



národní  
úložiště  
šedé  
literatury

## **Materiálové složení dlažby v poutním kostele sv. Jana Nepomuckého na Zelené hoře**

Válek, Jan  
2018

Dostupný z <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-508582>

Dílo je chráněno podle autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Tento dokument byl stažen z Národního úložiště šedé literatury (NUŠL).

Datum stažení: 20.06.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní [nusl.cz](http://nusl.cz) .

## Materiálové složení dlažby v poutním kostele sv. Jana Nepomuckého na Zelené hoře



Autoři: Jan Válek, Olga Skružná

Spolupráce: Petr Kozlovcev, Alberto Viani, Dita Frankeová, Nigar Shaikh

ÚTAM, Praha červenec 2018

## Cíl průzkumu

**Cílem průzkumu bylo ověření materiálového složení dlažby a zhodnocení dalšího možného postupu při návrhu a výrobě replik vycházejících z původně použitých materiálů a výrobních technologií.**

Jednalo se o výchozí průzkum s omezeným počtem vzorků, které byly odebrány zejména s ohledem na minimální zásah do původní konstrukce, tj. byly zkoumány pouze dříve oddělené fragmenty již poničených dlaždic, z nichž některé mohly být v i druhotném uložení. Jejich reprezentativnost s ohledem na originální provedení dlažby nebyla v této fázi předmětem průzkumu.

Průzkum se zaměřil na dlažbu složenou z pětibokých dlaždic a diamantů, která pokrývá zejména okrajové části hlavní lodi, síní a kaplí v přízemí kostela.

## Odkazy na předcházející průzkumy a literaturu

Dlažba kostela byla v relativně nedávné době podrobena detailnímu stavebně-historickému i technologickému průzkumu, který souvisel s opravami ochozů v letech 2001 až 2003 (souhrnně: *Chudárek 2009*). Technologická část průzkumu restaurátorské zprávy uvádí, že dlaždice ze *spodního ochozu kostela* nebyly zhotoveny z pálené hlíny, ale minerální směsi obsahující písek místního původu (*Kryl 2002*). Pojivo nebylo přesně identifikováno, jako jedna z možných variant bylo uvedeno vodní sklo. Obdobně i zpráva z průzkumu dlažby s černou povrchovou úpravou ze spodního ochozu neidentifikuje materiál dlažby jako pálenou keramiku, nicméně konstatuje, že její chemické složení je obdobné jako u dříve analyzované keramické dlaždice (*Slížková 2002*). Obdobné úlomky dlažby byly analyzovány na pracovištích Akademie věd – Ústavu struktury a mechaniky hornin, kde bylo konstatováno, že se jedná o umělou horninu složenou ze stejné směsi lišící se ale technologickým postupem přípravy dle výsledné barevnosti (*Šťastný 2002*); a dále na Ústavu teoretické a aplikované mechaniky, kde byly provedeny mechanické zkoušky. Uvedené zprávy vždy sledují určitý jev a nelze z nich vyvozovat komplexní závěry platné pro různou dlažbu použitou v kostele. Nicméně zprávy se vesměs shodují ohledně místní provenience klastické složky (metamorfovaného písku - ruly) i organickém původu černého zbarvení dlažby. V případě hodnocení více vzorků se víceméně shodují na jejich obdobném složení.

Pro další opravy je zásadní otázka rozlišení dlažby jako výrobku z umělého kamene, tedy kameniva a pojiva tvrdnoucího víceméně za studena nebo jako výroku z pálené cihlářské hlíny. K tomuto druhému tvrzení se naprosto jednoznačně přiklání zpráva J. Šrámka (2002), kde je konstatováno, že se jedná o keramickou cihlovou dlažbu vyrobenou z místní spráše („jílovito-prachovité hlíny v možné kombinaci s omezenou přísadou železitých strusek, odprašků a písku z žulo-rulového aluvia“). V tomto případě ale není zřejmé, zda se jedná o stejný či odlišný typ dlažby, jako byl analyzován na jiných pracovištích. Dle zprávy se ale jedná o úlomek pocházející z originální dlažby.

## Dlažba v poutním kostele sv. Jana Nepomuckého na Zelené hoře

Průzkum byl proveden na několika vzorcích odebraných z červených a z černých dlaždic vstupního podlaží kostela. (Některé dlaždice označené jako červené měly pravděpodobně původně žlutou povrchovou úpravu – tento fakt nebyl při odběru vzorků známý.)

Při označování dále vycházíme z barevností rekonstrukce od Z. Chudárka (2008) kdy se v hlavní lodi směrem od středu střídají pětiboké dlaždice **černá-žlutá-červená**. Z jejich cípů vždy směrem od středu vychází diamantová (kosočtvercová) dlaždice stejné barvy, tj. z černé vychází černý diamant atd. Tato rekonstruovaná idealizovaná barevnost je uváděna v uvozovkách. Bez uvozovek je uváděna skutečná barva vzorku v rozptýleném světle popř. podle pozorovací metody. Relativně spolehlivě jsou makroskopicky identifikovatelné pouze „černé“ dlaždice, které mají většinou šedý odstín a černou povrchovou úpravu.

