

Mineralogická charakteristika stavebných materiálov z Ventúrskej ulice č. 11–13 v Bratislave

Miloš Gregor – Peter Uhlík

Mineralogical characteristics of building materials at Ventúrska Street 11–13, Bratislava

Building materials from the studied object (Ventúrska Street 11–13, Bratislava, Slovakia) were divided into two basic groups: building ceramics and air setting mortar. Building ceramics were further divided into fired and unfired building ceramics. The main mineralogical and petrographical aspects were studied with regard to possible technology and the determination of raw material provenance. Cob bricks consist from clay minerals, fragments of quartz and feldspars, quartzite pebbles, graphitic ceramic sherds and straw remains. Bricks consist from two important elements: cement paste (matrix) and filler agent. Filler agent consists from quartz, feldspars, calcite, micas and hematite. Rock fragments consist mainly from quartzites. Bricks were fired at 750–800 °C and the firing atmosphere was oxidizing. Mortars consist of two elements: binding material and filler agent. Filler agent consists from quartz, feldspars and micas. The binding material was lime. The clay material for cob bricks comes from the flood plains sediments of the Danube River. The clay material for bricks probably comes from the loess sediments which are found in the immediate surroundings of Bratislava. The filler agent probably comes from sand sediments of the Danube River. Limestone for lime production was probably quarried in the Hainburg hills (Austria) or it comes from the Bratislava area. However due to high thermal treatment the precise determination of the limestone provenance is not possible.

1. Úvod

Pre stavbu objektu z 13–14. storočia na Ventúrskej ulici č. 13–14 boli použité tehly kombinované s nabíjanicou a spájané s maltou. Snahou tejto práce je po mineralogickej stránke charakterizovať vybrané stavebné materiály a na základe získaných poznatkov identifikovať pôvod, tj. provenienciu suroviny použitej pre výrobu stavebných materiálov, ďalej teplotné a oxido-redukčné podmienky výpalu, ako aj charakterizovať vybrané technologické vlastnosti a možný spôsob úpravy suroviny.

