

Studie podmínek výroby reliefních ploch pozdně středověkých kachlů

M. MIKŠÍK-V. HANYKÝŘ-Z. HAZLBAUER

Ú v o d

Na několika konkrétních případech kachlů z 15. a 16. století bylo prokázáno, že v průběhu technologického výrobního postupu, spočívajícího ve formování, sušení a vypalování reliefní plochy kachle dochází k smršťování keramického materiálu a tím k celkovému zmenšení jeho čelní vyhřívací stěny (ČVS) (Hazlbauer, 1985). Tento jev byl pozorován jednak na dvou odpovídajících dvojicích kadlub \times kachel, pocházejících z 1. čtvrtiny 15. stol. a získaných výzkumem zaniklého Sezimova Ústí, prováděném M. Richtrem (1978), jednak na dalších dvou případech raně renesančních kachlů z různých míst v Čechách, kde vždy jeden ze studovaných kachlů byl oproti ostatním o poznání menší.

Ve všech uvedených případech koeficient smrštění se u tohoto autentického středověkého materiálu pohyboval okolo asi 8,0–9,0 ‰. Přitom nebylo rozhodující, zda ČVS vznikla otištěním z primární matrice, či naopak z primární ČVS vznikla sekundární matrice, případně z ní až sekundární ČVS (v tomto případě ovšem koeficient smrštění byl oproti primární ČVS dvojnásobný).

Výsledky zjištěné na konkrétních kachlích jsme se pokusili konfrontovat s výsledky keramického pokusu, který jsme pro tento účel koncipovali a uskutečnili v laboratořích keramického oddělení Katedry technologie silikátů VŠCHT Praha (vedoucí katedry prof. ing. J. Matoušek, DrSc.). Fyzikální a technologické podmínky pokusu jsme se snažili maximálně přizpůsobit předpokládané středověké technologii, popsané dříve Smetánkou (1969), tak aby byly pokud možno vyloučeny vlivy a způsob výroby, používané v současné době.

Teoretické předpoklady pokusu

Z technologického hlediska je výroba keramických kachlů založena na vytváření z plastického těsta a celkový proces výroby lze zhruba rozdělit do následujících operací: 1. výběr a úprava surovin, 2. příprava plastického těsta a vytváření, 3. sušení, 4. výpal.

Dále se omezíme pouze na zhodnocení vlivu jednotlivých operací na rozměrové změny výrobku.

1. Volba surovin je základním faktorem ovlivňujícím celkové smrštění keramického materiálu. Jako vhodné suroviny pro výrobu kachlů uvádí Bárta (1952) hrnčířské, pórovinové, případně lepší cihlářské jíly a jejich směsi, vesměs vyžadující přísádek ostřiva. V současné době lze k posouzení surovin a jejich termického chování využít vyhodnocení křivek termické analýzy (Blažek, 1972) např. DTA, GTA, DZ atd. Pro rozměrové změny (smrštění) bude zejména významný obsah a druh přítomných jílových minerálů.