### Seznam analyzovaných vzorků



**DJN 1** Úlomek dlažby. Lokalizace neznámá. Cihlově červená barva. Úlomek 2 x 2,5 x 2 cm.



**DJN 2** Úlomek dlažby. Lokalizace neznámá. „Černá“ dlaždice, okrová-šedá s černou povrchovou úpravou se zbytky ložné malty. Úlomek 3 x 4 x 3,7 cm. Výška dlaždice 3,7 cm.



**DJN 3** Úlomek dlažby. Prostor vstupu 2 - vpravo od oltáře. „Černá“ dlaždice, okrová-šedá s černou povrchovou úpravou. Nepravidelný úlomek 1 x 1 x 1 cm.



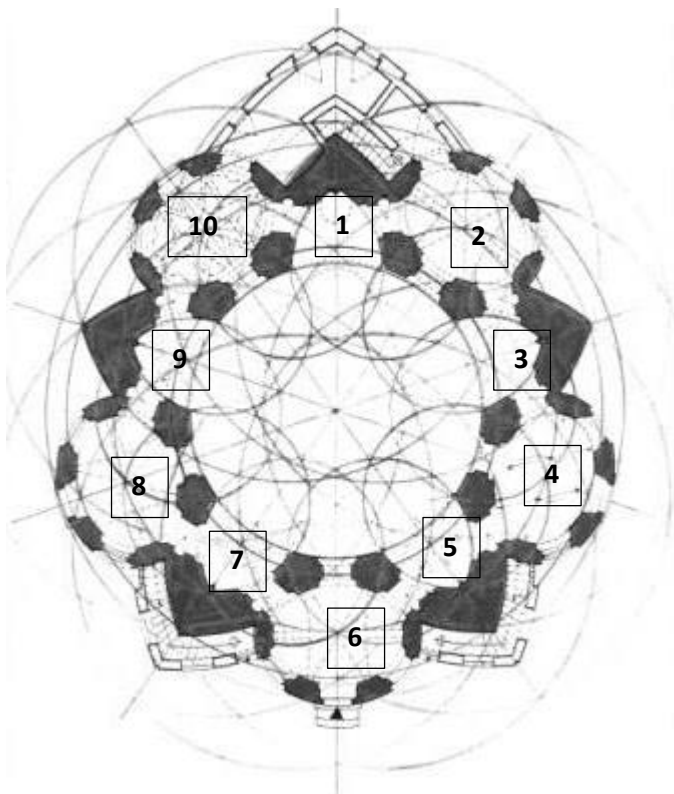
**DJN 4** Úlomek dlažby. Prostor vstupu 2 - vpravo od oltáře. „Červená“ dlaždice, cihlově červená barva. Nepravidelný úlomek 3 x 2 x 2 cm.



**DJN 5** Úlomek dlažby. Lokalizace neznámá (umístěna volně pod lavicemi vpravo – přístup zezadu). Cihlově červená barva přecházející ve středu do šedo-béžové. Úlomek 14 x 6 x 3,5 cm včetně skosených okrajů a zbytků ložné malty. Výška dlaždice 3,7 cm.



**DJN 6** Úlomek dlažby. Lokalizace neznámá (umístěna volně pod lavicemi vlevo – přístup zezadu). Cihlově červená barva, úlomek 4 x 3 x 3 cm. Úlomek má pravoúhlé hrany. Výška dlaždice 3 cm.



Obr. 1 Označení bočních síní a kaplí. Číslováno od východně orientovaného oltáře.

## Provedené analýzy

### ***Optická mikroskopie***

Pro studium pod optickým polarizačním mikroskopem byly zhotoveny nezakryté leštěné výbrusy, které byly připraveny standardním postupem. Vzorek se zpevnil napuštěním epoxidovou pryskyřicí, přilepil na sklíčko a poté vybrousil a vyleštil na tloušťku kolem 30–40  $\mu\text{m}$ . Druhá polovina vzorku byla zanechána pro archivaci. Pro analýzu se použil polarizační mikroskop Olympus BX53M. Snímky se analyzovaly v softwaru Olympus Stream Essential. Vzorek byl pozorován v procházejícím polarizovaným světlem s rovnoběžnými (PPL) a zkříženými nikoly (CPL), případně s využitím odraženého (RL) a šikmého (IL) světla.

