovacích pokusech, přídaná do jílové hmoty; obr. B: při teplotě 550°C je kalcit částečně zapojen do reakcí mezi zrny a těstem; obr. C: při teplotě 850°C nastává další rozšíření reakční oblasti kolem kalcitových zrn a klesá kompoziční zónování slídy, gehlenit roste kolem jílových minerálů; obrázek D: při teplotě 1050°C je zřejmý výskyt reakčních lemů rozložených kolem zrn: gehlenit postupuje podél vnějších okrajů fylosilikátových a živcových zrn, zatímco wollastonit se vyskytuje kolem křemene jen při dostatku vápníku. V opačném případě se kolem křemene tvoří anortit, zatímco albitové zrno je ohraničeno draselným živcem (Riccardiat al. 2008).

7.5. Rentgenová difrakční analýza XRD

XRD je velmi perspektivní metodou pro studium historické keramiky, protože dokáže rozlišit minerály stejného chemického složení, ale strukturně odlišné, např. při analýzách keramiky, kde je těsto z jílových minerálů. Na rozdíl od optické mikroskopie poskytuje souhrnné parametry, hodí se tedy ke kvantitativním charakteristikám. Pomocí této metody lze stanovit kvalitativní a kvantitativní složení např. různých technických hmot (keramika, betony, apod.) a lze též určit kvantitativní zastoupení amorfni složky ve vzorcích např. sklovité fáze (Dolníček 2005). Podle Másilka je rtg difrakční metoda založena na interakci rentgenového záření

s elektrony atomů spočívající v pružném rozptylu. Díky pravidelnému periodickému uspořádání atomů v krystalické fázi dochází k rozptylu, následné interferenci rentgenového záření a ke vzniku difrakčních maxim (Dolníček 2013).

Rtg difrakční analýza se většinou provádí na rozpráskovaném materiálu., kdy velikost částic práškového vzorku je pod 12 μm (Gregerová 2010).



Obr. 5: 3-D XRD záznam simulace přepalu keramického vzorku. Vyznačeny jsou difrakční linie vybraných fází a vznik novotvořených minerálů. Měření se provádí v teplotních, vlhkostních i tlakových komorách, které umožňují proměnlivé podmínky (Gregerová 2010).

7.6. Diferenční termická analýza DTA

Diferenční termická analýza je dynamická tepelně analytická metoda, která studuje teplotní změny vzorku při postupném zvyšování teploty. Základním principem DTA je sledování teplotních efektů ve zkoumaném vzorku. Teplotní efekty jsou spojené s jeho fyzikálními nebo chemickými změnami při plynulém lineárním ohřevu či ochlazení (Polanský 2008).

V průběhu zahřívání probíhají ve vzorku exotermní (oxidace, krystalizace) a endotermní (tání, rozpouštění, dehydratace, apod.) reakce. Reakce exotermní jsou doprovázeny výdejem tepla, vzorek se tedy oproti inertní látce zahřívá. Při reakci endotermní se teplo naopak spotřebovává a dochází k ochlazení vzorku oproti inertní látce. Z průběhu křivky DT lze usuzovat na jednotlivé procesy probíhající ve vzorku, křivky DT lze použít k identifikaci minerálů (Gregerová 2010). Rozsáhlou studii na dané téma předložila Kristová (1994), studující petrologii grafitové keramiky z Moravy a Slezska. Výsledky teploty výpalu grafitové keramiky z Moravy a Slezska (např. Znojmo, Hradec n. Moravicí, Chotěbuz, atd.) dosahovaly maximálně 700°C (Gregerová, Kristová 1995).

7.7. Porozimetrie

Porozimetrie je metoda, která poskytuje informace o porozitě a povrchu pevných látek. Tuto techniku lze uplatnit na široké spektrum látek, zahrnujících lepidla, keramiku, jíly, hnojiva, katalyzátory, léčiva a barviva (Musthafa et al. 2010). Ve studii Musthafa et al. 2010 byla porozita studovaných keramických fragmentů stanovena jako nasákavost (v %) máčením ve vodě. Výsledky byly ovšem spíše rámcové a doplňující ostatní typy analýz (SEM/EDS, titrační chemická analýza). Obecným trendem by ovšem měla být menší porozita se stoupající teplotou výpalu (Musthafa et al. 2010).

8. Metodika

Výběr metod pro analýzu byl podmíněn specifikou tématu. K zjišťování maximální teploty výpalu bylo použito měření magnetické susceptibility dle Rasmussena et al. (2012), dále optická mikroskopie a energiově disperzní analýza (EDX). Leštěné výbrusy byly zhotoveny v brusírně katedry geologie Univerzity Palackého. Nejprve byly keramické fragmenty rozřezány diamantovou pilou na 2 části. Bylo vyhotoveno 7 leštěných výbrusů, které byly pozorovány pomocí optického polarizačního mikroskopu a 4 leštěné preparáty byly podrobeny EDX analýzám.

Skenovací elektronová mikroskopie (SEM) v kombinaci s energiově disperzním mikroanalýzátorem EDX byly použity za účelem provedení elementární analýzy i velmi malých vzorků. Zkoumané vzorky musí být upraveny do podoby rovinného, naleštěného výbrusu. Pomocí této metody lze určit kvalitativní a kvantitativní složení vzorku (Dolníček 2005). Před jednotlivými EDX analýzami došlo k napaření nábrusů uhlíkem. Veškeré prvkové analýzy provedl Mgr. Jaroslav Kapusta za stanovených podmínek: urychlovací napětí 10 kV, proud svazků 10 nA. Výsledná data byla zpracována v programu Excel 2010.

Hmotnostní magnetická susceptibilita (χ) byla měřena pomocí laboratorního kapamůstku KLY-4 (AGICO s.r.o., ČR). Před samotným měřením magnetické susceptibility se analyzované vzorky sušily při teplotě 150°C. Vzorky se začaly přepalovat při teplotě 600°C po dobu 4 hodin, dále se teplota sušení vždy zvyšovala o 30°C a doba sušení se naopak snižovala (viz tabulka 4.).

Po každém zahřívání se vzorky nechaly vychladnout při pokojové teplotě, byly zváženy s přesností 0,01g a byla u nich změřena magnetická susceptibilita. Každý vzorek se měřil po každém sušení 5 krát a z výsledků měření magnetické susceptibility každého vzorku se vypočítal průměr. Pro přepočet maximální teploty výpalu byl použit vzorec $(S_i - S_{i-1})/\delta T$, kde S_i a S_{i-1} jsou 2 po sobě jdoucí měření susceptibility a δT je teplotní rozdíl (v této práci je 30°C; cf. Rasmussen

et al. 2012) mezi dvěma po sobě jdoucími přepaly. Výsledky vzorce byly umocněny na druhou pro snazší identifikaci první odchylky od normálu (ibid). Výsledky měření byly vyhodnoceny a graficky znázorněny pomocí programu MS Excel 2010. Odhadované maximální teploty výpalu jsou vyznačeny v grafech šipkami, kdy jde o střední hodnotu mezi přepalem beze změny a přepalem s výrazným výkyvem magnetické susceptibility.

	Doba zahřívání (hod)	Teplota (°C)
1	4	600
2	4	630
3	4	660
4	4	690
5	4	720
6	2	750
7	2	780
8	2	810
9	2	840
10	1	870
11	1	900
12	1	930
13	1	960
14	½	990
15	½	1020
16	½	1050
17	½	1080
18	½	1110
19	½	1140
20	½	1170
21	½	1200

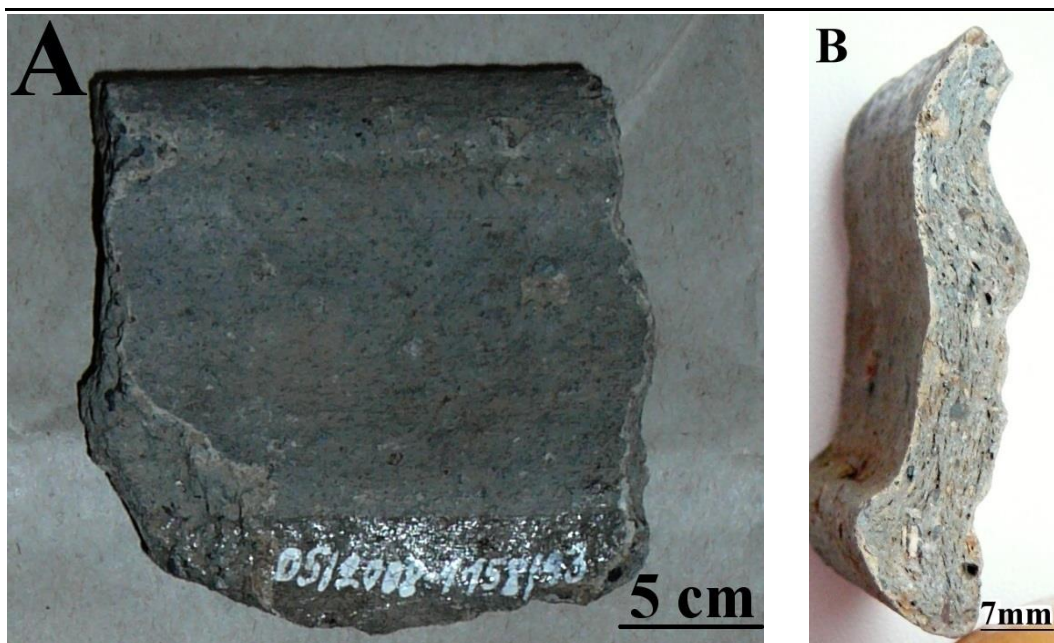
Tab. 2: Přehledná tabulka znázorňující zvyšující se teplotu v intervalu 30°C a snižující se dobu sušení.