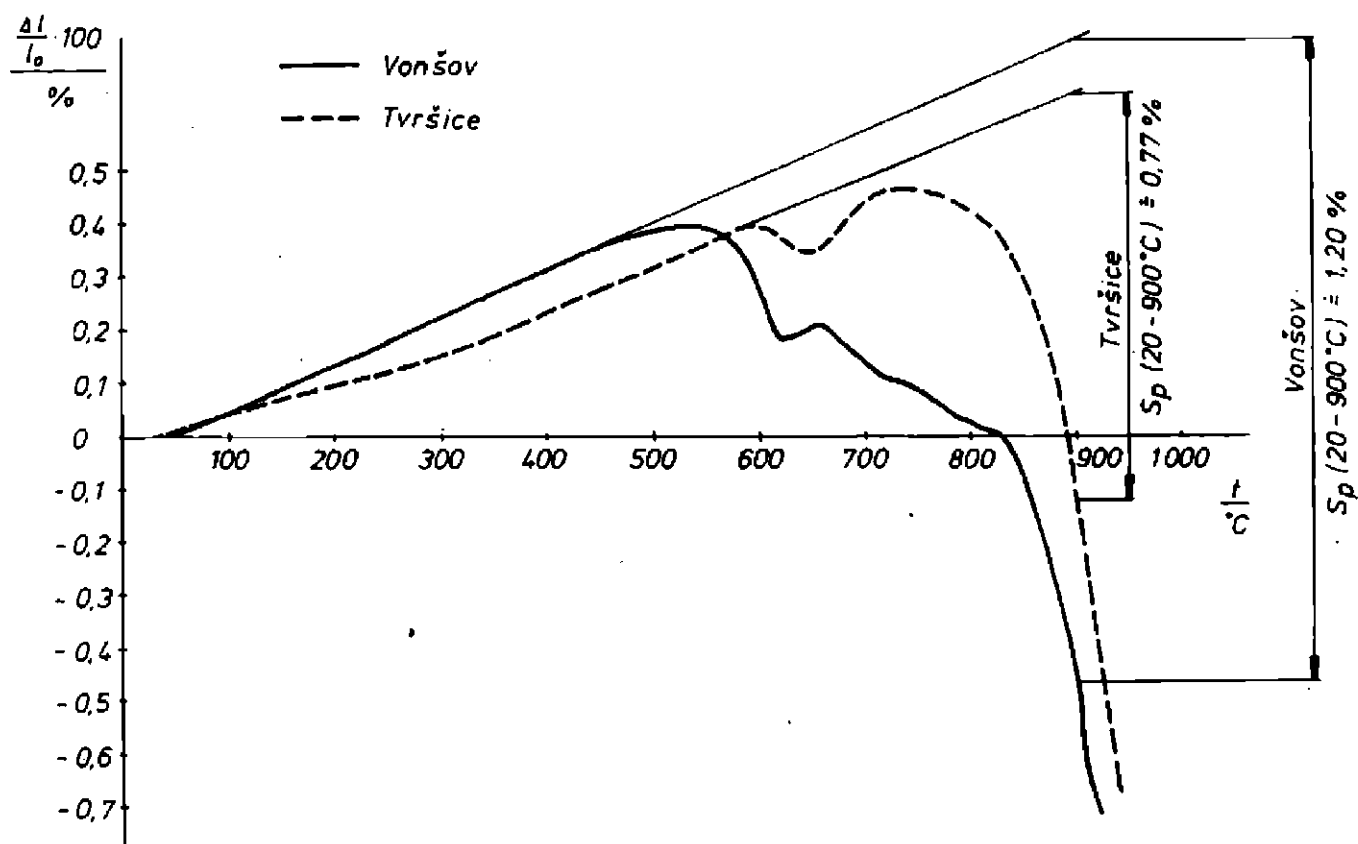
2. Smísením surovin s tzv. technologickou vodou je možno získat plast. těsto.

Nositeli plastických vlastností jsou jílové minerály – hydratované aluminosilikáty s vrstevnatou strukturou. Voda vniká jednak mezi vrstvy krystalické mřížky a tím je od sebe oddaluje – struktura intramicelárně botná, a jednak tvoří vodní obaly kolem jednotlivých částic (krystalů) jílových minerálů (Šatava, 1965; Čícel, Novák, Horváth, 1981). Se stoupajícím množstvím přidané vody se mění tzv. reologické vlastnosti keramické směsi. Při určitém obsahu vody ve směsi lze získat plastické těsto, vhodné pro plastické vytváření polotovarů keramických výrobků. Potřebné množství technologické vody (většinou se pohybuje mezi 18 až 45 0/0 vlhkosti) závisí na množství a druhu jílových minerálů ve výchozí směsi a na jejich dalších fyzikálně chemických vlastnostech. Optimální vlhkost se vesměs stanovuje experimentálně (Cooper, 1978).

Výběr výchozích surovin a způsob přípravy plastického těsta jsou rozhodující pro celkové objemové změny, k nimž pak dochází při sušení a výpalu.

3. Při sušení ztrácí výrobek vodu, která je zčásti pevně vázána na částice jíloviny a tvoří jejich vodní obal a zčásti je v pórech mezi částicemi. Tím dochází k úbytku hmotnosti a současně ke změně objemu, tzv. smrštění sušením. Proces sušení lze rozdělit na několik údobí (Lykov, 1968). Z hlediska smrštění je důležité zejména údobí do dosažení tzv. kritického bodu, kdy vlivem ztráty vody se jednotlivé částice jílového minerálu přiblíží až na dotyk. Dalším sušením sice ještě dochází k úbytku hmotnosti, ale výrobek se již dále nesmršťuje.