### ***Rentgenová difrakce***

Před analýzou byl vzorek jemně podrcen, rozetřen a homogenizován s vnitřním standardem ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  NIST 676a), který byl přidán v množství 10% celkové hmotnosti vzorku. K analýze se použil spektrometr D8 Bruker s měděnou anodou s nastavením 40 mA a 40 kV. Úhlový rozsah činil 5–80° při kroku 0,01° 2 a rychlosti 0,04 s/krok. Kvantifikace fází ve vzorcích se uskutečnila ve dvou krocích. Nejprve byly určeny jednotlivé krystalické fáze (kvalitativní analýza) porovnáním vrcholů získaného difrakčního obrazu se standardy v databázi. Při druhém kroku byla provedena kvantifikace pomocí počítačového programu, který generoval difrakční obraz pro každou fázi zvlášť a iteračním procesem

měnil jejich výskyt tak, aby rozdíl mezi zkušebně určeným obrazem a obrazem generovaným počítačem byl minimální (Rietveldova metoda).

#### ***Rentgenová fluorescenční analýza***

Rozetřené práškové vzorky byly vylisovány do tablet o tloušťce 5 mm a průměru 40 mm společně s kyselinou boritou, k přípravě nebylo použito pojivo.

#### ***Termická analýza***

Termická analýza vzorků byla provedena na přístroji SDT Q600 firmy TA v rozmezí teplot 25-1000°C. Přístroj umožňuje simultánní záznam signálu TG (úbytek hmotnosti), DTG (derivace úbytku hmotnosti) a DSC (tepelný tok) během ohřevu vzorku. Na analýzu bylo navažováno 20–30 mg rozetřeného vzorku do platinových kelímků, spalování probíhalo ve vzduchové atmosféře rychlostí ohřevu 20°C za min.

## Výsledky materiálového průzkumu

Výsledky průzkumu a analýz jsou zde uvedeny ve stručné formě pouze ve vztahu k hlavním cílům, tj.

- ověření materiálového složení dlažby
- vyjádření se k možnému postupu při návrhu replik vycházejícího z původně použitých materiálu a výrobních technologií.

### **Průzkum dlažby kostela**

- Pětiboká dlažba s diamanty se jako konstrukce jeví poměrně jednotně a patrně pochází ze stejného období.
- Dlažba byla v minulosti různě udržována, opravována a doplňována. Lokálně jsou zřetelné odlišné dlaždice (většinou odlišitelné narůžovělým odstínem a relativně stejnoměrnou barvou a strukturou povrchu) které mohly být vyrobeny jako umělý kámen, tedy směsí vápeno-cementového pojiva, kameniva a pigmentů.
- Místy jsou viditelné rozdíly ve struktuře, barevnosti a i trvanlivosti materiálu.
- „Černé“ dlaždice jsou až na výjimky rozpoznatelné svým šedým odstínem. Místy se dochovala i černá povrchová úprava, zejména u dlaždic přiléhajících ke zdem.
- „Žluté“ i „červené“ dlaždice se vyskytují ve více barevných variantách a jejich rozlišení na základě barvy úlomku není možné. Případná povrchová úprava je dochována pouze výjimečně a takovém stavu, že ji makroskopicky není možné spolehlivě určit.
- Barevné odstíny jsou i v rámci jedné dlaždice různé a většinou mají plynulé přechody bez ostrého rozhraní.
- Hmota dlaždic se jeví jako relativně homogenní a jemnozrnná. Mechanické opotřebení místy zvýrazňuje tvrdší klasty hornin, které mají lokálně velikost až 1–2 cm. Podobně jsou zvýrazněné i různé větší imperfekce (větší póry, dutiny a trhliny). Podle těchto jevů lze usuzovat na různou přirozenou variabilitu použitého materiálu.
- Hloubka degradace je proměnlivá, úbytek materiálu je odhadem v průměru kolem 3-10 mm.
- Pětiboké a diamantové dlaždice mají skosené strany, což umožňuje vizuálně užší spárování při jejich kladení na sraz. Způsob uložení by případně mohl být vodítkem při zjišťování původnosti umístění dlaždice.



Obr. 2 Směrem od středu se střídají „černá“, „žlutá“ a „červená“ pětiboká dlaždice, což je dobře viditelné v pravém dolním rohu fotografie, ale směrem k oltáři jsou barvy „žlutých“ a „červených“ dlaždic zaměnitelné. Dlažba prostoru u oltáře 3.



Obr. 3 Okrajové části, kde se dochovaly povrchové úpravy naznačující možné barevné provedení „černé“, „červené“ a „žluté“ dlažby.