Jak uvádím výše, magnetické vlastnosti keramických nádob se mění po výpalu v důsledku kombinace modifikace či zničení některých původních minerálních fází a vzniku a růstu nových minerálních fází. Magnetická susceptibilita vyjadřuje chování minerálů ve vnějším magnetickém poli. Rozeznáváme látky: diamagnetické (inertní plyny, zlato, měď, halit, voda), paramagnetické (sodík, draslík, chlorit železitý) a feromagnetické (magnetit, ilmenit, pyrotin).

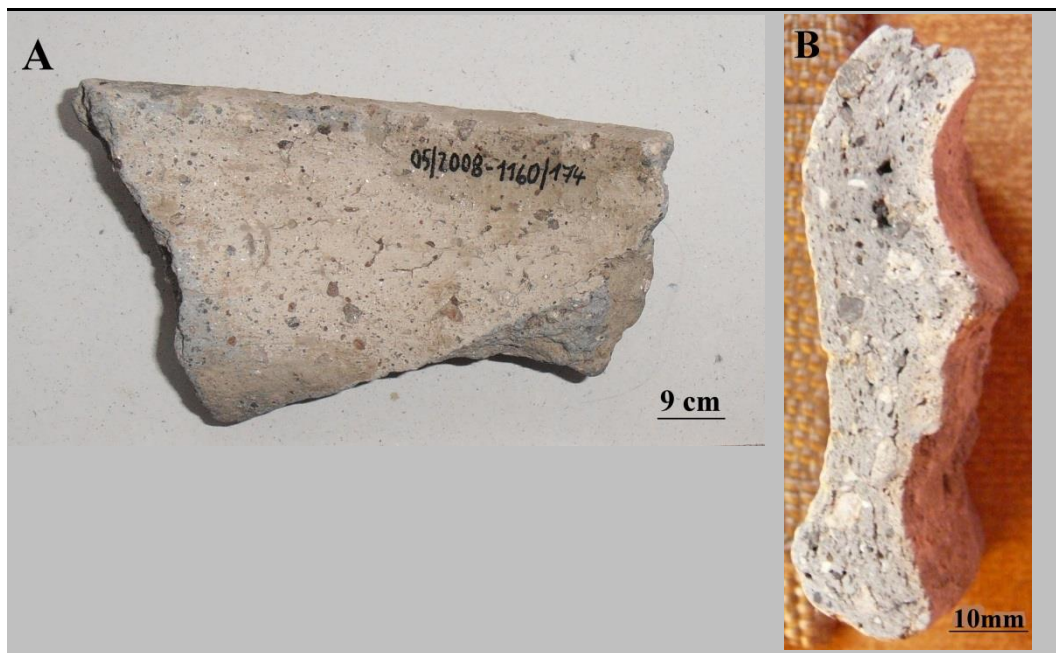
9. Výsledky

9.1. Analyzované vzorky

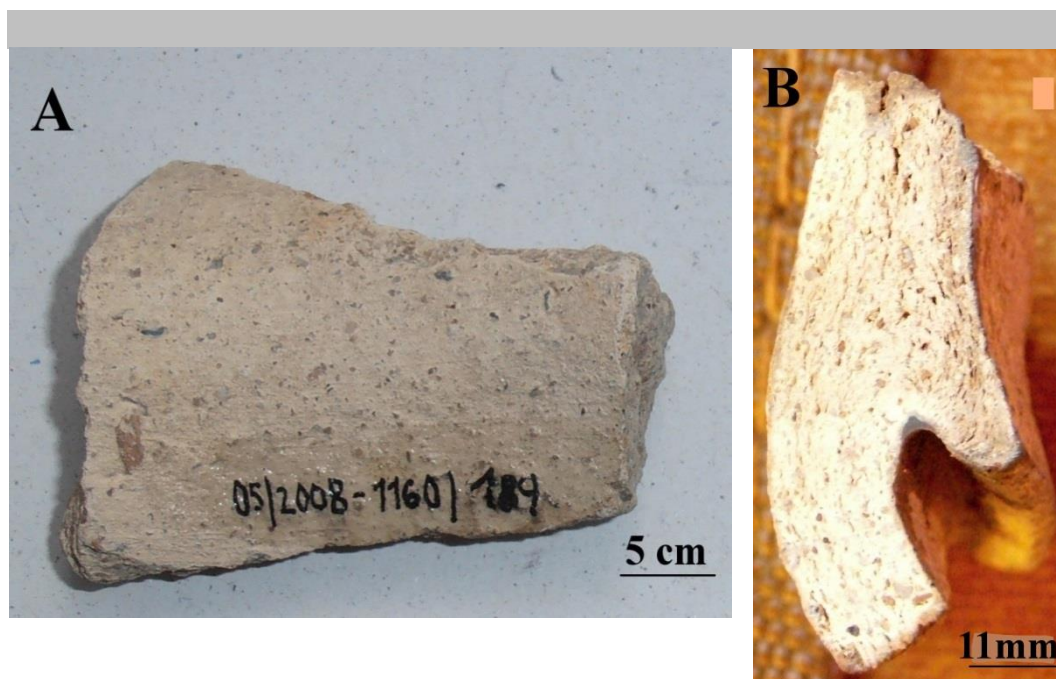
Pro analýzy bylo použito 5 vybraných vzorků, které byly získány pomocí archeologických výzkumů v roce 2008 na lokalitě Jívová-Tepenec ve výkopu č. 668 datovaného keramikou do 14. století. Vzorky byly makroskopicky popsány a poté z nich byly vyhotoveny leštěné výbrusy, dále pozorované optickým polarizačním mikroskopem. Makroskopické popisy jsou zaměřeny na tloušťku střepu, charakter povrchu střepu, jeho zdobení, zrnitost, barvu vnějšího a vnitřního povrchu před a po přepalu, matrix a ostřívo.



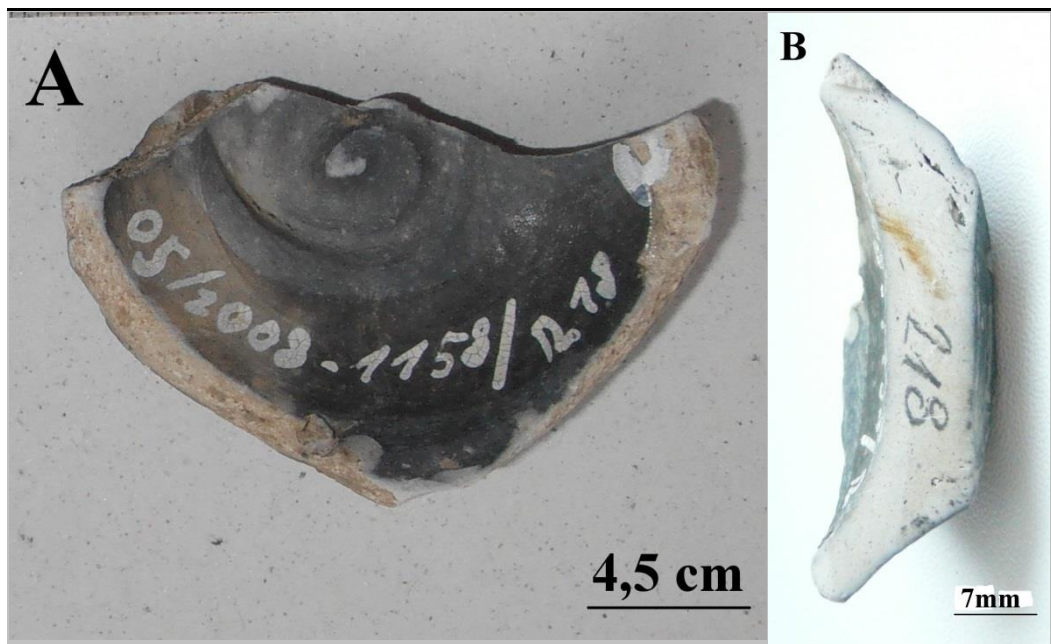
Vzorek I. - obr. A keramický fragment 05/2008-1158/93, obr. B řez střepem.



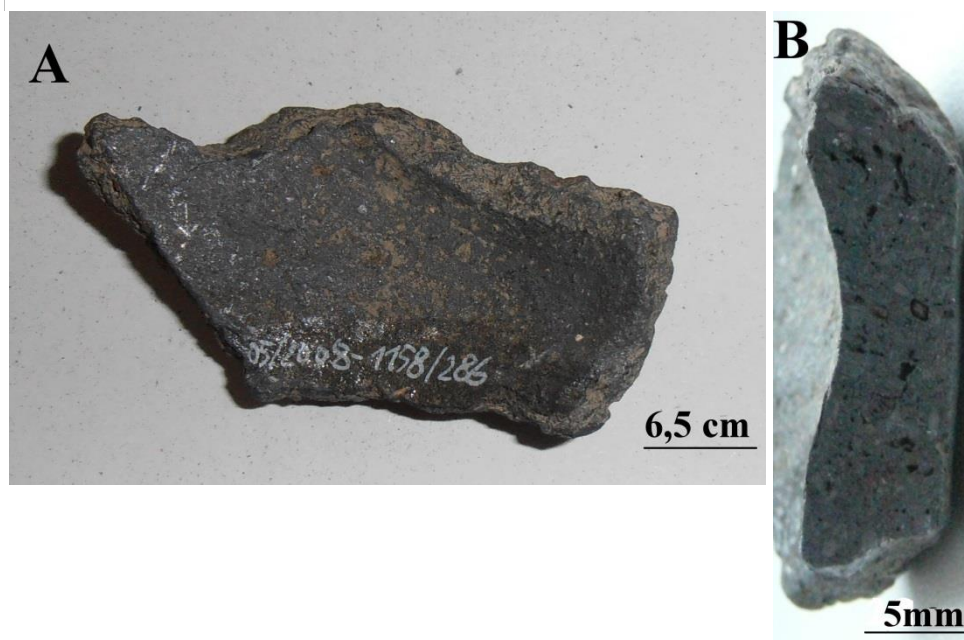
Vzorek II. - obr. A keramický fragment 05/2008-1160/174, obr. B řez střepem.