2. Metodika

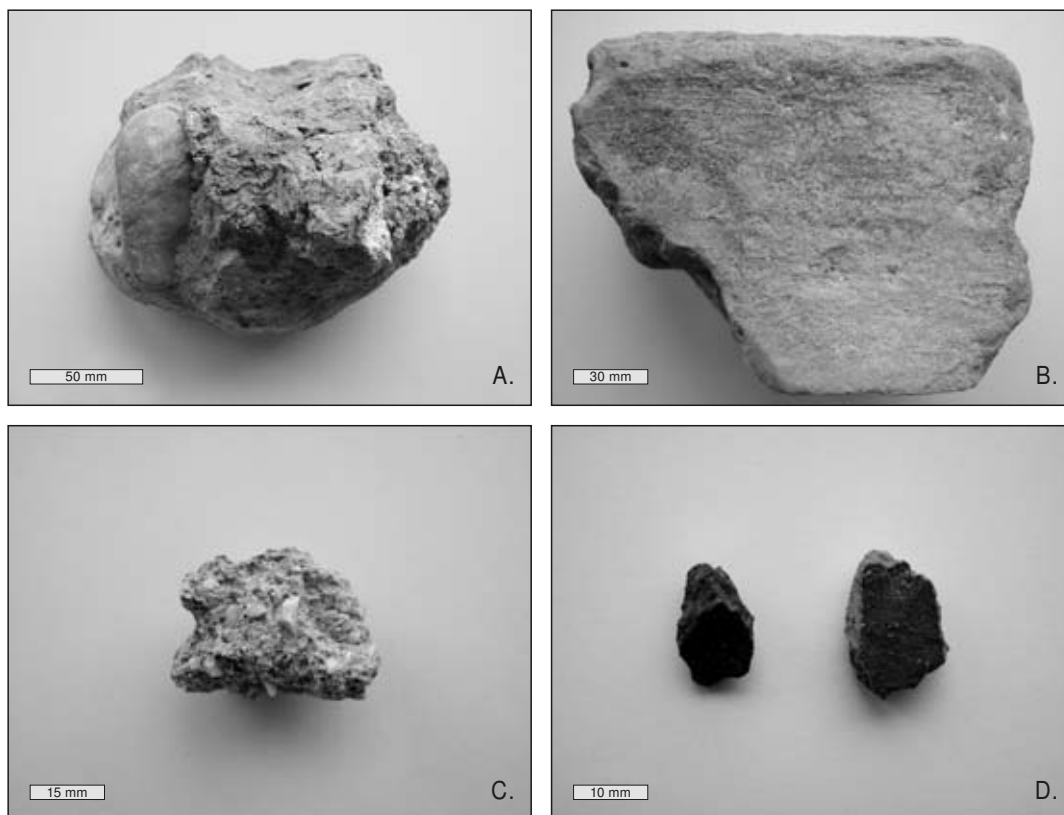
2.1. RTG – difrakčná analýza

Rtg – difrakčná analýza orientovaných práškových preparátov je základnou identifikačnou metódou pri určovaní kvalitatívneho obsahu ílovej frakcie (pod 2 μm). Požadovaná frakcia bola pripravená nasledovne. Časť nabíjanice bola rozrušená vo vode pomocou ultrazvuku počas 5 minút. Materiál tehly bol pred zmiešaním s vodou podvrvený v achátovvej miske na jemný prášok (pod 20 μm), pretože išlo o pevnejší, vo vode nerozpadajúci sa materiál. V oboch prípadoch sa potom suspenzia naliala do valcov, kde došlo k separácii ílovej frakcie. Čas sedimentácie bol odvodený na základe požadovanej veľkosti frakcie a výšky vodného stĺpca zo Stocksovhovho pravidla. Ílová frakcia po stanovenom čase zostala v suspenzii, ktorá sa stiahla vodnou vývevou a usušila sa. Získaná frakcia bola použitá pre prípravu orientovaného preparátu. Orientované preparáty boli pripravené sedimentáciou suspenzie (110 mg ílovej frakcie na 2 ml destilovanej vody) na sklenené doštičky (10 mg ílu na 1 cm^2). Orientované preparáty ílovej frakcie sa pripravujú pre zvýraznenie bazálnych reflexov ílových minerálov. Rtg – difrakčné analýzy boli vykonané v prírodnom stave (air-dry) a po sytíení parami etylénglykolu (EG) počas noci pri teplote 60 °C. Sytíenie EG sa používa na identifikáciu expandujúcich ílových minerálov, ktorých prítomnosť sa prejaví posunom ich reflexov po sytíení. Na rtg – difrakčnú analýzu boli použité difraktometere PHILIPS PW 1710 (Cu K α 1) a DRON – 3 (Co K α 1). Krok zaznamenávania intenzít bol 0,02 °2 Θ pri čase 1s a 0,1 °2 Θ pri čase 1s.

3. Výsledky a diskusia

3.1. Nepálené stavebné materiály – nabíjanica

Po makroskopickej stránke je nabíjanica (**obr. 1**) zložená z hnedastej ílovej hmoty, v ktorej boli ďalej identifikované obliaky kremeňa, poprípade kremencov, úlomky čiernej keramiky (pravdepodobne ide o grafitovú keramikú), granitov (žúl) a množstvo organického materiálu (steblá slamy a plevy).

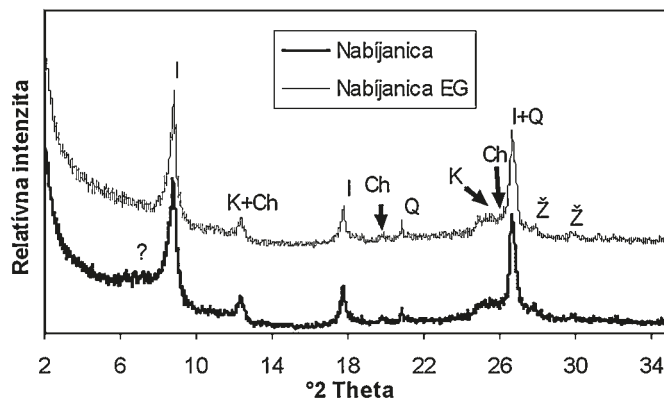


Obr. 1
Prehľad stavebných materiálov
z objektu na Ventúrskej ulici 11–13
v Bratislave.

- A. Nabíjanica s dobre pozorovateľnými obliakmi kremencov
- B. Tehla
- C. Malta
- D. Úlomky grafitovej keramiky vyseparované z nabíjanice

Obr. 2

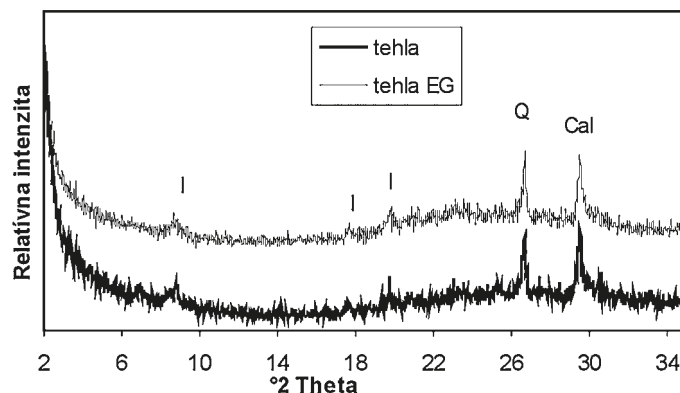
Rtg – difrakčný záznam orientovaného práškoveho preparátu ilovej frakcie nabijanice (Cu K α 1). I – illit, K – kaolinit, Ch – chlorit, Q – kremeň, Ž – živce