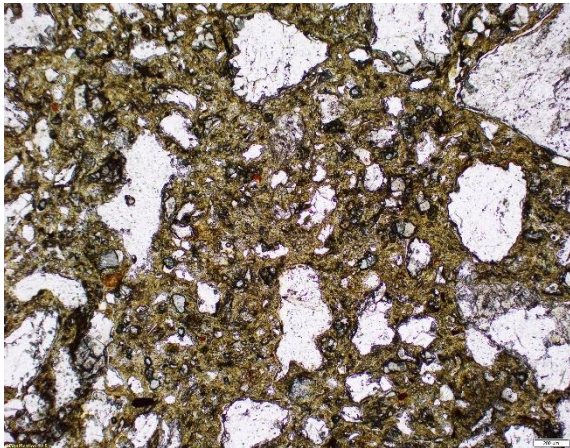


### ***Makroskopický popis vzorků***

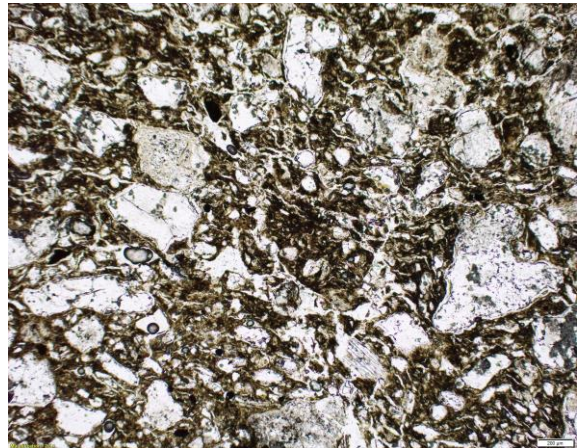
- Analyzované vzorky jsou tvořeny pevnou kompaktní hmotou s viditelnou sítí pórů do velikosti 1 mm, která se jeví jako výrazně orientovaná. Výjimečně se vyskytují větší dutinky, někdy zploštělé, o velikosti (1–3 mm).
- Ve hmotě jsou rozptýlené drobné klasty kameniva, převážně světlého křemene a narůžovělého živce.
- Vzorek „černé“ dlaždice DJN 2 je uvnitř šedý, na povrchu černý. Šedá barva přechází v příčném řezu dlaždicí od světlé okrajové do tmavší šedo-béžové, která převažuje uvnitř hmoty.
- Vzorek dlaždice DJN 5 je uvnitř světle šedý až šedo-béžový (srovnatelný s jádrem vzorku DJN 2), na povrchu je však světle červený.
- Vzorek DJN 6 má výšku dlaždice 3 cm a patrně nemá skosené styčné strany, oproti vzorkům DJN 2 a 5 které mají výšku 3,7 cm a mají skosení hran.
- Povrchová úprava je u vzorku „černé“ dlaždice (DJN 2) na všech vnějších plochách, tedy i na styčných hranách a spodku dlaždice. Ostatní vzorky patrně „červených“ dlaždic povrchovou úpravu nemají viditelnou.
- Na úlomcích jsou z bočních a spodní strany viditelné různé otisky spojené s formováním dlaždice.

### ***Optická mikroskopie***

- Na výbrusech vzorků lze pozorovat základní hmotu, ve které jsou rozptýlené převážně drobné klasty plniva (převažují křemen a K-živce). Klasty jsou většinou mírně zaoblené až ostrohranné, často rozrušené přítomnými trhlinami a prasklinami. Kromě zrn křemene a draselných živců se ve výrazně menším zastoupení vyskytují protáhlé klasty muskovitu a drobná zrnka albitu (Na-živce). Klasty (i velmi jemnozrnné) jsou se základní hmotou velmi dobře promíchány.
- Základní hmota vyplňuje mezizrnový prostor mezi klasty plniva. Jedná se o velmi jemnozrnný materiál, v němž je obtížné rozlišit bližší mineralogické složení. Typická je síť mikrotrhlin a přítomnost orientovaných protáhlých pórů, které mají zřejmě souvislost s hutněním hmoty do formy.
- V procházejícím polarizovaném světle je u vzorků červených dlaždic základní hmota zabarvena do hnědé, u šedých dlaždic je tmavě šedá s nádechem do hněda. Ve zkřížených nikolech jsou u červených dlaždic viditelné okrové a žluté interferenční barvy patrně jílových minerálů, které v omezenější míře prosvítají i u šedo-černých dlaždic (DJN 2).
- Přejít mezi povrchovou černou vrstvou a šedou hmotou dlaždice (DJN 2) je postupný, nelze rozeznat přesnou hranici (nejedná o dvě různé hmoty).



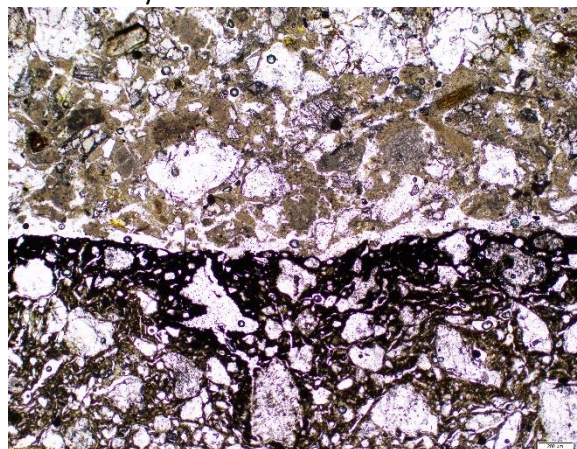
**a** Vzorek DJN 1, červená dlaždice, procházející světlo.