Vzorek III. - obr. A keramický fragment 05/2008-1160/189, obr. B řez střepem.



Vzorek IV. - obr. A keramický fragment 05/2008-1158/218, obr. B řez střepem.



Vzorek V. - obr. A keramický fragment 05/2008-1158/286, obr. B řez střepem.

Tab. 3: Fotografie analyzovaných střepů.

Vzorky byly popsány makroskopicky, 3 z 5 střepů obsahovaly grafit a to ve formě ostřiva o velikosti 0,5-3mm, grafit byl obsažen i přímo v pojivu jednoho ze vzorků. U vzorků 93 a 174 lze grafit zařadit jako ostřivo a jde rozpoznat makroskopicky, jen u vzorku 286 se jedná o grafitovou substanci (grafit je v pojivu), grafit mohl být ve středověku rozdrčen kvůli

záměrnému zakuřování keramiky nebo pigmentaci pojiva. Zrnitost byla posuzována na základě velikosti úlomků minerálů a hornin ostřiva v keramickém fragmentu. Ostřiva můžeme dle zrnitosti rozdělit na:

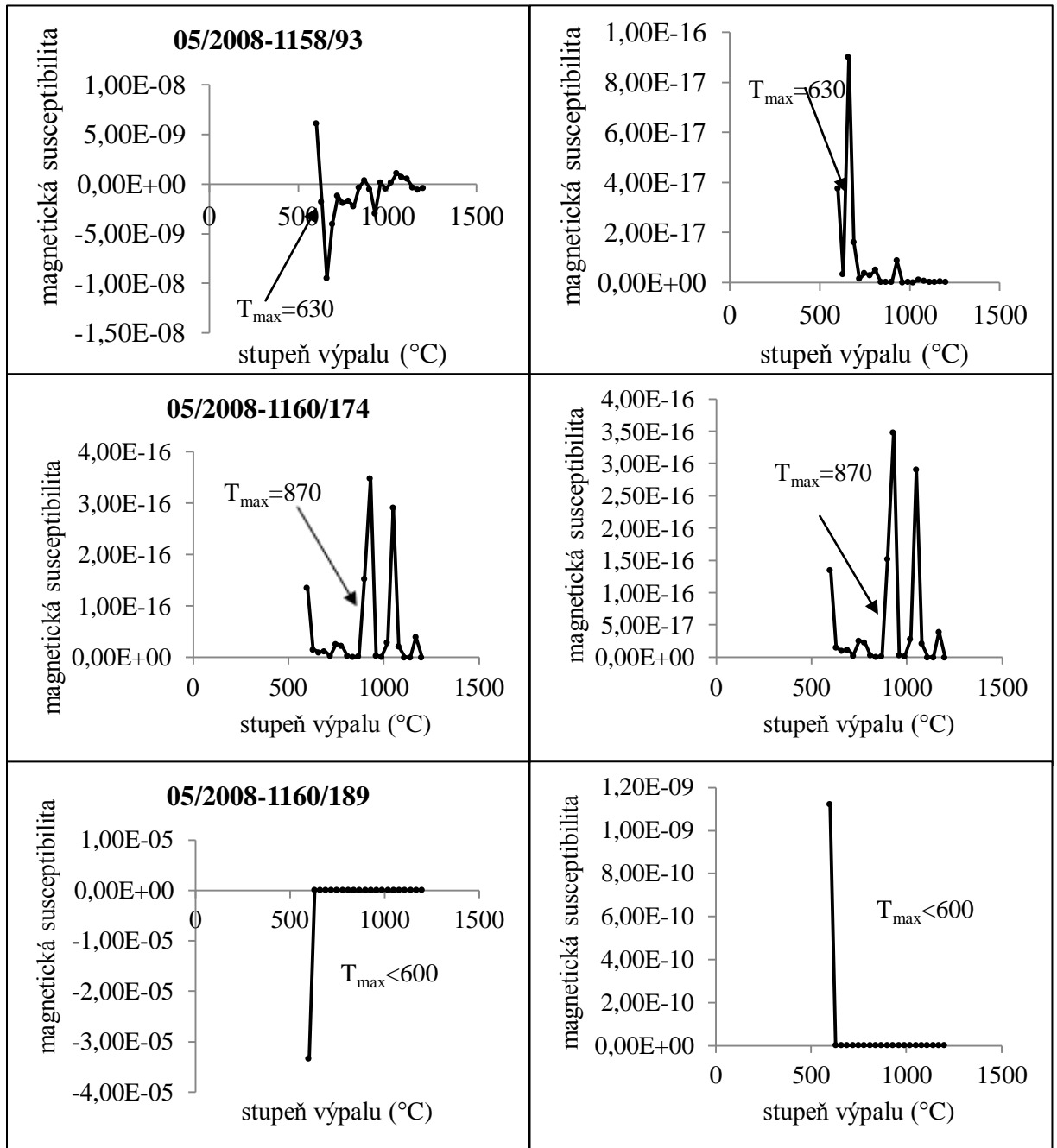
- a) velmi hrubě zrnitá: nad 2,5 mm
- b) hrubě zrnitá: 1,5 – 2,5 mm
- c) středně zrnitá: 0,5 – 1,5 mm
- d) jemně zrnitá: 0,1 – 0,5 mm (Gregerová 2010).

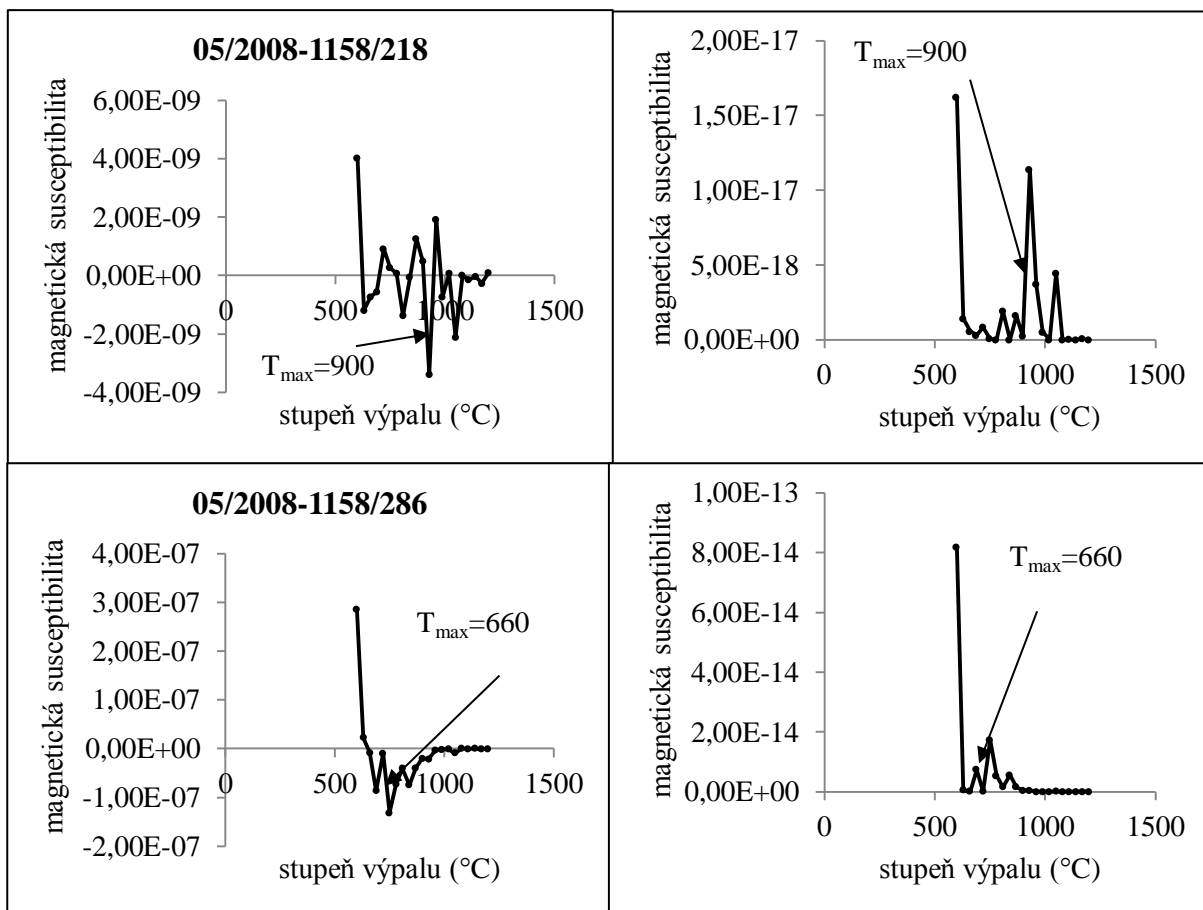
Tabulka 4. poskytuje informace o základní charakteristice analyzované keramiky z hradu Tepence.