Na základe rtg – difrakčnej analýzy orientovaného preparátu nabijanice bol v ilovej frakcii identifikovaný predovšetkým illit, potom kaolinit, chlorit, kremeň, živce (**obr. 2**). Stopy bližšie nedefinovanej pravdepodobne expandujúcej fázy v oblasti 6–8 °2 θ sa po sýtení EG stratili. Nejedná sa preto o smektit, ale pravdepodobne o zmiešanovrstevnatý ilový minerál s veľmi nízkym až stopovým zastúpením. Celkové minerálne zloženie je uvedené v **tabuľke č. 1** a na **obrázku č. 2**.

Obr. 3

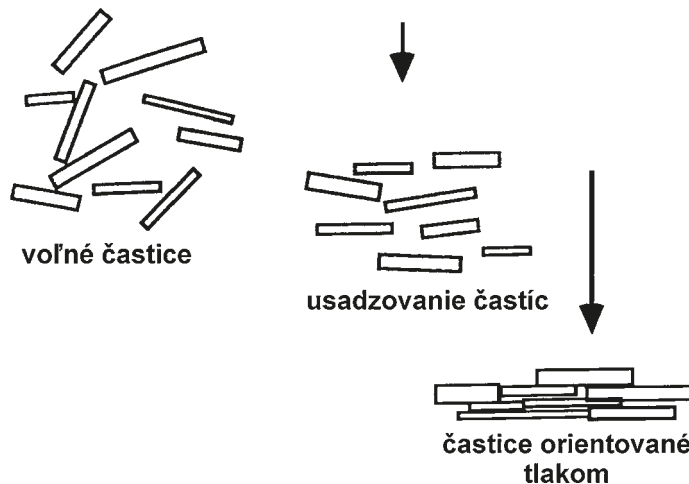
Rtg – difrakčný záznam orientovaného práškoveho preparátu ilovej frakcie tehly (Cu K α 1). I – illit, Q – kremeň, Cal – kalcit



Schopnosť nabijanice udržať si svoj tvar bez väčších zmien vďaka priaznivému zloženiu ilovitej suroviny, v ktorej prevláda illit nad kaolinitom a chloritom. Vo všeobecnosti sa ilové minerály vyznačujú malým rozmerom častíc (pod 2 μ m) a veľkým merným povrchom (Velde – Druc 1999). Tvar týchto minerálov je podobný tabuľkám alebo listu papiera, takže dokážu na svoj povrch viazať väčšie množstvo vody ako ostatné tvary minerálov (**obr. 5**). Pri určitom množstve vody sú molekuly vody spoločné medzi jednotlivými ilovými minerálmi a spájajú ich. Takéto vrstvy molekúl vody slúžia ako mazadlo, takže ilové minerály sa môžu jeden po druhom kĺzať. Takisto vďaka vode a vyvíjanému tlaku na surovinu (napr. tlak rúk alebo sedimentáciou, t.j. postupným usadzovaním sa minerálov) prichádza k prednostnej orientácii ilových minerálov, t.j. ilové minerály sa orientujú najdlhšou stranou kolmo na smer pôsobiacej sily. Po vysušení sa jednotlivé minerály medzi sebou dotýkajú a zachovávajú tak tvar, do ktorého bola surovina formovaná (**obr. 4**). Pre porušenie takejto štruktúry by muselo byť do systému pridané také množstvo vody, aby ilové minerály boli od seba čo najviac oddelené molekulami vody. Ak vylúčime mechanické poškodenie spôsobené určitou silou.