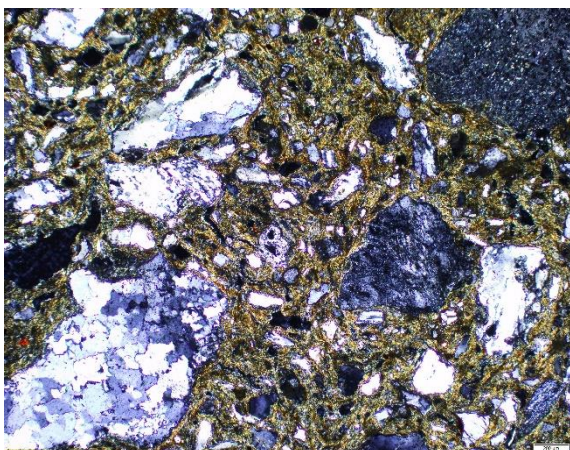
**b** Vzorek DJN 2, černá dlaždice, procházející světlo. Na snímku jsou zřetelné četné mikrotrhliny.



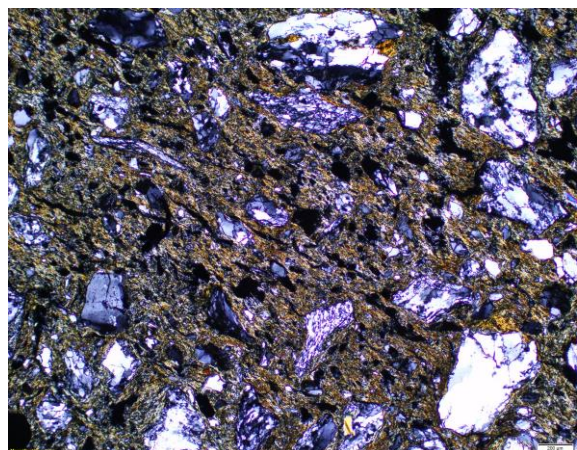
**c** Přechod mezi černou povrchovou úpravou a vnitřní šedou hmotou. Nábrus vzorku DJN 2.



**d** Kontakt malty a dlažby a přechod mezi povrchovou vrstvou černé dlaždice. DJN 2. Procházející světlo.



**e** Vzorek DJN1, červená dlaždice v polarizovaném světle se zkříženými nikoly.



**f** Vzorek DJN5, červená dlaždice v polarizovaném světle se zkříženými nikoly.

Obr. 4 Mikrofotografie vzorků – zorné pole po delší straně zobrazuje 3,4 mm.

## Rentgenová difrakce

- Nejvyšší zastoupení ve všech analyzovaných vzorcích má křemen.
- Amorfni fáze je vyčíslená na 34–57 hm.%.
- Kaolinit je přítomný v malém množství ve vzorcích DJN 1 a DJN 4, v ostatních vzorcích nebyl detekován. Kaolinit přechází na nestabilní amorfni metakaolin při teplotě 530–590°C (Földvári 2011), ve směsi s ostatními minerály může být tato teplota i nižší. Vzorky DJN 1 a 4 mají zároveň nejnižší obsah amorfni fáze.
- Z živců je v nejvyšší míře zastoupen mikroklin. K eutektickému tání živců a křemene dochází přibližně při teplotě 990°C, této teploty zřejmě nebylo při výpalu dosaženo.
- Ve vzorcích DJN 2 a 5 bylo zastíženo malé množství kalcitu. Kalcit může pocházet ze suroviny, ale spíše se jedná o jeho sekundární přenesení z pojiva malty.
- Ve všech vzorcích byl nalezen muskovit, k jehož dehydroxylaci dochází v teplotním rozmezí 820–920°C (Földvári 2011).
- Ve vzorcích nebyl detekován hematit (oxid železitý), který se formuje za vyšších teplot během výpalu z fylosilikátů obsahujících železo (Viani 2016).
- Mezi červenými a černými dlaždicemi není z výsledků RTG analýzy viditelný výrazný rozdíl, *Tab 1*.
- Výsledky se shodují se zprávami z roku 2002. Šťastný a Šrein uvádí jako nejčastější minerály křemen, K živec, plagioklas (Na a Ca živce), slídy a kalcit. Slížková uvádí kromě křemene a mikroklinu také illit, který nebyl v těchto vzorcích nalezen.
- V bezprostředním okolí kostela a kláštera byly v 18. století funkční cihelny. Mineralogické složení povrchových vzorků ukazuje obdobné složení mezi sebou i se vzorky dlažby. Jedná se o typické relativně chudé jílovito–prachové hlíny metamorfovaných oblastí s vyšším obsahem zbytkového křemene, živců a muskovitů, *Tab 2*. Nižší poměr jílovité složky je patrně způsoben povrchovým odběrem vzorků. Nižší podíl amorfni fází ve vypálených vzorcích odpovídá i nižšímu poměru jílových složek.