Proces nezávadného sušení, zejména silnostěnných výrobků, představuje z dnešního pohledu operaci, vyžadující zvládnutí teoretických poznatků z oboru přenosu tepla a hmoty a z teorie pnutí (Lykov, 1968; Cooper, 1978). Pokud je sledován pouze vliv sušení na smrštění, lze říci, že celkové smrštění sušením nezávisí na průběhu sušícího procesu a je již předtím determinováno vlastnostmi polotovarů, získanými v předchozích operacích. U většiny keramických směsí se hodnota smrštění sušením pohybuje v intervalu 4–12 0/0 v závislosti na mineralogickém složení



Obr. 1. Křivky DZ čistých jílu Vonšov a Tvršice s orientačním vyhodnocením smrštění pálením (S_p) při výpalu na 900 °C.

směsi a na obsahu technologické vody. U keramických materiálů je dále velmi důležitá otázka jejich citlivosti k sušení. Obecně lze říci, že v současné době je možno volbou vhodných podmínek při sušení docílit nezávadného vysušení i u těles, připravených z keramických materiálů velmi citlivých k sušení. Ve středověku, kdy přicházelo v úvahu prakticky pouze sušení volnoprostorové, bylo třeba volit jílové suroviny méně citlivé k sušení, případně jejich citlivost snižovat přidávkem vhodného ostřiva.

4. Výpal přináší další příspěvek k celkovému smrštění, tzv. smrštění pálením. Je vyvoláno jednak chemickými reakcemi (např. dehydroxylace jílových minerálů, vyhořívání organických látek, tepelný rozklad některých dalších přítomných minerálů, např. uhličitánů atd.), jednak fyzikálně chemickými pochody, probíhajícími během výpalu (např. slinování, modifikační přeměny minerálů). V případě výpalu kachlů ve středověkých pecích, kdy předpokládána maximální vypalovací teplota byla asi 850–950 °C, přichází v úvahu zejména smrštění v důsledku dehydroxylace přítomných jílových složek v teplotním intervalu 450–650 °C a dále při teplotách nad 800 °C dojde k dalšímu smršťování v důsledku případného rozkladu uhličitánů a počínajícího procesu slinování. Výpal do 950 °C zachytí pouze začátek slinování a tak smrštění, vyvolané slinovacím procesem, nebude příliš velké. U takto vypálených kachlů lze vzhledem k malému zhutnění předpokládat silně pórovitý stěp. Pro úplnost je třeba ještě připomenout, že při teplotách nad 200 °C může docházet k vyhořívání případných organických příměsí, přítomných ve výchozích surovinách (zbytky rostlin či živočichů, příp. jiné organické látky), které může mírně přispět k celkovému smrštění pálením.

Experimentální část

Pokusy probíhaly ve dvou základních etapách:

- a) Nejprve byla hledána vhodná výchozí surovina nebo keramická směs.
- b) Po jejím nalezení byl sledován vliv různých technologických parametrů na rozměrové změny keramického otisku ČVS studovaného kachle.

Jako základní pozitiv, který byl potom použit v průběhu celého pokusu, a z něhož byly zhotoveny negativní otisky, byla použita sádrová kopie raně renesančního kachle s motivem šlechtičny z lokality Opočno n. J. (Hazlbauer, 1985; obr. 2:1).

Jak již bylo řečeno, naší snahou bylo přidržit se co nejvíce předpokládaných postupů středověkých výrobců keramiky, a proto veškeré suroviny a směsi byly míseny, rozdělávány s vodou a homogenizovány ručně. Jednotlivé otisky kachlů byly vytvářeny ručním vtlačováním plastického těsta do sádrové formy, většinou přes přiložený pruh textilu.

Po vyjmutí ze sádrové formy byly výlisky sušeny volnoprostorově při asi 25 °C a po několikadenním sušení byly dosušeny v laboratorní sušárně při 105 °C. Výpal na požadované teploty byl prováděn v laboratorní elektrické muflové peci MŮ 4. Takovýto výpal byl sice odlišný od výpalu ve středověkých hrncářských pecích, z hlediska rozměrových změn však tyto rozdíly lze zanedbat a elektrická pec naopak umožňuje dobré nastavení požadovaného pálicího režimu a přesné nastavení konečné vypalovací teploty. Výpal probíhal při rychlosti vzestupu teploty v peci asi 5 °C/min a s třicetiminutovými výdržemi při 400 °C a 600 °C. Další třicetiminutová výdrž byla ponechána při dosažení konečné vypalovací teploty. Chlazení probíhalo samovolně v peci, asi 24 hodin. Po vychlazení bylo na kachlích provedeno vyhodnocení rozměrových změn.