Obr. 4

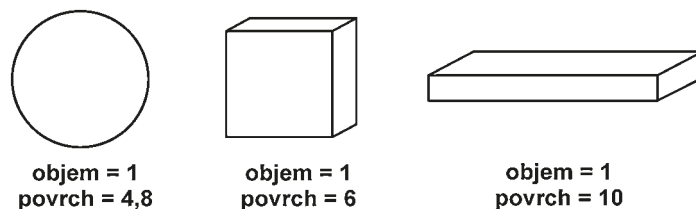
Schematické znázornenie orientácie ilových minerálov voči pôsobiacej sile. Voľné, nepravidelne orientované ilové častice sú typické pre systémy bez akejkoľvek pôsobiacej sily. Častice sa začínajú orientovať počas sedimentácie (usadzovania sa) vplyvom gravitačnej sily. Úplná orientácia nastáva pri silne pôsobiacej sile, čo je typické pre ilovú masu, s ktorou remeselník narába. (Velde & Druc, 1999)



Rovnako na trvácnosť stavebného materiálu má vplyv aj minerálne zloženie. Inak by sa správal materiál s vysokým obsahom smektitu, ilového minerálu so schopnosťou absorbovať vodu a tak zväčšovať svoj objem viac ako desaťnásobne. Pri sušení takéhoto materiálu dochádza k veľkým objemovým zmenám, k zmršteniu a k vzniku trhlín. Pri viacnásobnom sušení a vlhčení to môže spôsobiť jeho úplný rozpad. Iným extrémom je materiál zložený výhradne z kaolinitu, ktorý má jedny z najväčších kryštálov z pomedzi ilových minerálov. Kaolinitovému materiálu chýba dostatočná väznosť, ktorú zabezpečujú menšie častice illitu alebo smektitu, preto je takýto materiál nesúdržný a pri opätovnom styku s vodou by sa taktiež rozpadol (Konta 1982; Šucha 2001).

Obr. 5

Vzťah medzi časticami rôznych tvarov a ich objemom a povrchom. Objem častíc je rovnaký, ale najväčší povrch má práve častica tabuľkovitého (doštičkovitého) tvaru. Takýmto tvarom sa vyznačujú práve ilové minerály. (Velde & Druc, 1999)



Identifikované obliaky kremeňa popripade kremencov, úlomky keramiky, granitov a steblá slamy napomáhajú zlepšiť technologické vlastnosti nabíjanice tj. jej pevnosť a trvácnosť.

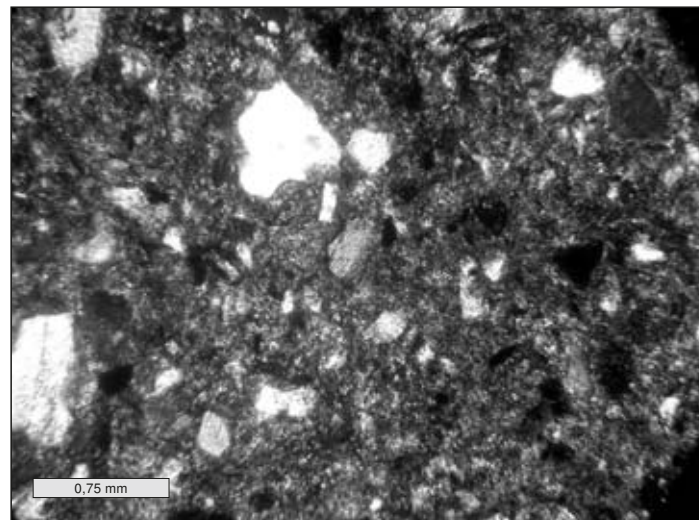
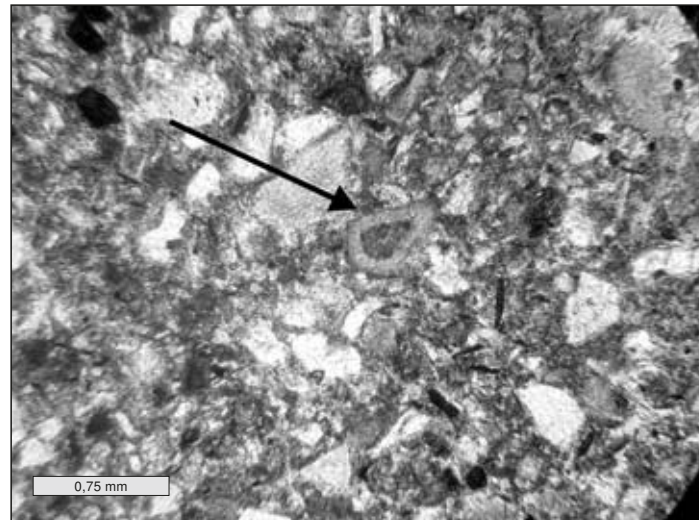
Ílovitá surovina môže s najväčšou pravdepodobnosťou pochádzať z aluviálnych sedimentov rieky Dunaj rovnako ako aj obliaky kremeňa, popripade kremencov, ktoré taktiež pochádzajú z riečnych nánosov. Na základe geologickej situácie mesta Bratislavy môžu úlomky granitov (žúl) pochádzať priamo z Bratislavy alebo z jej blízkeho okolia.