Vzorek	05/2008- 1158/93	05/2008- 1160/174	05/2008- 1160/189	05/2008- 1158/218	05/2008- 1158/286
Charakter střepe	Okraj nádoby zdobený vlnicí	Okraj zdobený	Výduť	Dno nádoby	Výduť
Barva povrchu před výpalem	Světle šedá až tmavě šedá	Bílá až šedá	Bílá až světle žlutá	Tmavě šedá až černá	Černá
Barva vnitřní strany před výpalem	Tmavě šedá	Tmavě šedá	Béžová, nažloutlá	Bílá, světle béžová	Černá
Barva po přepalu	Světle hnědá, oranžová	Oranžová	Béžová	Velice světlá béžová, až bílá	Tmavě oranžová, cihlová
Zrnitost	Středně zrnitá	Hrubě zrnitá	Jemně zrnitá	Velice jemnozrná	Jemně zrnitá
Mikrostruktura	Všesměrně zrnitá	paralelní	Všesměrně zrnitá		paralelní
Matrix	Anizotropní	Anizotropní	Anizotropní	Anizotropní	Anizotropní
Ostřivo	Grafit, křemen	Grafit, křemen	Křemen		Grafit součástí pojiva

Tab. 4: Základní charakteristika analyzované keramiky z hradu Tepence.

Bylo vybráno 5 vzorků z archeologické lokality Jívová-Tepenec. Levé diagramy znázorňují naměřenou magnetickou susceptibilitu při experimentálním znovu-přepalování a data v diagramech vpravo jsou umocněna na druhou pro snazší identifikaci. Odhadované maximální vypalovací teploty jsou určeny jako první velké odchytky od normálu a jsou označeny šipkami.





Obr. 6: Příklady stanovení maximálních vypalovacích teplot metodou magnetické susceptibility metodou Rasmussen et al. (2012).

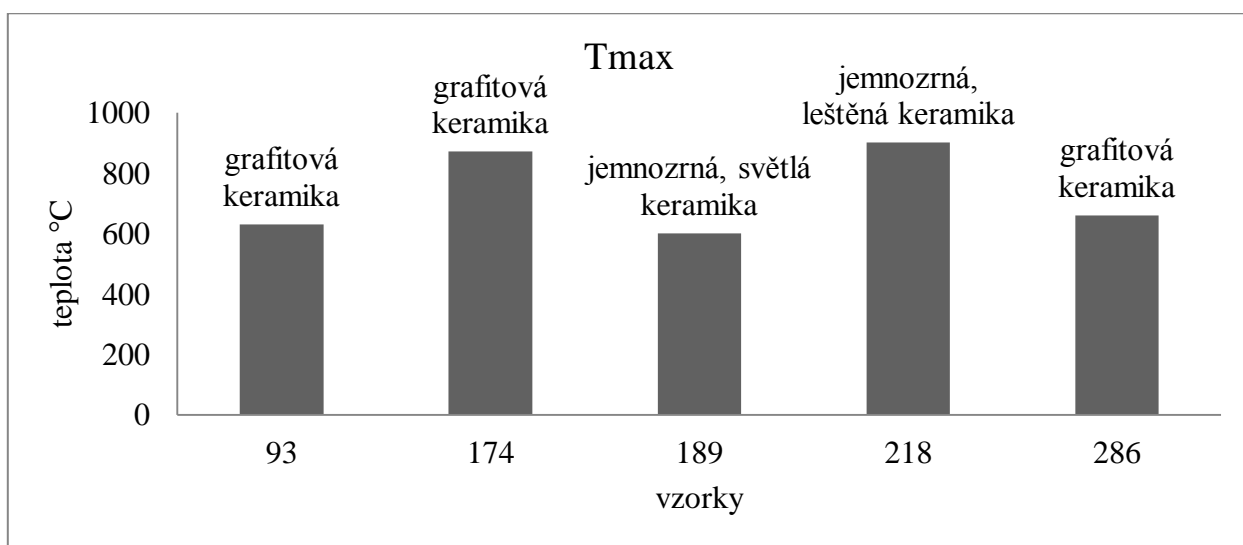
U vzorku č. *05/2008-1158/93* byla odhadovaná maximální teplota výpalu okolo 630°C. Tuto teplotu by mohl dokládat biotit, který se ve vzorku objevoval a podléhal baueritizaci, což je ztráta pleochroismu. Tato přeměna se v biotitu projevuje již od 500°C. Biotit má tvar lišt a barva je světle hnědá, načervenalá. V leštěném vzorku před výpalem byl dále pozorován křemen, grafit, limonit, amfibol, titanit, oxidy a hydroxidy železa (viz příloha č. 1). Ve vzorku se po přepalu na 1200°C se oxidy železa dostávají do pojiva a zbarvují jej do červena. Baueritizovaný biotit je nepleochroický a má světle hnědou až červenou barvu, nejspíše je zbarven limonitem. Dále ve výbrusu můžeme pozorovat křemen s příměsí hliníku, amfibol, muskovit, oxidy a hydroxidy železa, K-živec a nejspíše chlorit. V akcesorickém množství potom titanit, rutil a zirkon.

U vzorku č. *05/2008-1160/174* byla stanovena maximální teplota na 870°C. V leštěném vzorku před výpalem byly pozorovány tyto minerály: křemen, grafit, hematit, muskovit (viz příloha č. 1). U muskovitu nastal pokles dvojlomu. Ve vzorku byl také podíl metamorfovaných horninových úlomků.

U vzorku *05/2008-1160/189* je zřejmě maximální teplota nižší než 600°C, případně byl výpal ve středověku vyšší, ale probíhal kratší dobu, nenastala tedy tak výrazná změna magnetické susceptibility minerálů. V leštěném vzorku před výpalem byly pozorovány karbonáty, muskovity, křemeny, K-živce i plagioklasy (viz příloha č. 1).

U vzorku *05/2008-1158/218* byla maximální teplota výpalu odhadnuta kolem 900°C. Střep je bez ostřiva. V leštěném výbrusu se vyskytuje natavený křemen (viz příloha č. 1). Tento fragment lze zařadit k jemně plavené keramice s vysokým obsahem těžkých minerálů, které se vyskytují v akcesorickém množství monazit, xenotim, zirkon. Keramický materiál je znečištěn zbytky nerozložené matečné horniny, zvláště křemenem, živcem, slídou. Plavením se hrubé součásti odstraní, zůstává však jemný křemen, písek či slída, proto s nimi počítáme při sestavování hmoty.

U vzorku *05/2008-1158/286* byla stanovena maximální teplota výpalu okolo 660°C. Tuto teplotu by mohl dokládat biotit, který se ve vzorku objevoval v hojném množství a podléhal baueritizaci, která se projevuje již od 500°C. Baueritizovaný biotit obsahuje méně draslíku a železa, než je obvyklé a podobá se muskovitu. V leštěném vzorku byl dále pozorován křemen a grafit, K živce, rutil v klastu hornin, povlaky oxidů železa a chlorit (viz příloha č. 1).



Obr. 7: Sloupcový graf znázorňující maximální teploty výpalu u analyzovaných vzorků.

Zdrojem uhlíku pro grafitovou keramiku byly nejčastěji grafitové horniny nebo zuhelněná biomasa. Grafitová keramika se nejčastěji vyskytuje ve spojení s metamorfovanými horninami např. svory, fylity či kvacity (Gregerová 2010). Na lokalitě Jívová-Tepenec je podloží tvořeno především drobnými, břidlicemi a nivními či fluviálními sedimenty. Když srovnáme keramické střepy z lokality Jívová-Tepenec se vzorky z brněnské keramiky, oba druhy keramiky se vyznačují tím, že keramické těsto je ovlivněno především geologickým podložím,

přičemž nejčastějšími úlomky ve fragmentech jsou slídy, křemeny, K-živce a plagioklasy, amfiboly.

Chemickým analýzám byly podrobeny 4 leštěné výbrusy: č. 93 před a po výpalu, č. 218 a č. 286 oba před výpalem. Ve vzorcích č. 93 a č. 286 byl prokázán výskyt chloritů. Tyto byly přepočteny na 14 kyslíků (viz tabulka č. 4), také byl prokázán výskyt amfibolu ve vzorku č. 93. Amfiboly byly nejprve přepočteny na 11,5 kyslíků a posléze také na 23 kyslíků (viz tabulka č. 5). Amfiboly chemicky odpovídají tremolitu (viz příloha 2). Dále byl prokázán výskyt baueritizovaného biotitu ve vzorcích č. 93 a č. 286 (viz tabulka č. 6). Ve vzorku č. 286 měl biotit menší obsah železa a draslíku než jsou obvyklé hodnoty.

	Chlorit 1	Chlorit 2	Chlorit 3
MgO	1,99	4,02	4,51
Al ₂ O ₃	2,79	2,06	1,87
SiO ₂	2,67	3,23	3,24
FeO	2,47	0,34	0,20
CaO	0	0,08	0
Suma	9,93	9,73	9,82

Tab. 5: Výsledky chemických analýz chloritů v hm. %, přepočteno na 14 kyslíků.

	Tremolit 1	Tremolit 2	Tremolit 3
MgO	2,20	2,34	2,37
Al ₂ O ₃	0,29	0,25	0,09
SiO ₂	3,93	3,88	3,97
CaO	0,97	1,04	1,06
FeO	0,04	0	0
Suma	7,43	7,50	7,49
Přepočteno na 23 O			
MgO	4,40	4,67	4,74
Al ₂ O ₃	0,59	0,50	0,19
SiO ₂	7,85	7,75	7,94
CaO	1,95	2,08	2,11
FeO	0,07	0	0
Suma	14,86	15,00	14,97

Tab. 6: Výsledky chemických analýz amfibolů v hm. %, přepočteno na 11,5 a 23 kyslíků.