Metodika vyhodnocování rozměrových změn

Rozměrové změny, způsobené sušením a výpalem (smrštění sušením, smrštění výpalem, celkové smrštění) byly určovány ze změny zvolených charakteristických rozměrů na otisku kachle před a po příslušné technologické operaci. Smrštění sušením, resp. celkové smrštění bylo vyjádřeno v procentech a vypočteno podle vzorce:

$$S_s = \frac{l_o - l_s}{l_o} \cdot 100 \quad (\%)$$

resp.

$$S_c = \frac{l_o - l_c}{l_o} \cdot 100 \quad (\%),$$

kde S_s , resp. S_c je koeficient smrštění sušením, resp. koeficient smrštění celkového, l_o je hodnota zvoleného charakteristického rozměru ihned po otisknutí kachle, l_s , resp. l_c je hodnota odpovídajícího charakteristického rozměru po vysušení, resp. výpalu.

Smrštění bylo určováno jednak ze změny rozměrů předem stanovených vzdáleností na reliéfu kachle (např. šířka ramen postavy, výška postavy, vzdálenost mezi okrajovými lištami, atd.), jednak ze změny vzdálenosti dvou rysek, vyrytých do čerstvě vytvořeného negativního otisku. Původní vzdálenost těchto rysek byla vždy 100 mm a na každém reliéfu byly provedeny vždy dvě dvojice rysek ve dvou na sobě kolmých směrech. Hodnoty smrštění, uváděné v dalším textu jsou vždy průměrnou hodnotou z nejméně šesti stanovení na jednom reliéfu.

Volba vhodné suroviny, resp. směsi

a) Čisté jíly

Jako výchozí suroviny byly zvoleny tři jíly, které měly označení Tvršice, Vonšov a ODPM. Z těchto čistých jílu byla připravena plastická těsta přidáním vhodného množství vody. Po homogenizaci a odležení byly z každého jílu připraveny otisky kachlů a vysušeny. Po vysušení byly negativy z jílu Tvršice popraskané, výrobky připravené z jílu Vonšov a ODPM vykazovaly místy drobné trhliny. Po výpalu na konečnou vypalovací teplotu 900 °C byly ve všech případech zjištěny praskliny, u některých artefaktů, zejména z jílu Tvršice, došlo k úplné destrukci. Tyto výsledky ukázaly, že vybrané jíly vyžadují k úspěšnému zpracování přídavek ostřiva.

Pro posouzení rozměrových změn u čistých jílu během výpalu byly u jílu Vonšov a Tvršice změřeny křivky teplotní závislosti délkových změn (DZ). K měření byla připravena pokusná tělíska délky 50 mm o průřezu asi 5 × 5 mm. Měření byla prováděna na VŠCHT na dilatometru vlastní konstrukce s lineárním nárůstem teploty rychlostí asi 7 °C min⁻¹. Na obr. 1 jsou uvedeny naměřené křivky DZ jílu Vonšov a Tvršice. U obou jílu do teplot 500–600 °C dochází prakticky k lineárnímu nárůstu odpovídajícímu teplotní roztažnosti materiálu. Následující smršťování je vyvoláváno strukturálními změnami v důsledku dehydroxylace jílových minerálů. Při vyšších teplotách probíhá krystalizace nových fází doprovázená snižováním pórovitosti. Rozdíl v chování jílu Tvršice a Vonšov je důsledkem různého mineralogického složení. Jíl Tvršice je výrazně illitickým jílem, zatímco jíl Vonšov se chová jako jíl kaolinitický s malou příměsí illitu.

Při teplotách nad 800 °C počíná prudké smršťování v důsledku nastupujícího procesu slinování.