3. 2. Pálené stavebné materiály – tehly

Tehly (**obr. 1**) sú po makroskopickej stránke svetločervenej farby, ojedinele sú v nich pozorovateľné obliaky kremeňa, popripade kremencov a póry oválneho tvaru.

Obrázok č. 3 znázorňuje nízku intenzitu illitových reflexov bez prítomnosti ostatných vrstevnatých silikátov (ílových minerálov). To nasvedčuje o značnej teplotnej úprave. Rovnako aj prítomnosť amorfného materiálu, ktorý sa prejavil zvýšeným pozadím v oblasti od 20 do 32 °2 Theta. Kremeň a kalcit sa do ílovej frakcie dostali pravdepodobne pri drvení tehly na veľmi jemnú frakciu. Reflex illitu v oblasti cca 20 °2 Theta nie je bazálny reflex 001, ale reflex hkl. Jeho prítomnosť poukazuje na zlú prednostnú orientáciu vzorky, čo môže súvisieť s deštrukciou illitu ako vrstevnatého minerálu. Bazálne reflexy sú menej odolné ako všeobecné (Uhlík, 1996). Celkové minerálne zloženie je uvedené v **tabuľke č. 1** a na **obrázku č. 3**.

Obr. 6
Na hornom obrázku je výbrus, kde je šípkou vyznačený nedisociovaný kalcit so svetlým reakčným lemom. Ostatné ostrohranné úlomky sú reprezentované kremeňom. Na spodnom obrázku je dobre pozorovateľná anizotropná, tj. kryštalická matrix (skrížená nikoly).



Tehly pozostávajú z dvoch základných zložiek: z tmeliacej hmoty a hrubozrnnejších častíc (v prípade keramiky označované termínom ostrivo). Hrubozrnnejšie častice vystupujú ako úlomky alebo zrná. Tvar úlomkov je nepravidelný a ostrohranný, zrná sú spravidla zaoblené. V rámci úlomkov alebo zrn prevláda kremeň nad kalcitom, živcami (plagioklasami a draselnými živcami) a vrstevnatými silikátmi (muskovit a biotit). V akcesorickom množstve vystupuje hematit, klastický zirkón a granát. Dôležité je poznamenať, že kalcit vystupuje v podobe zaoblených zrn, čo je znakom sedimentárneho opracovania a je dôkazom, že kalcit je v ílovej surovine primárny. Miestami v rámci klastov vystupujú horniny ako kremence a ílovce.

Tmeliaca hmota – matrix je anizotropná (kryštalická) (Gregorová 1996; Gregorová 2002) (**obr. 6**) a jej mikroštruktúra je všesmerne zrnitá. Oválne póry, ktoré je možné pozorovať aj makroskopicky, vznikali pravdepodobne počas výpalu únikom fluidnej fázy zo suroviny. Miestami sú vo výbruse pozorované aj predĺžené póry nepravidelného tvaru, ktoré mohli vzniknúť zachytávaním vzduchových bublín pri spracovávaní suroviny (Velde-Druc 1999).

Teplota výpalu bola identifikovaná na základe prítomných minerálov a optickej charakteristiky tmeliacej hmoty – matrix. Teplota výpalu bola vymedzená v intervale 750–800 °C. Prítomnosť nedisociovaného kalcitu a reakčných lemov okolo kalcitu (**obr. 6**) zodpovedá teplotám okolo 800 °C, pričom táto teplota nebola prekročená (Dumonico et al. 1998; Riccardi et al. 1999; Cultrone et al. 2001; Ionescu-Ghergari 2002). Tak isto prítomnosť kryštalickej matrix nasvedčuje teplotám okolo 750–800 °C (Bagnasco et al. 2001). Pri teplote väčšej ako 800 °C by prišlo k disociácii kalcitu na CaO a CO₂ a matrix by podľahla izotropizácii. Pre potvrdenie tohto intervalu teplôt boli rrtg práškové difrakčné analýzy porovnané s experimentálnymi rrtg práškovými difrakčnými analýzami (Cultrone et al. 2001).

Tehly boli vypáľované v oxidačnej atmosfére, čoho dôkazom je matrix sfarbená submikroskopickými oxidmi železa do tmavočervena až tmavohneda (Elekes et al. 2001; Gregorová et al. 2002).