	Biotit 1	Biotit 2
MgO	0,18	0,22
Al ₂ O ₃	2,75	2,63
SiO ₂	3,14	3,22
K ₂ O	0,83	0,78
Suma	6,90	6,85

Tab. 7: Výsledky chemických analýz baueritizovaných biotitů v hm. %, přepočteno na 11 kyslíků.

10. Diskuze

Studované keramické střepy si jsou ve svém složení podobné. Vzorky č. 93, 174 a 286 se jeví jako keramika grafitová. Ve střepu č. 93 a č. 174 se grafit vyskytuje jako ostřívo v rozmezí od 0,5 až 3mm, ve vzorku č. 286 se grafit objevuje rovněž jako ostřívo o velikosti 0,5mm, ale je také obsažen přímo v pojivu. U vzorku č. 218 nelze rozlišit minerální fáze a ve střepu č. 189 byly jako ostřívo použity slídy a křemeny. U 4 z 5 vzorků je maximální vypalovací teplota nižší nebo rovna 600°C, jen jeden vzorek má maximální vypalovací teplotu vyšší, a to 870°C.

Lokalita Jívová-Tepenec se nachází v Domašovské vrchovině, kde se vyskytují horniny s amfiboly (Plaček 2001). Amfiboly jsou také přítomny v keramickém fragmentu č. 93. Nelze tedy vyloučit, že část keramiky na Tepenci byla vyráběna z místních materiálů.

Výsledky též prokázaly, že fázové změny biotitu jsou dost výrazné pro určení teploty výpalu keramických fragmentů. Proces oxidace železa u biotitu nastává od 400°C, nad 700°C nastávají barevné změny v pleochroismu a nad 1000°C nastává celková baueritizace a biotit se může stát opakním. Ve vzorku č. 93 a 286 biotit zjevně podléhá baueritizaci od teploty nad 600°C, biotit podléhá barevným změnám. Křemen je bez přeměn, podléhá tání až od teplot 1700°C, ale u vzorku 218 již dochází k jeho natavování, což dobře vypovídá o vysoké teplotě jeho výpalu (kolem 900°C). Od teplot 300°C se mění barevné zbarvení, chloritu a od teplot 500°C agregáty výrazně zčervenaly a chlority nejsou pleochroické. Grafity vyskytující se ve fragmentech nejsou vhodnými minerály pro určení teploty výpalu, avšak naznačují, že docházelo k redukčnímu výpalu, což je pro vrcholnou středověkou keramiku typické. Grafit je totiž při tomto druhu výpalu stabilní do teplot 3000°C (viz tab. 1), zatímco při oxidačním výpalu je nestabilní už při teplotách přesahujících 600°C (Gregor, Čambal 2007).

Aplikovaná metoda měření magnetické susceptibility dle Rasmussena et al. (2012) byla daným kolektivem autorů testována na 50 vzorcích v Evropě, v jižní Americe a na středním

východě. Selhala jen v několika málo procentech vzorků, měla by tedy být použitelná pro většinu archeologických pálených zemin. Metoda selhala zejména u vzorků sestávajících z čistých vápenců nebo křemenů. Předpokladem metody je, že jedna nebo více minerálních látek s početnou magnetickou susceptibilitou jsou buď zničeny, nebo nově vznikají při vypalování (Rasmussen et al. 2012).

U testovaných vzorků se metoda ukázala být poměrně spolehlivou, ačkoliv při analýze dalších souborů je třeba začít s přepalováním na nižších teplotách tak, aby nevznikal první (matoucí) výkyv křivky způsobený patrně modifikací sekundárních oxidů železa (viz Cornell, Schwertmann 2003). Ne všechna pozorování v polarizovaném světle byla použitelná pro doplnění výsledků získaných Rasmussenovou et al. (2013) metodou. Pro vzorek č. 93 je významná přítomnost chloritu, který je stabilní do cca 600°C a také přítomnost baueritizovaného biotitu (Gregor, Čambal 2007), odpovídající přibližně měřením magnetické susceptibility. U vzorku č. 174 může teplotu dokládat jen pokles dvojlomu u muskovitu (viz tabulka č. 1). Nízkou teplotu výpalu u vzorku č. 189 dokládá přítomnost karbonátů, naopak vysokou teplotu u vzorku č. 218 natavený křemen. Výpal u vzorku č. 286 (dle měření magnetické susceptibility) je opět doložen baueritizovaným biotitem i přítomností chloritu. Celkově lze tedy říci, že metoda měření magnetické susceptibility byla pozorováním teplotních změn minerálů v polarizovaném světle dobře doplněna. Rozdíly v teplotě výpalu mezi jednotlivými vzorky naznačují, že keramické kategorie vyčleněné archeology na hradě Tepenci (Vrána, Vránová 2005) jsou částečně založené i na rozdílné technologii výroby (minerální složení, teplota výpalu). Buď jde tedy o 5 různých výpalů za různých teplot, nebo o kolísání teploty v hrnčířské peci. Snad jen vzorky č. 93 a č. 286 jsou si složením i teplotou výpalu dosti podobné a mohly by pocházet z jedné hrnčířské dílny.

11. Závěr

Tato bakalářská práce byla zaměřena na středověkou keramiku z lokality Jívová-Tepenec. Celkem bylo zhodnoceno 5 vzorků, které byly srovnány s analýzami přibližně stejně staré keramiky z Moravy a Slezska. Keramické střepy byly popsány mikroskopicky i makroskopicky. Vzorky č. 93, 174 a 286 se jeví jako keramika grafitová, vzorek č. 218 je jemně plavená leštěná keramika a u vzorku č. 189 byly jako ostřívo použity slídy a křemeny, vzorek je tedy světlejší barvy.

Všechny střepy byly pravděpodobně vypalovány při redukčním výpalu, což je pro vrcholnou středověkou keramiku typické. Výsledná redukční keramika má tmavou barvu a malou nasákavost.

Teplota výpalu jednotlivých keramických fragmentů se většinou lišila. Vzorek č. 218 byl vypálen velmi silně kolem teploty 900°C, vzorek č. 174 měl teplotu výpalu o něco nižší a to kolem 870°C. Následovaly 2 střepy: č. 93 a č. 286 vypálené při teplotě okolo 630-660°C a jeden slabě vypálený střep č. 189, kdy teplota výpalu byla nejspíše nižší než 600°C. Zdá se tedy, že původní nádoby patrně nepocházely z jednoho výpalu, patrně ani z jedné keramické dílny. Možnou variantou je i společný výpal některých z nich, ale za kolísání teplot v hrnčířské peci. Jednotlivé typologické kategorie vyčleněné archeology se tedy z části zakládají i na rozdílné technologii výroby jednotlivých vzorků.

12. Seznam pramenů a použité literatury

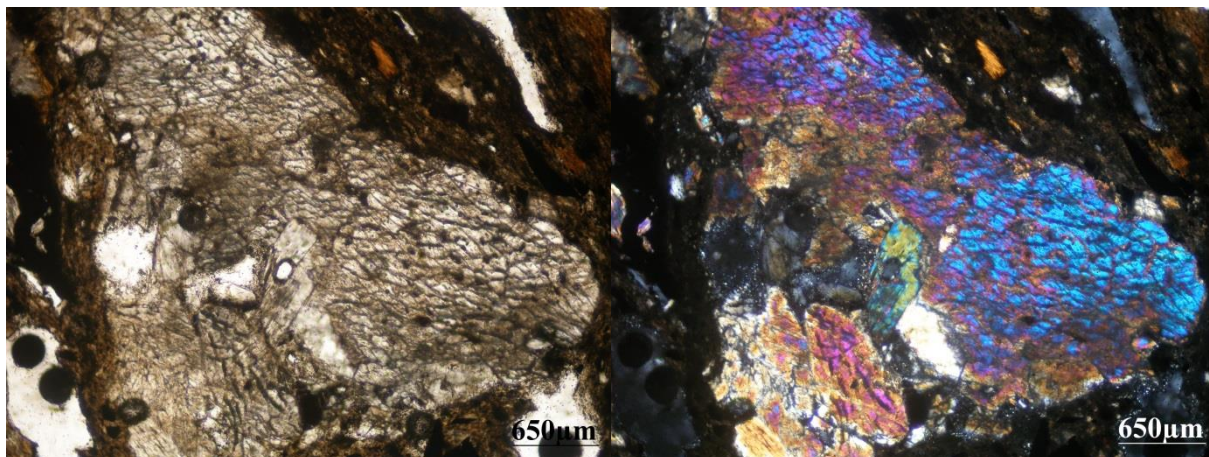
- 1) Cornell, R. M., Schwertmann, U., (2003): The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses. – New York, Wiley, VCH, 664 pp.
- 2) Geologická mapa ČR 1:500 000 [online]. 2015 [cit. 2015-01-30]. Dostupné z: http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g500&y=535600&x=1109700&s=1.
- 3) Geologická mapa ČR 1:50 000 [online]. 2015 [cit. 2015-01-30]. Dostupné z: http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50&y=535600&x=1109700&s=1.
- 4) Dolníček, Z., Sulovský, P. (2013): Laboratorní metody výzkumu. – Olomouc, 81 s.
- 5) Goš, V., (2007): Loštice: město středověkých hrnčírů. – Opava, 126 s.
- 6) Gregerová, M., Čopjaková, R., Beránková, V., Goš, V., Bibr, P., Hanuláková, D., Hložek, M., Holubová, B., Kristová, L., Kuljovská, Z., Macháček, J., Mazuch, M., Procházka, R., Škoda, R., Všianský, D. (2010): Petroarcheologie keramiky v historické minulosti Moravy a Slezska. – Brno, 311 pp.
- 7) Gregerová, M., Hložek, M. (2008): Keramická petrografie loštické hrnčiny. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 2007 (15), 86–89.
- 8) Hanykýř, V., Kützendörfer, J. (2008): Technologie keramiky. – 2. vydání, Praha, 387 pp.
- 9) Másilko, J. [online]. 2011 [cit. 2015-03-03]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/rentgenova-difracni-analyza-na-praskovych-vzorcich>.
- 10) Janoška, M., (2001): Nízký Jeseník očima geologa. – Olomouc, 64 pp.
- 11) Lutovský, M., (2001): Encyklopedie Slovanské archeologie v Čechách, na Moravě a ve Slezsku. – Praha, 431 pp.
- 12) Musthafa, A. M., Janaki, K., & Velraj, G. (2010): Microscopy, porosimetry and chemical analysis to estimate the firing temperature of some archaeological pottery shreds from India. *Microchemical Journal*, 95 (2), 311–314.
- 13) Nekuda, V., Reichertová, K. (1968): Středověká keramika v Čechách a na Moravě. – Brno, 462 pp.
- 14) Plaček, M., (2001): Hrady a zámky na Moravě a ve Slezsku. – Praha, 439 pp.
- 15) Pokorná, L., (2007): Středohradištní keramika z širšího okolí Přerova. – Manuskript bakalářské práce, Masarykova univerzita, Brno.
- 16) Polanský, R., 2008: Diferenční termická analýza a její využití v elektrotechnologické diagnostice. – *Elektrorevue* 12, 1–9.