**Tab. 1** Kvantifikace mineralogického složení zkoumaných vzorků

Barva vzorku	červená	černá	černá	červená	červená	červená
	DJN 1	DJN 2	DJN 3	DJN 4	DJN 5	DJN 6
Křemen SiO <sub>2</sub>	47,1	30,9	47,9	50,0	40,0	46,0
Kalcit CaCO <sub>3</sub>		0,2			1,0	
Draselné živce (mikroklin) KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	3,5	9,4	7,2	5,2	5,4	3,1
Sodné živce (albit) NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>		1,9	1,6	0,7	2,1	
Vápenaté živce CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	0,4		1,4	0,4	1,5	
Muskovit-2M1 KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub>	3,7	0,7	1,4	1,8	4,6	4,3
Kaolinit Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	4,5			7,6		
Amorfni fáze	38,9	56,8	39,1	34,4	45,4	47,5

**Tab. 2** Mineralogické složení vzorků jílu (surovina před a po výpalu na 850°C) z různých míst ve vzdálenosti do 4 km od kostela.

	01_06	01_03	02_06	02_03	03_06	03_03	04_06	04_03
	Sur.	850°C	Sur.	850°C	Sur.	850°C	Sur.	850°C
Křemen	64,0	56,2	54,6	42,3	64,2	62,9	62,9	52,1
Sodné živce (albit)	6,0	2,1	9,5	6,7	8,4	3,2	7,5	4,7
Vápenaté živce	2,3	9,4	9,4	3,1	2,1	6,7	1,6	1,7

Draselné živce (mikroklin)	9,1	6,5	7,5	4,6	8,1	8,1	12,4	9,2
Muskovit	3,5	1,9	6,9	-	5,7	2	4,4	2,1
Kaolinit	5,3	-	4,1	-	4,3	-	4,9	-
Chlorit	1,7	-	0,3	-	1,1	-	1,2	0,6
Flogopit	-	2,8	-	25,8	-	4,2		3,7
Vermikulit	6,0	-	4,4	-	4,3	-	3,4	-
Amfibolit	1,6	1,5	1,9	-	0,9	0,7	0,9	-
Pargasit	0,5	1,9	1,4	1,1	1,0	-	1,0	1
Amorfní fáze	n. d.	18,2	n. d.	15,6	n. d.	12,3	n. d.	25

- neobsahuje popř. méně než detekční limit, n.d. - neměřeno

### Rentgenová fluorescenční analýza

- Chemické složení se shoduje s dříve provedenými analýzami, *Tab 3*.
- Je podobné spraším nebo sprašovým hlínám, které se využívají v cihlářské výrobě

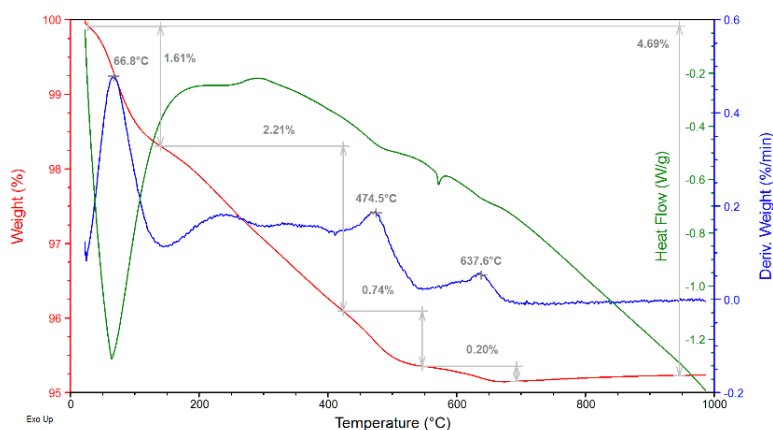
**Tab. 3** Chemické složení vzorku DJN 2 ve srovnání s analýzami dlaždic z ochozů kostela.

Vzorek	DJN 2B	Dlaždice	Povrch	Střed
Metoda	XRF	XRF	SEM-EDS	SEM-EDS
Publikováno		Šrámek 2002	Slížková 2002	Slížková 2002
Na <sub>2</sub> O	0,028	1,79	0,8	0,9
MgO	2,06	1,20	2,7	0,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,816	16,43	27,9	22,5
SiO <sub>2</sub>	61,701	66,44	52,4	64,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,012	-	-	-
SO <sub>3</sub>	0,234	0,23	0,3	0,2
Cl	0,053	-	-	-
K <sub>2</sub> O	3,617	3,34	1,7	4,4
CaO	2,561	1,38	7,2	0,5
TiO <sub>2</sub>	0,78	0,99	1,1	1,0
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,009	-	-	-
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,026	-	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (sum)	5,084	7,77	5,8	6,2
ZnO	0,015	-	-	-
SrO	0,003	-	-	-

### Termická analýza

- Průběh TG křivky tepelného rozkladu obecně odpovídá ztrátě chemicky vázané vody, která u vzorku DJN 2 činí (v rozmezí 125–1000°C) 3,2 hm. %. Ztráta fyzikálně vázané vody je 1,6 hm. %. Endotermní pík 573°C značí patrně teplotní modifikaci křemene (ve vzorku DJN 2 nebyl kaolinit určen pomocí XRD a není zde současně výrazná ztráta hmotnosti). Muskovit dehydroxyluje při teplotách od 820 do 920°C, ale při nadrcení ztrácí vodu již od 50°C (Földvári 2011).
- Podstatný podíl úbytku hmotnosti lze přisoudit složce amorfního podílu, který ve vzorku DJN 2 činí skoro 57 hm. %.