Na základe minerálneho zloženia, mikro a makroskopickej charakteristiky použitej suroviny ju môžeme zaradiť medzi typické tehliarske íly a hliny s nízkym obsahom Al_2O_3 (pod 25 %), s veľkým obsahom zlúčenín železa (cez X %) a kalcitu a nižším obsahom ílovej frakcie v porovnaní s keramickým ílom (Konta, 1982). Takáto surovina s obsahom kalcitu je charakteristická pre sprašové sedimenty alebo pre íly morského prostredia.

Vzhľadom na geograficko-geologickú pozíciu Bratislavy a okolia najbližšie morské íly sa vyskytujú v Devínskej Novej Vsi. Sprašové sedimenty boli identifikované v Bratislave v podloží riečnych nánosov rieky Dunaj. Pravdepodobnejší zdroj surovín pre výrobu tehál budú sprašové sedimenty vzhľadom na ich dostupnosť a skutočnosť, že v tehách neboli identifikované mikrofosílie charakteristické pre ílovité sedimenty z Devínskej Novej Vsi.

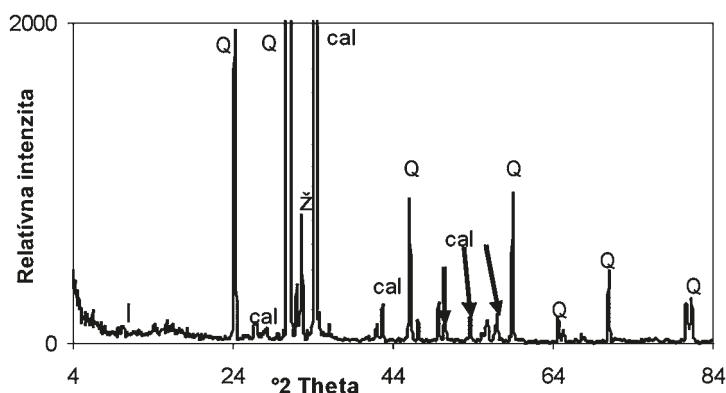
3.3. Malta

Po makroskopickej stránke je malta (**obr. 1**) sivastej farby s dobre pozorovateľným množstvom úlomkov hornín. Malta pozostáva z dvoch hlavných zložiek: pojiva a plniva.

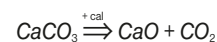
Rovnako ako v predošlých prípadoch minerálne zloženie je uvedené v **tabuľke 1** a na **obrázku č. 7**. Na základe prítomnosti kalcitu môžeme maltu označiť ako vápenatú maltu.

Najdôležitejším pojivom počas celého stredoveku je vápno, ktoré patrí medzi vzdušné pojivá (je schopné tvrdnúť a je trvanlivé na vzduchu; Gregerová 1996).

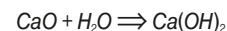
Obr. 7
Rtg – difrakčný záznam orientovaného práškoveho preparátu malty (Co K α 1).
I – illit, Q – kremeň, Cal – kalcit,
Ž – živce



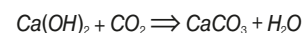
Proces výroby vápna je možné popísať nasledovnými chemickými reakciami (Lach 1979; Gregerová 1996):



Pálením vápenca vzniká oxid vápenatý – pálené vápno a oxid uhličitý, ktorý uniká do vzduchu. Pálené vápno pri styku s vodou sa mení na hydroxid vápenatý – hasené vápno. Táto reakcia prebieha veľmi búrlivo.



Tuhotím haseného vápna nastáva vplyvom straty voľnej vody a účinkom vzdušného CO_2 (proces je označovaný ako karbonizácia) k opätovnej tvorbe kalcitu ($CaCO_3$).



Tab. 1
Minerálne zloženie vybraných stavebných materiálov. Minerálne zloženie bolo identifikované na základe rtg práškovej difrakčnej analýzy a mikroskopického štúdia v polarizovanom svetle.

Minerál	Nabíjanica	Tehla	Malta
kremeň	+	+	+
živce	+	+	+
chlorit	+	-	-
kaolinit	+	-	-
muskovit/illit	+	+	+
biotit	-	+	+
kalcit	-	+	+
hematit	-	+	-

Vápno bolo počas celého stredoveku vyrábané procesom milierovania. Ide o zahĺbené lievnikové pece popri prípade miliere oválneho alebo kvadratického pôdorysu s ťahovými kanálkami. V milieroch bol drvený vápenec striedavo vrstvený s palivom, pričom vápno pripravované v týchto peciach sa vyznačuje vysokým obsahom uhlíkov. V lievnikových peciach alebo murovaných milieroch palivo horelo mimo vypalovací priestor, takže vápno je bez uhlíkov. (Bitterl 1992 in Gregerová 1996)

Vápenec sa páčil periodickým procesom pri pomerne nízkej teplote a jeden výrobný cyklus trval jeden až dva týždne a spotreba paliva bola vysoká.