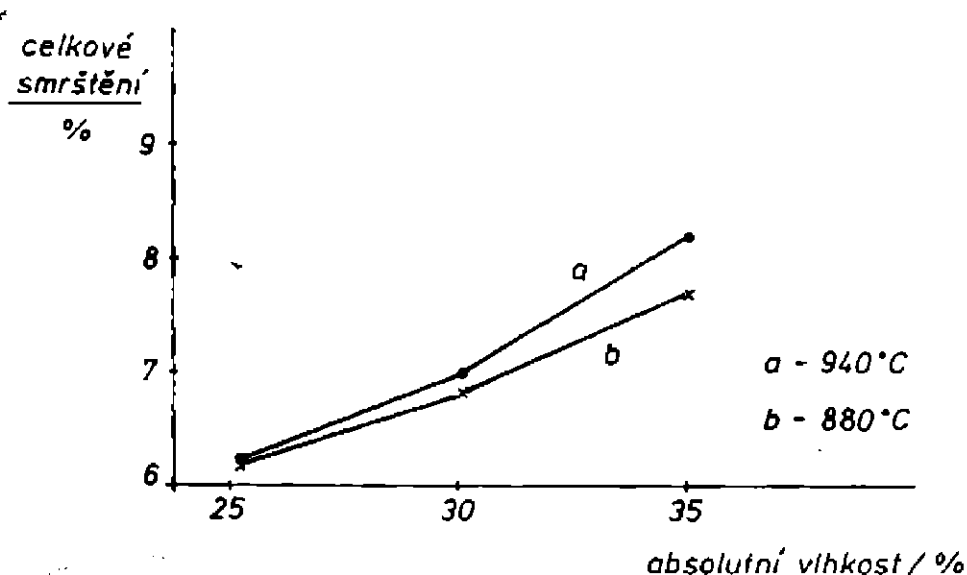
Z křivky DZ lze provést přibližný odhad hodnoty smrštění pálením po výpalu na určitou teplotu za zjednodušujícího předpokladu, že hodnota koeficientu délkové teplotní roztažnosti vypáleného tělesa se příliš neliší od hodnoty u tělesa nevypáleného. Postup je znázorněn na obr. 1 a pro výpal na 900 °C byly takto získány orientační hodnoty smrštění pálením pro čistý jíl Tvršice asi 0,77 ‰ a pro čistý jíl Vonšov asi 1,20 ‰. Předpokládaný příspěvek smrštění pálením k celkovému smrštění se tedy pohybuje kolem 1 ‰.

b) Směsi

Jíl ODPM nebyl k přípravě směsi použit, protože sám již obsahoval vysoké procento ostřiva (asi 30 ‰), avšak nevhodného granulometrického složení. Vysoký obsah velkých zrn ostřiva (přes 3 mm) způsoboval vznik trhlin během sušení i při výpalu a z tohoto důvodu se tento jíl ukázal jako nepoužitelný.

Z jílu Vonšov a Tvršice byly připraveny keramické směsi s přídavkem 10, 20 a 30 ‰ ostřiva. Jako ostřivo byl použit křemenný písek o jemnosti 99,9 ‰ pod 0,1 mm. Takto připravené směsi byly zpracovány asi s 30 ‰ hmotnostními vody na keramické těsto a po odležení byly použity k výrobě otisků kachlů. Získané výsledky jsou shrnuty v tabulkách I a II.

Z popsaných orientačních pokusů vyplynulo, že jako nejvhodnější se ukázala směs jílu Vonšov s 30 ‰ křemenného písku. K dalším experimentům byla proto používána již pouze tato směs.



Obr. 2. Závislost celkového smrštění na vytvářecí vlhkosti pro různé teploty výpalu (a=940 °C, b=880 °C) pro směs 70 ‰ Vonšov/30 ‰ písek.

Vliv vytvářecí vlhkosti na celkové smrštění

Ze směsi ve složení 70 ‰ jíl Vonšov + 30 ‰ křemenného písku byla připravena 3 plastická těsta s odstupňovaným obsahem vlhkosti. Po odležení byla těsně před zpracováním stanovena skutečná vytvářecí vlhkost těsta. Tabulka III podává přehled označení jednotlivých test společně s příslušnými vlhkostmi. Poznámka k tabulce: označení vlhkosti W_I , resp. W_{II} představuje absolutní vlhkost, vztaženou

na hmotnost sušiny v těstě, resp. relativní vlhkost, vztaženou na celkovou hmotnost těsta. Výpočet se provádí podle vztahů:

$$W_I = \frac{m_v}{m_{suš}} \cdot 100 \quad (0/0)$$

$$W_{II} = \frac{m_v}{m_{suš} + m_v} \cdot 100 = \frac{m_v}{m_c} \cdot 100 \quad (0/0),$$

kde m_v , $m_{suš}$ a m_c představují hmotnost vody, resp. sušiny v těstě, resp. celkovou hmotnost těsta v kg. Přepočtový vztah mezi oběma způsoby vyjádření vlhkosti (pro případ dosazební vlhkosti v hmot. 0/0) je:

$$W_{II} = \frac{W_I}{100 + W_I} \cdot 100$$

Z těst 1–3 byly připraveny otisky kachlů a dříve popsaným způsobem vysušeny a současně vypáleny. U každé sady výlisků byl tak zaručen stejný režim výpalu i konečná vypalovací teplota. Na obr. 2, kde jsou zobrazeny závislosti z tab. IV, je dobře patrné, že se zvyšováním vytvářecí vlhkosti roste poměrně výrazně i hodnota celkového smrštění. Naproti tomu zvýšení konečné vypalovací teploty o 60 °C z 880 °C na 940 °C způsobilo jen nepatrné zvýšení celkového smrštění.

Diskuse výsledků

Při studiu celkového smrštění středověkých kachlů se jako velmi důležitý ukázal výběr vhodné modelové suroviny. Z experimentů provedených na třech jílcích (Tvršice, Vonšov, ODPM) a směsích jílu Tvršice, resp. Vonšov s odstupňovaným přídatkem křemenného písku jako ostřiva, vplynuly následující poznatky:

a) jíl ODPM je značně nehomogenní s kolísavými vlastnostmi a vzhledem k rozměrným částicím ostřiva nedokonale kopíroval tvar formy při vytváření. Také se ukázal jako velmi citlivý na sušení. Jelikož se jednalo o červeně se pálicí jíl, byla zde i barevná odlišnost od předložených vzorků pozdně středověkých kachlů světle béžové barvy. Z výše uvedených důvodů byl proto vyloučen.

b) Jíl Tvršice byl z hlediska přípravy a zpracovatelnosti plastického těsta zcela vyhovující, ukázalo se však, že je velmi citlivý na sušení, kdy došlo k popraskání všech výlisků. Dokonce ani přídatek ostřiva do 30 0/0 nepřinesl podstatné zlepšení a další zvyšování obsahu ostřiva bylo již na úkor plastičnosti a zpracovatelnosti. Tento jíl se pátil šedobéžově.

c) Nejlepších výsledků bylo dosaženo při použití jílu Vonšov. Ani v tomto případě nebylo možné použít čistého jílu, ale jako vyhovující se ukázala směs 70 0/0 jílu a 30 0/0 křemenného písku jako ostřiva. Těsta z této směsi si podržela dobré plastické vlastnosti a vyhovující citlivost k sušení. Během sušení nebyly zjištěny trhlinky na žádném výlisku. Také barva po výpalu byla téměř totožná s předloženými úlomky pozdně středověkých kachlů.

Při sledování vlivu vytvářecí vlhkosti na zpracovatelnost těsta a na celkové smrštění výlisků bylo zjištěno, že a) těsto s obsahem 25 0/0 vody (absol.) je obtížně zpracovatelné, špatně vyplňuje formu a trhá se. Ani při 30 0/0 vlhkosti, kdy zpracovatelnost byla již mnohem lepší, otisk ještě nekopíroval dokonale formu; b) těsto s vytvářecí vlhkostí 35 0/0 (absol.) vykazovalo dobrou plastičnost a velmi dobře se zatlačovalo do formy, dokonale kopírovalo povrch a otisky z něho připravené byly nejkvalitnější. Dalším zvyšováním vytvářecí vlhkosti o asi 5 0/0 bylo získáno těsto