- 17) Rasmussen, K. L., De La Fuente G. A., Bond A. D., Mathiesen K. K., Vera S. D. (2012): Pottery firing temperatures: a new method for determining the firing temperature of ceramics and burnt clay. – *Journal of Archaeological Science* 39, 1705–1716.
- 18) Ricciardi, P., Nodari, L., Gualtieri, S., DeSimone, D., Fabbri, B., Russo, U. (2008): Firing techniques of black slipped pottery from Nepal (12th–3rd century BC): the role of Mössbauer spectroscopy. *Journal of Cultural Heritage* 9 (3), 261–268.
- 19) Tepenec [online]. 2015 [cit. 2015-01-30]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz/zakladni?x=17.3630750&y=49.7038066&z=15&source=base&id=1702942>
- 20) Velraj, G., Mohamed Musthafa, A., Janaki, K., Deenadayalan, K., Basavaiah, N. (2010): Estimation of firing temperature and ancient geomagnetic field intensity of archaeological potteries recently excavated from Tamilnadu, India. – *Applied Clay Science* 50 (1), 148–153
- 21) Vránová, V., Vrána, J. (2005): Jívová-Tepenec: Pravěké hradisko a Karlův hrad. - *Archeologické památky střední Moravy* 9, 28 pp.
- 22) Všianský, D., Gregerová, M. (2009): Methodology of historical and recent pottery technological processes examination. - Brno: - Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s., s. 295-300.

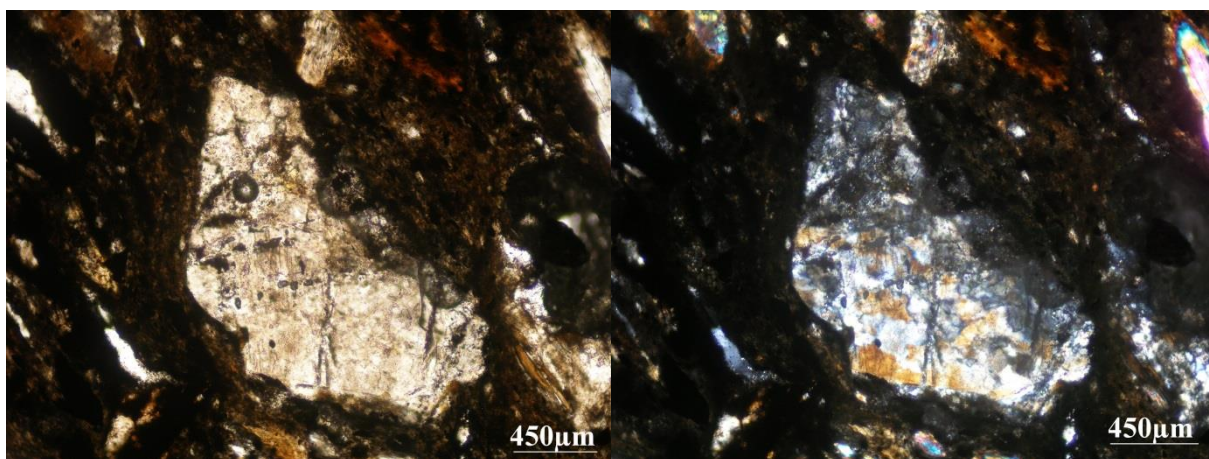
13. Přílohy

Příloha 1

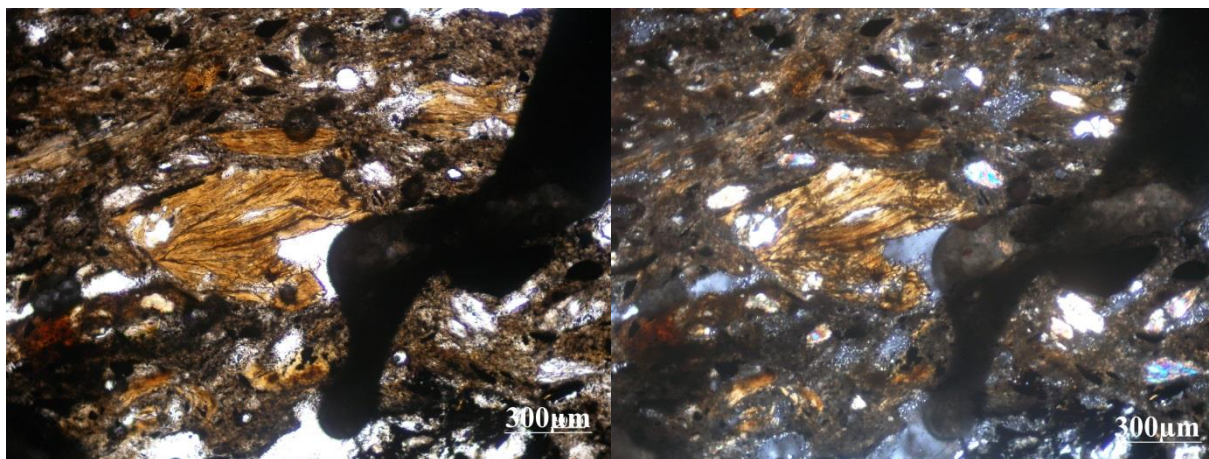
Keramický fragment 05/2008-1158/93



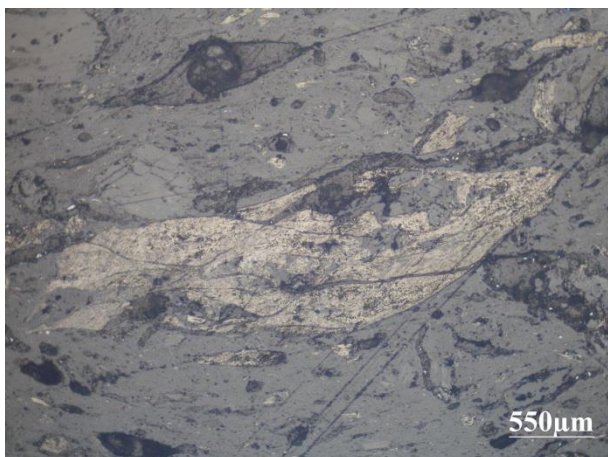
Obr. 8: Vzorek před výpalem. Zrno amfibolu v PPL vlevo, v XPL vpravo.



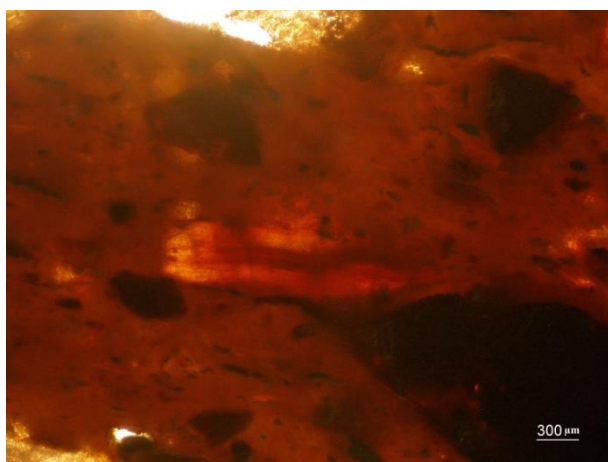
Obr. 9: Vzorek před výpalem. Zrno křemene vlevo v PPL, vpravo v XPL s undulárním zhášením.