Keďže analyzovaná malta neobsahuje spomínané uhliky, vápno bolo vyrábaná buď v murovaných milieroch alebo v lievnikových peciach.

Plnivo v prípade analyzovanej vzorky tvorí granitová drť, v ktorej boli pozorované minerály typické pre granity (kremeň, živce, muskovit, biotit) a pieskové zrná. Plnivo slúži pre zlepšenie trvanlivosti a spracovateľnosti malty. Pojivo (vápno) zaručuje plasticnosť, sudržnosť, trvanlivosť a príľnavosť.

Z geograficko-geologického hľadiska mohol byť vápenec, z ktorého bola vyrábaná malta, ťažený v Rohožniku alebo pochádza z oblasti Hainburgských kopcov (Rakúsko). Otázne ostáva, či vápenec bol dovážaný do Bratislavy alebo bol po vyťaženií ihneď spracovaný a do Bratislavy bol dovezený v podobe polotovaru – páleného vápna. Granitová drť, pridávaná do vápna ako plnivo, pochádza priamo z Bratislavy alebo jej blízkeho okolia.

4. Záver

Aplikáciou mineralogických metód na archeologické stavebné materiály sa podarilo získať informácie týkajúce sa vybraných technologických vlastností (pevnosť, trvácnosť a plasticita) a spôsobu výroby niektorých surovín (nabíjanica a vápenatá malta). V prípade pálených stavebných materiálov (tehly) sa podarilo určiť teplotu výpalu (700–800 °C) a oxidačnú atmosféru výpalu. Zo zistených výsledkov vyplýva, že pre výrobu stavebných materiálov boli použité dostupné suroviny priamo z Bratislavy a jej blízkeho okolia.

5. Literatúra

BAGNOSCO, B. M. – CASOLI, A. – CHIARO, G. – CAMPAGNONI, R. – DAVIT, P. – MIRTI, P. 2001

Mineralogical and chemical composition of transport amphorae excavated at Locri Epizephiri (southern Italy). *J. Cult. Heritage* 2, 229–239.

CULTRONE, G. – RODRIGUEZ-NAVARRO, C. – SEBASTIAN, E. – CAZALLA, O. – DE LA TORE, J. M. 2001

Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing. *Eur. J. Mineral.* 13, 621–634.

DUMINOCO, P. – MESSIGA, B. – RICCARDI, P. M. 1998

Firing process of natural clays. Some microtextures and related phase composition. *Thermochimica Acta* 321, 185–190.

ELEKES, Z. – BIRÓ, T. K. – UZONYI, I. – SIMON, A. – KISS, Z. A. 2001

Analysis of prehistoric pottery finds from the Balaton region, Hungary. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 181, 670–674.

GREGEROVÁ M. 1996

Petrografie technických hmot. Masarykova univerzita v Brně, 139.

GREGEROVÁ, M. – FOJT, B. – VÁVRA, V. 2002

Mikroskopie horninotvorných a technických minerálů, 325.

IONESCU, C. –

GHERGARI, L. 2002

Modeling and firing technology – reflected in the textural features and the mineralogy of the ceramics from neolithic sites in Transylvania (Romania). *Geologica Carpathica* 53, special issue.

KONTA, J. 1982

Keramické a sklářské suroviny. Univerzita Karlova Praha, 364 s.

RICCARDI, P. M. – MESSIGA B. – DUMONICO, P. 1999

An approach to the dynamics of clay firing. *Applied Clay Science* 15, 393–409.

ŠUCHA, V. 2001

Íly v geologických procesoch. *Acta Geologica Universitatis Comenianae, Monografická séria*, 159 s.

UHLÍK, P. 1996

Distribúcia pyrofylitu na ložisku Šobov a porovnanie jeho vlastností s pyrofylitom z Vigľašskej Huty. Diplomová práca, archiv KLG PRIF UK Bratislava, 63 s.

VELDE, B. – DRUC, C. I. 1999

Archeological Ceramic Materials. Springer Verlag Berlin Heidelberg.

Building materials from studied object (Ventúrska street 11–13, Bratislava, Slovakia)

Building materials from studied object (Ventúrska street 11–13, Bratislava, Slovakia) were divided in two basic groups: building ceramic and air setting mortar. Building ceramic was further divided in fired and unfired building ceramic. Main mineralogical and petrographical aspects were studied with regard to possible technology and determination of raw material provenance.