Sample: DJN 2B dlaždice Zelená hora



## Závěr

### Materiál

Z makroskopického průzkumu, provedených analýz a dalších nepřímých zjištění lze konstatovat, že dlažba vznikla výpalem cihlářské hlíny místního původu.

- Dlaždice jsou nerovnoměrně zbarveny v odstínech od cihlově červené, přes žluto-okrovou až po šedou. Barevné přechody jsou pozvolné, což odpovídá procesu výpalu při nerovnoměrných podmínkách (teplota, oxidačně-redukční atmosféra). Uměle vytvářené dlaždice jsou naopak z jedné, dobře rozmíchané směsi, u které se podobné heterogenity záměrně nevyskytují.
- V době stavby kostela byla z anorganických pojiv, která by připadala v úvahu pro výrobu umělých dlaždic, známa a rozšířena přirozeně hydraulická vápna a vysokoteplotně pálená sádra. Obojí obsahuje vápník, který není v dlaždicích přítomný. Použití vodního skla naopak z této doby pro takovouto aplikaci obecně známo není.
- Zkoumané vzorky dlaždic vykazují obdobné mineralogické složení bez ohledu na jejich barevnost. Toto složení zároveň odpovídá páleným jílovito-prachovým hlínám místního původu. Ty mohou přímo obsahovat i eluvia místních metamorfních hornin – převážně křemene, živců a slíd, případně mohla být tato složka přidávána jako ostřivo. Obsah ostřiva lze odhadnout na 10-20 %.
- Dlaždice byly pravděpodobně vyrobeny výpalem suroviny, která pocházela z místní lokality. Jejich barevná odlišnost byla způsobena podmínkami výpalu. Záměrně mohla být výsledná barevnost sjednocena dodatečnou povrchovou úpravou.

### Výrobní technologie

- Šedé zbarvení „černých“ dlaždic lze dosáhnout výpalem v tzv. redukční atmosféře, kdy je omezen přístup kyslíku a naopak zvýšená koncentrace uhlíku. Naopak přítomnost kyslíku zbarvuje hmotu do typické cihlově červené.
- Absence znaků slinutí, přítomnost muskovitu a naopak nepřítomnost mullitu ukazují na teploty výpalu do 900°C. Přítomnost kaolinitu ve dvou vzorcích zároveň ukazuje na poměrně nehomogenní teplotní podmínky výpalu. To odpovídá v té době používaným technologiím výpalu a cihlářským pecím.

- Technologie jednotlivých povrchových úprav nebyly předmětem výzkumu, ale typově se zdají být odlišné. Černá vrstva mohla vzniknout již během výpalu. To naznačuje i fakt, že je dlaždice zabarvena do černé ze všech stran. Hranice přechodu mezi černou a vnitřní šedou je pozvolná. Červená a žlutá prozatím nebyly zkoumány, ale patrně byly nanесeny pouze na pochozí straně dlaždice.

## Možnosti replikace původní technologie

Z provedeného průzkumu vyplývá možnost replikace původní technologie. Zásadním a prvořadým úkolem je přesnější určení původních materiálů a technologií. Bez objektivně podložených znalostí původních materiálů a výrobních technologií, včetně stavebních, není možné podlahu věrohodně restaurovat.

Další návazné práce by se měly zabývat:

- A Důkladným poznáním současného stavu
  - o Materiál a technologie výpalu, včetně povrchových úprav
  - o Provenience místních surovin
  - o Orientační určení fyzikálních a mechanických parametrů (kompatibilita s originálem)
- B Výrobou prototypu – ověřovací studii proveditelnosti
  - o Určení vhodné a dostupné cihlářské suroviny
  - o Experimentální ověření výrobních postupů včetně povrchových úprav
  - o Zhodnocení funkčních vlastností
- C Stanovení parametrů pro malosériovou výrobu a kontrolu kvality

## Odkazy na literaturu a reference

Chudárek, Z. Obnova dlažby kostela v letech 2001 až 2003. Kostel sv. Jana Nepomuckého na Zelené hoře. NPÚ UOP v Telči, Telč, 2009.

Kryl, K. Technologický průzkum vzorků dlažby. Restaurátorská zpráva Adamec V. a Pokorný M. Restaurování dlažeb 1. a 2. ochozu areálu poutního kostela sv. Jana Nepomuckého na Zelené hoře ve Žďáru nad Sázavou, 2002.

Slížková Z. Poutní kostel sv. Jana Nepomuckého na Zelené Hoře, Žďár nad Sázavou. Technologický průzkum dlažby spodního ochozu. AQUA obnova staveb. Praha 2002.