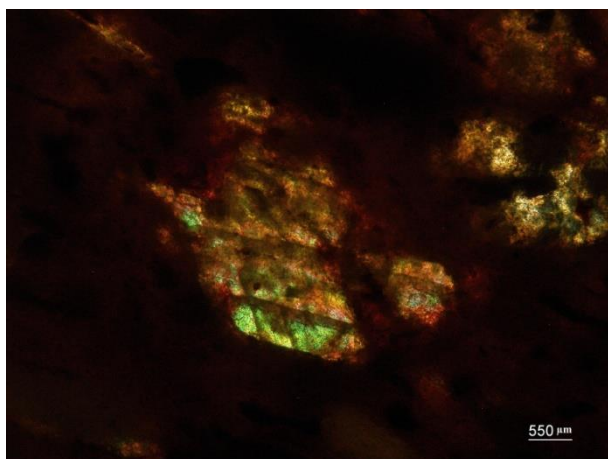
Obr. 10: Vzorek před výpalem. Baueritizovaný biotit vlevo v PPL, vpravo v XPL.



Obr. 11: Vzorek před výpalem. Zrno grafitu v odraženém světle.

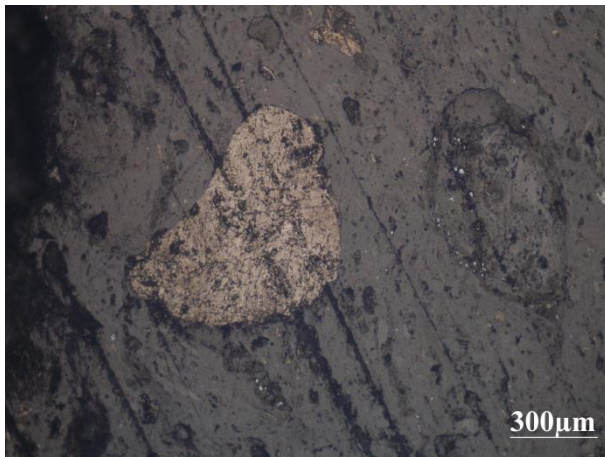


Obr. 12: Vzorek po přepalu na 1200°C. Na snímku baueritizovaný biotit v XPL. Okolní pojivo zbarveno limonitem.



Obr. 13: Vzorek po přepalu na 1200°C. Na snímku zrno amfibolu v XPL. Okolní pojivo zbarveno limonitem.

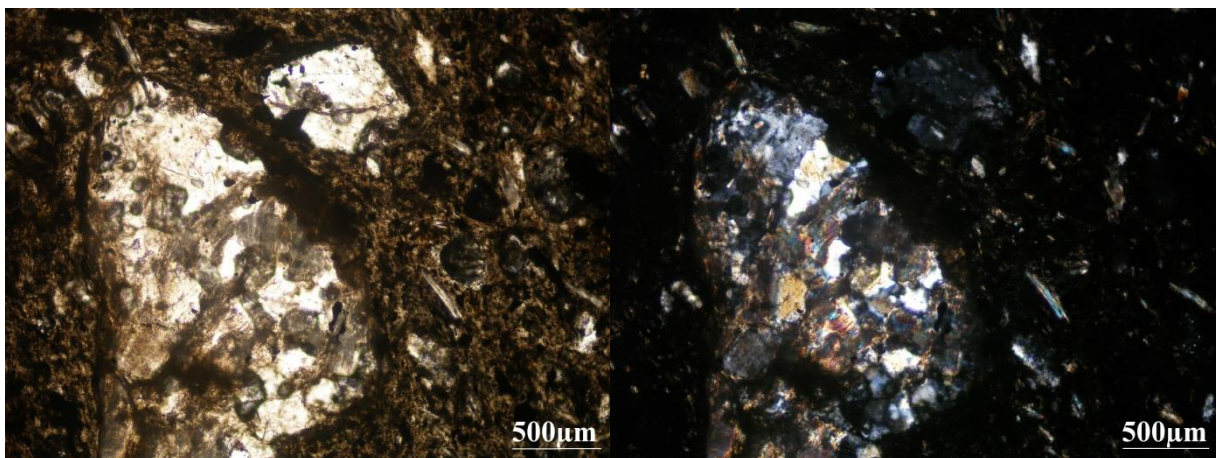
Keramický fragment 05/2008-1160/174



Obr. 14: Vzorek před výpalem. Zrno grafitu v odraženém světle.

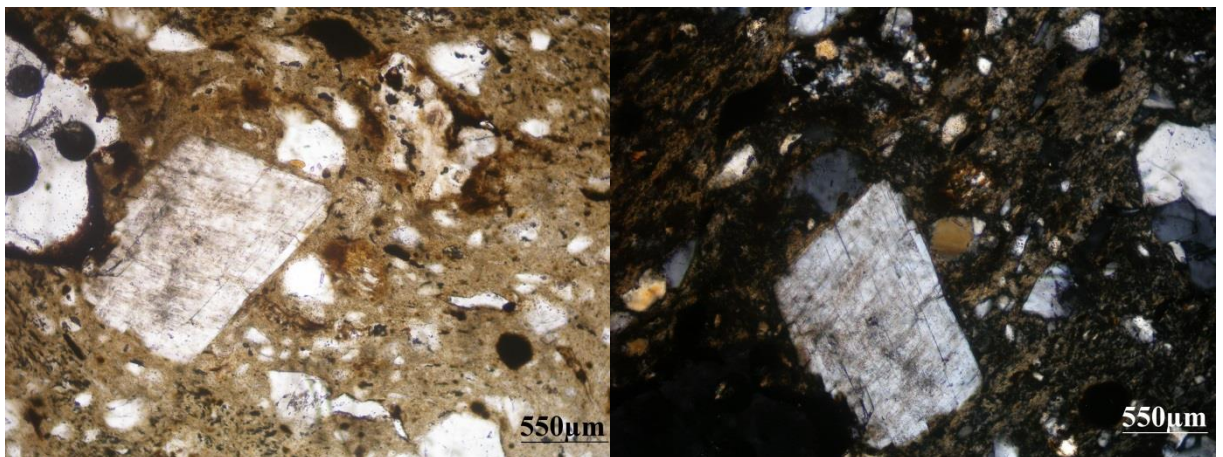


Obr. 15: Vzorek před výpalem. Zrno hematitu v odraženém světle.

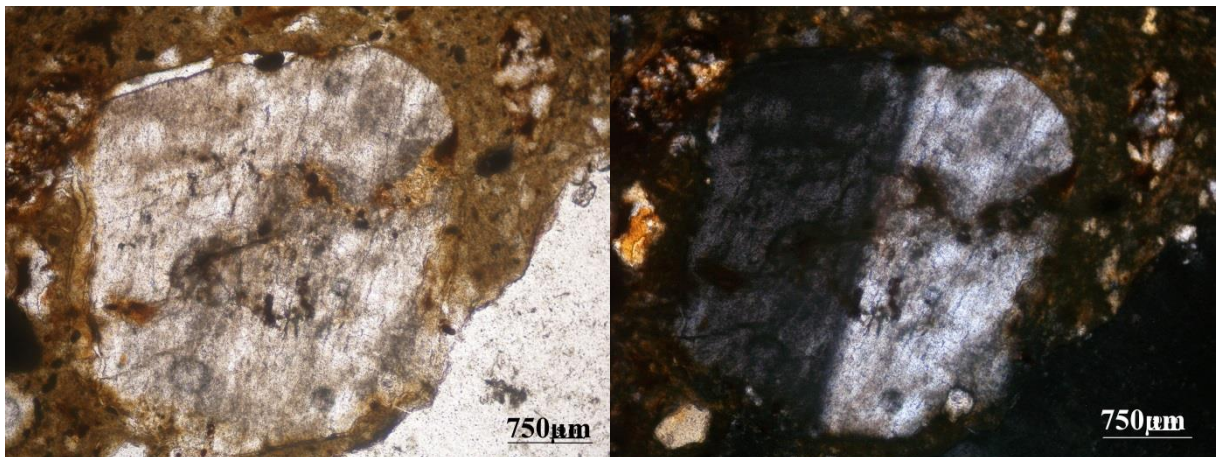


Obr. 16: Vzorek před výpalem. Křemen a muskovit vlevo v PPL, vpravo v XPL.

Keramický fragment 05/2008-1160/189

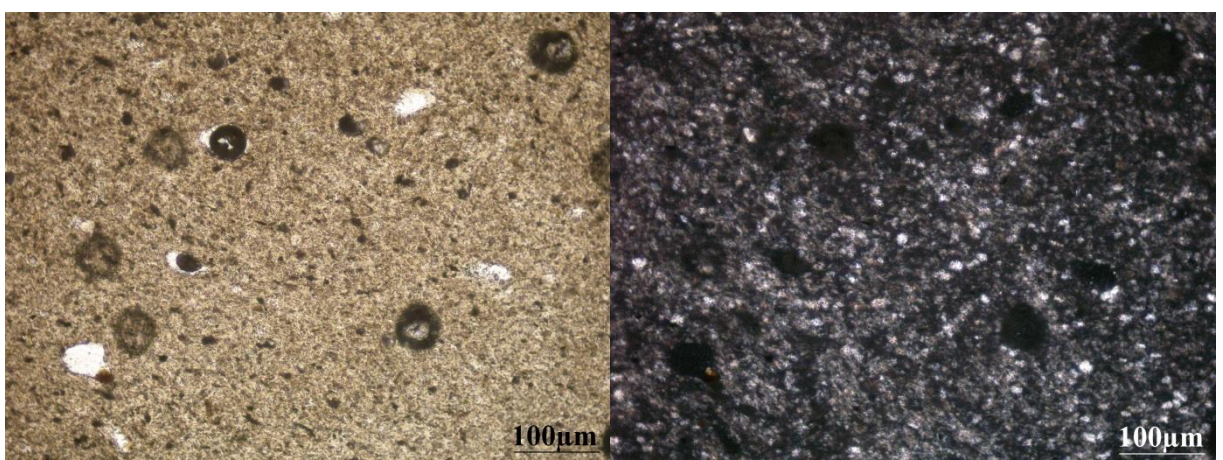


Obr. 17: Vzorek před výpalem. Vlevo kaolinizovaný plagioklas v PPL, vpravo v XPL.