již příliš mazlavé, které se lepilo na prsty a přestože při zatlačování do formy byl použit textil, bylo otiskování mnohem obtížnější. Naopak však, získaný výlisek byl kvalitnější a vyhověl i při dalším zpracování. Ze závislosti celkového smrštění výlisků na vytvářecí vlhkosti, jak je uvedeno v tabulce IV a na obr. 2 vyplývá, že hodnota celkového smrštění se pohybuje od 6,2 ‰ u výlisků z těsta č. 1 do zhruba 8,5 ‰ u výlisků z těsta č. 3. Při dalším zvyšování vlhkosti roste hodnota smrštění až k 10 ‰. Vzhledem k tomu, že vytvářecí vlhkost 25–30 ‰ (absol.) se jeví pro danou keramickou směs příliš nízká, lze důvodně předpokládat, že celkové smrštění výrobků s vhodnou vytvářecí vlhkostí (tj. 30–40 ‰ absol.) se bude pohybovat v rozmezí 7–10 ‰. Ze sledování vlivu maximální vypalovací teploty na celkové smrštění výlisků bylo zjištěno, že závislost je ve sledované oblasti, tj. v rozmezí maximálních vypalovacích teplot 850–960 °C tak slabá, že nepřesahuje rámec experimentálních chyb. Ve všech případech se smrštění pálením pohybovalo okolo 1 ‰.

Všechny uvedené hodnoty smrštění, stanovené jako průměrná hodnota z minimálně šesti míst reliéfu, a to z různých směrů jsou pochopitelně zatíženy určitou chybou, která souvisí s přesností měření posuvným měřítkem. Jeho přesnost 0,1 mm při průměrné vzdálenosti měřených bodů 70–100 mm představuje chybu zhruba $\pm 0,1-0,15$ ‰, která se na hodnotě smrštění může projevit $\pm 1,5-2,5$ ‰. Další nepřesnost je vyvolávána tím, že keramický materiál nevytváří ostré hrany, jako např. kovový a je tedy obtížné zajistit měření dvou vzdáleností vždy naprosto shodných bodů na reliéfu. Vzhledem k těmto skutečnostem je třeba mít na zřeteli, že hodnoty smrštění, uvedené v tabulkách I, II a IV mohou být zatíženy průměrnou chybou $\pm 3-5$ ‰, tj. správně by údaje o smrštění měly být uváděny např. $S_c = 6,80$ ‰ $\pm 0,3$ ‰.

Z á v ě r y

Pokusíme-li se aplikovat poznatky, získané popsaným technologickým postupem, na výrobu středověké keramiky obecně a na výrobu ČVS reliéfních kachlů zvláště, můžeme dojít k těmto závěrům:

1. Jak ukázal pokus, ne každý jíl se hodí k výrobě reliéfních kachlů, především pak jejich ČVS. Podstatný vliv na průběh technologického procesu vytváření, sušení a vypalování má chemické a mineralogické složení jílu, především pak obsah jílových minerálů. Středověký hrnčíř tedy musel předem vědět, z které suroviny může kachle vyrábět a z které ne.

2. Pro uskutečnění technologického procesu je většinou nezbytné přidání ostřiva, které zvyšuje odolnost keramické směsi při sušení a pálení. Jak ukázal jeden z jílu (ODPM), ani relativně značný obsah ostřiva nezaručuje dobrý výsledek, pokud ostřivo nemá vhodné granulometrické složení.

3. Ukázalo se, že největší vliv na celkové smrštění výrobků má vytvářecí vlhkost keramického těsta. Nejlepších výsledků, co do kvality otiskovaného reliéfu, bylo dosaženo u směsi s 30 i více procenty vody, u nichž ovšem ale také došlo i k největšímu celkovému smrštění. Při nižším obsahu vlhkosti keramické těsto nedokonale vyplňuje formu a trhá se.

4. Naopak při obsahu vody nad 30 ‰ je nutno při vytváření otisku použít textilu, protože jinak při zatlačování hmoty do formy se směs lepí na prsty a od formy se nadzvedává, což vede k poruchám v kvalitě reliéfu. Z toho lze vyvodit, že stopy po použití textilu, které nacházíme dosti často u pozdně gotických a raně renesančních kachlů zřejmě souvisí se změnou používané technologie, kdy vzhledem k nutnosti dosažení kvalitních otisků, v té době značně složitějších a jemněji zpracovaných reliéfů, musel hrnčíř zvyšovat množství přidávané vody.

5. Hlavní podíl na celkovém smrštění má sušení, které způsobuje smrštění představující 80–90 % hodnoty celkového smrštění (při výpalu na uvažované teploty 850–950 °C).

6. Maximální teplota výpalu v oblasti předpokládaných teplot výpalu středověkých kachlů (850–960 °C) ovlivňuje rozdíly v celkovém smrštění jen velmi málo (max. 0,3 %). Smrštění pálením se ve všech případech pohybovalo kolem 1 %.