Šťastný M., Šrein, V. Výzkum fragmentů ze Zelené Hory. Výzkumná zpráva. ÚSMH, 2002.

Šrámek, J. Poutní kostel sv. Jana Nepomuckého na Zelené hoře. Keramická cihlová dlažba. Výzkumná zpráva, 2002.

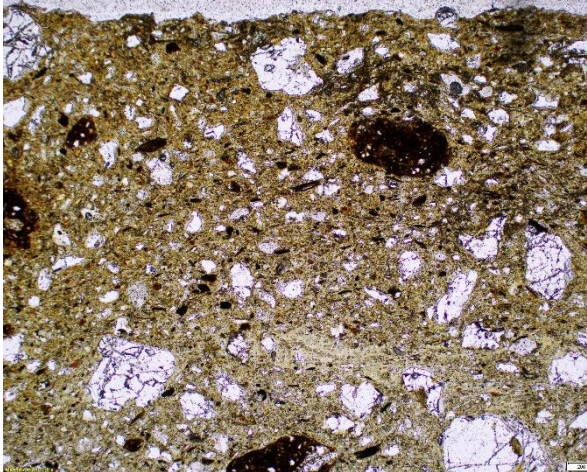
Földvári, M. Handbook of thermogravimetric systems of minerals and its use in geological practice. The Geological Institute of Hungary. Budapešť 2011.

Viani, A. et al. Assessment of firing conditions in old fired-clay bricks: The contribution of X-ray powder diffraction with the Rietveld method and small angle neutron scattering. Materials Characterization 116, 2016, p. 33–34.

## Příloha

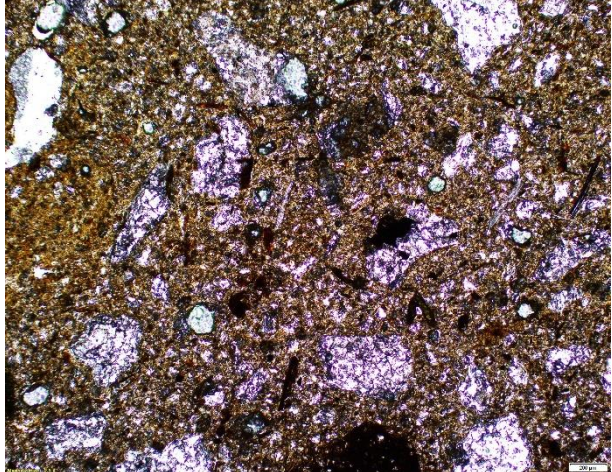
Porovnání mikrostruktury vzorků 2-4 a 4-4 místních jílovitých hlín vypálených na 950°C a vzorků DJN1 a DJN5 dlažby kostela. Mikrotrhliny v některých vzorcích dlažby jsou patrně dány složením. Obdobné složení se vyskytuje i ve vzorku místní hlíny 2-4.

Originální dlažba

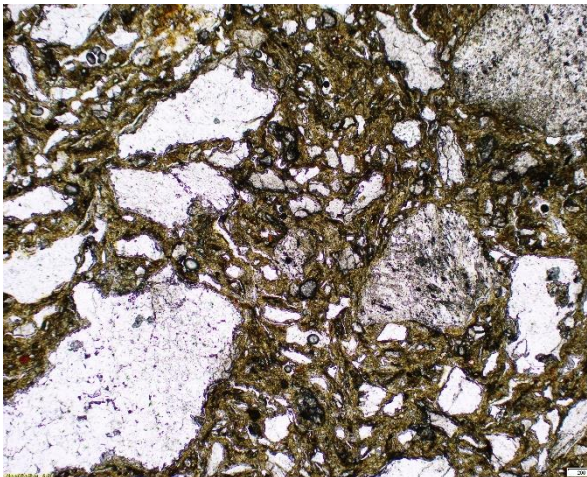


DJN5 PPL

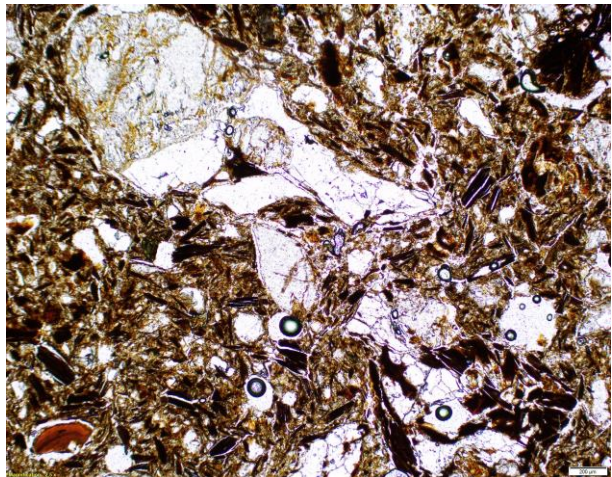
Místní surovina vypálená při 950°C



4-4 950°C PPL



DJN1 PPL



2-4 950°C PPL