Cob bricks (unfired building ceramic) consist from clay minerals (illite, kaolinite, chlorite), fragments of quartz and feldspars, quartzite pebbles, graphitic ceramic sherds and straw remains. All these components were added to clay material to improve technological aspects of cob bricks like its rigidity and resistance.

Bricks (fired building ceramic) consist from two important phases: cement paste (matrix) and filler agent (mineral and rock fragments or grains). Initially cement paste consisted from clay minerals. Due to high thermal treatment it is not possible to estimate what kind of clay minerals were present in the raw material. Mineral fragments and grains consist from quartz, feldspars (plagioclase and potassium feldspars), calcite, micas (biotite and muscovite) and hematite. Rock fragments consist mainly from quartzites. According to mineral changes observed in thin section and also on powder x-ray diffraction analysis, bricks were fired at 750–800 °C and the firing atmosphere was oxidizing.

Mortar (air setting mortar) also consist from two important phases: binding material and filler agent. In general mortar is composed from quartz, feldspars, micas (biotite and muscovite) and calcite. According to this composition the binding material consists from lime and the filler agent consists from fragments or grains of minerals and rocks. Through the Middle Ages the lime was manufactured from pure limestones. Limestones were burned together with wood in special ellipsoid or funnel – shaped kilns. Such lime should have lots of charcoal fragments. There were not determined such fragments in studied samples. This could be due to more sophisticated kiln construction where fuel and limestone are separated. As a filler agent was used crushed granite and sand.

The raw material for cob bricks comes from flood plains sediments (clay material) of Danube River. Quartzite pebbles come from gravel sediments of Danube River. The clay material for bricks probably comes from loess sediments which are found in the nearest surrounding of Bratislava. Filler agent comes probably from sand sediments of Danube River. From geographical point of view the limestone for lime production was probably excavated in Hainburg hills (Austria) or it comes from Bratislava's surrounding. But due to high thermal treatment it is not possible precise determination of the limestone provenance. Filler agent (crushed granite) comes directly from Bratislava.

Bildbeschreibungen

Abb. 1

Übersicht von Baumaterialien aus dem Objekt in der Ventúrska-Straße 11–13 in Bratislava. A. Lehm-Stampf-Masse mit sichtbaren Quarzitrollsteinen; B. Ziegel; C. Mörtel; D. Fragmente von Graphittonkeramik, die aus Lehm-Stampf-Masse gewonnen wurden.

Abb. 2

Röntgen-Diffraktionsaufnahme des orientierten Pulverpräparats der Tonfraktion der Lehm-Stampf-Masse (Cu K α 1). I – Illit, K – Kaolinit, Ch – Chlorit, Q – Quarz, F – Feldspat.

Abb. 3

Röntgen-Diffraktionsaufnahme des orientierten Pulverpräparats der Tonfraktion der Ziegel (Cu K α 1). I – Illit, Q – Quarz, Cal – Kalzit.

Abb. 4

Verhältnis zwischen Teilchen verschiedener Formen und deren Umfang und Oberfläche. Der Umfang der Teilchen ist gleich, aber die größte Oberfläche kommt gerade bei tafelförmigen Teilchen vor. Durch diese Form zeichnen sich gerade Tonminerale aus (Velde & Bruc, 1999).

Abb. 5

Schematische Darstellung der Orientierung von Tonmineralen gegenüber der wirkenden Kraft. Lose, unregelmäßig orientierte Tonteilchen sind für Systeme ohne jedwede wirkende Kraft typisch. Die Orientierung der Teilchen beginnt während der Sedimentation (Ablagerung) unter dem Einfluß der Gravitation. Die vollständige Orientierung erfolgt bei einer stark wirkenden Kraft, was für die vom Handwerker bearbeitete Tonmasse typisch ist (Velde – Druc 1999).

Abb. 6

Oben: die Darstellung des Dünnschliffs, wo mit einem Pfeil der nicht-dissoziierte Kalzit mit hellem Reaktionssaum bezeichnet ist. Andere scharfkantige Bruchstücke sind Quarz. Rechts die Matrix (in gekreuzten Nikols), die anisotrop, d.h. kristallisch ist.

Abb. 7

Röntgen-Diffraktionsaufnahme des orientierten Pulverpräparats des Mörtels (Co K α 1). I – Illit, Q – Quarz, Cal – Kalzit, F – Feldspat.

Abb. 8

Mineralzusammensetzung ausgewählter Baumaterialie. Die Mineralzusammensetzung wurde anhand der Röntgen-Diffraktionsanalyse und der mikroskopischen Untersuchung im polarisierten Licht identifiziert.