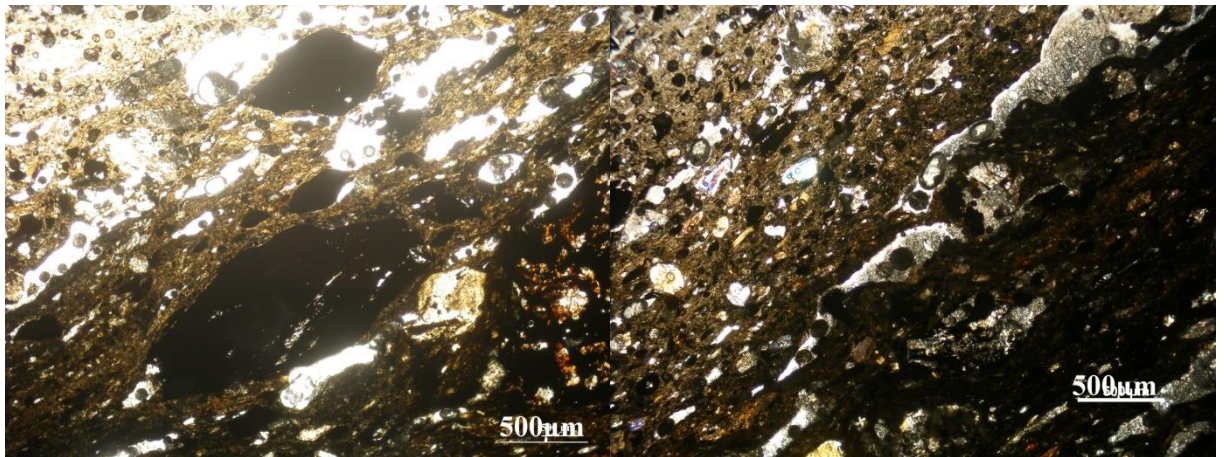
Obr. 18: Vzorek po výpalu na 1200°C. Vlevo Zrno K-živce v PPL, vpravo dvojčatění K-živce v XPL.

Keramický fragment 05/2008-1158/218

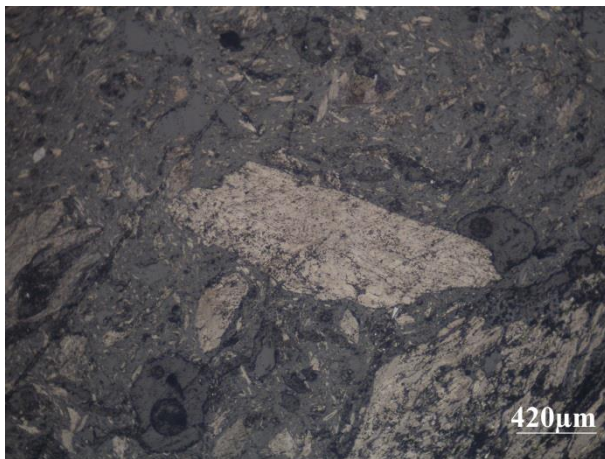


Obr. 19: Vzorek před výpalem. Nelze rozpoznat minerální fáze, vzorek je velice jemnozrný.

Keramický fragment 05/2008-1158/286

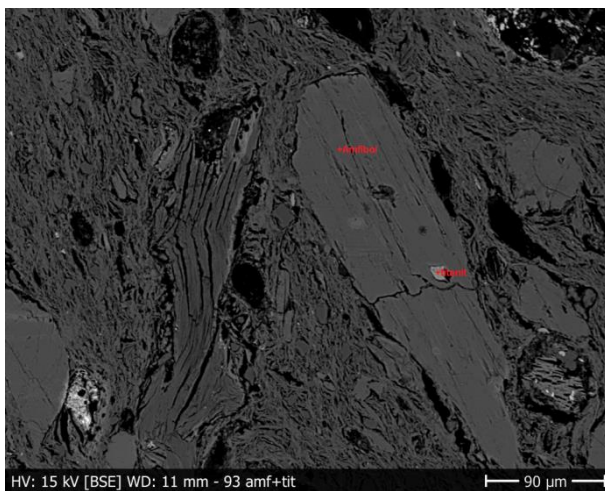


Obr. 20: Vzorek před výpalem. Zrna křemene vlevo v PPL, vpravo v XPL.

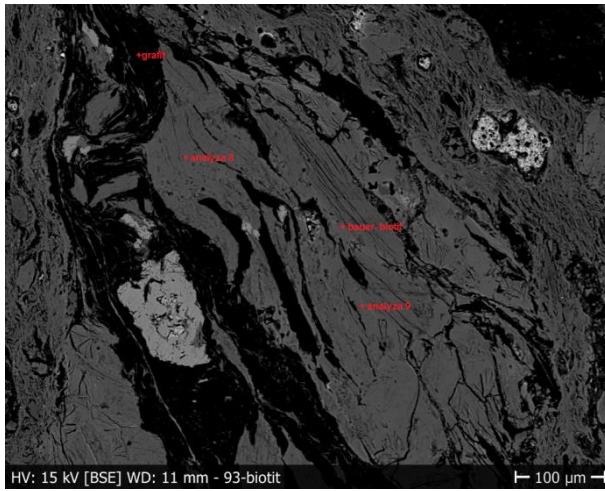


Obr. 21: Vzorek před výpalem. Zrno grafitu v odraženém světle.

Příloha 2



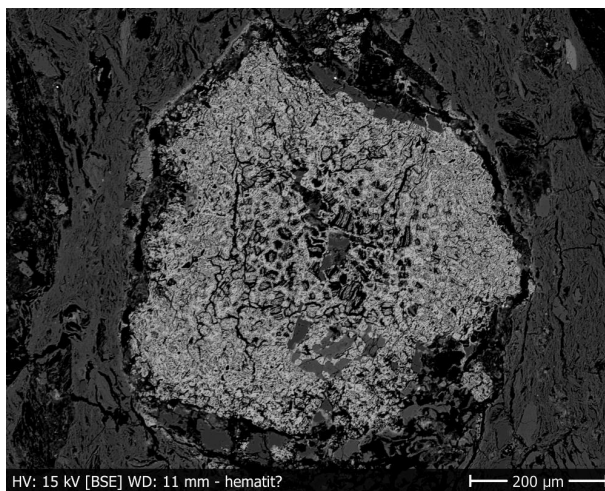
Obr. 22: Keramický fragment 05/2008-1158/93 před výpalem. Zrno amfibolu s akcesorickým titanitem, SEM.



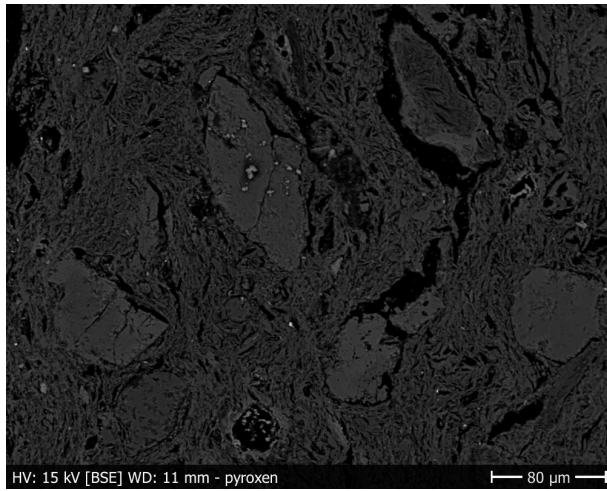
Obr. 23: Keramický fragment 05/2008-1158/93 před výpalem. Zrno baueritizovaného biotitu a grafit, SEM.



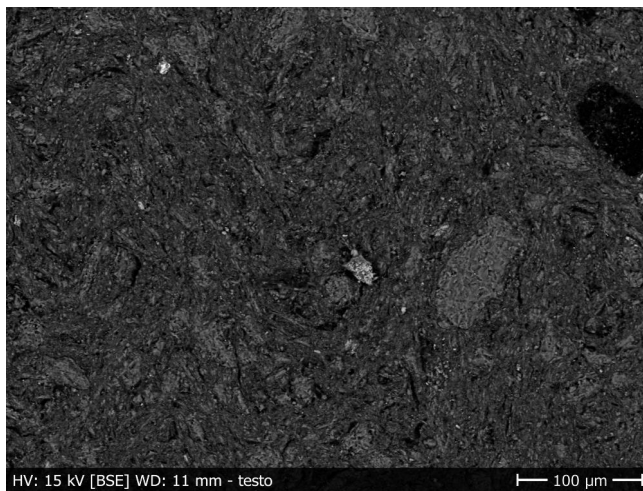
Obr. 24: Keramický fragment 05/2008-1158/93 po přepalu na 1200°C. Zrno titanitu, SEM.



Obr. 25: Keramický fragment 05/2008-1158/93 po přepalu na 1200°C. Zrno hematitu, SEM.



Obr. 26: Keramický fragment 05/2008-1158/93 po přepalu na 1200°C. Zrno tremolitu, SEM.



Obr. 27: Těsto keramického artefaktu 05/2008-1158/218 po přepalu na 1200°C, SEM.