7. Při dodržování optimálního složení (70 % jílu + 30 % ostřiva) a vhodné vytváření vlhkosti (30–40 % absol.) se celkové smrštění pohybuje v intervalu od 7–10 procent.

8. Výroba středověkých kachlů okopírováním primárního kachle postupem negativní forma – výpal – pozitivní výrobek – výpal by na základě provedených experimentů poskytla výrobky zmenšené o 14–20 % proti primárnímu kachli.

9. Hodnota zmenšení o 8,1–9,3 % u jednoduchého okopírování výrobků, zjištěná Hazlbauerem (1985) u nalezených středověkých a pozdně středověkých kachlů, dobře zapadá do experimentálně potvrzeného intervalu a podporuje teorii o kopírování středověkých kachlů.

Tabulka I. Výsledky zpracování směsí jílu Tvršice s křemenným pískem

Směs Tvršice/písek	Smrštění po vysušení	Výpal	Celkové smrštění	Poznámka
90/10	nelze určit	–	–	během sušení se rozpadl
80/20	nelze určit	880 °C	–	po sušení se rozpadl na 4 kusy, výpalem se dále nepoškodil
70/30	asi 8,0 %, nelze přesně určit	880 °C	–	po sušení prasklina přes roh asi 7 cm, výpalem se dále nepoškodil

Tabulka II. Výsledky zpracování směsí jílu Vonšov s křemenným pískem

Směs Vonšov/písek	Smrštění po vysušení	Výpal	Celkové smrštění	Poznámka
90/10	asi 7,0 %, nelze přesně určit			po vysušení praskliny
80/20	8,5 %	900 °C	9,4 %	
80/20	8,5 %	960 °C	10,0 %	
70/30	8,4 %	900 °C	9,5 %	
70/30	8,4 %	960 °C	9,6 %	

Poznámka: Poměr jílu a křemenného písku v tabulce I a II, jakož i v dalším textu, je v % hmotnostních.

Tabulka III. Označení plastických těst ze směsi 70 % Vonšov/30 % písek a odpovídající vytvářecí vlhkosti

Označení těsta	Absolutní vlhkost W _I (%)	Relativní vlhkost W _{II} (%)
1.	25,4	20,1
2.	30,2	23,2
3.	35,1	26,0

Tabulka IV. Vliv vypalovací teploty a vytvářecí vlhkosti na smrštění otisků kachlů, připravených ze směsi 70 % Vonšov/30 % písek

Výchozí plastické těsto	Absolutní vlhkost W_I (%)	Konečná vypalovací teplota ($^{\circ}\text{C}$)	Celkové smrštění (%)	Smrštění pálením (%)
1	25,4	940	6,25	1,2
2	30,2	940	7,0	1,0
3	35,1	940	9,2	1,0
1	25,4	880	6,2	1,0
2	30,2	880	6,8	0,9
3	35,1	880	7,7	1,0

POUŽITÁ LITERATURA

- Bárta R., 1952: Sklářství a keramika III, Jemná keramika. Praha.
 Blažek A., 1972: Termická analýza. Praha.
 Cooper A. R., 1978: Ceramic Processing before Firing (Quantitative Theory of Cracking and Warping During the Drying of Clay Bodies). New York.
 Čičel B., Novák I., Horváth I., 1981: Mineralógia a kryštalochémia (lov. Bratislava:
 Hazlbauer Z., 1985: Příspěvek k technologii výroby pozdně středověkých reliéfních kachlů. AH 11, 489-504.
 Lykov A. V., 1968: Teoria suški. Moskva.
 Richter M., 1978: Středověká keramika ze Sezimova Ústí. Katalog ke stejnojmenné výstavě v Bechyni. Hluboká n. Vlt.
 Smetánka Z., 1968: Technologie výroby českých kachlů od počátku 14. do počátku 16. stol. PA LIX, 543-578.
 Šašek L. a kol., 1981: Laboratorní metody v oboru silikátů. Praha.
 Šatava V., 1965: Úvod do fyzikální chemie silikátů. Praha.

Zusammenfassung

Studie der Herstellungsbedingungen von Reliefflächen spätmittelalterlicher Kacheln

Unter Bedingungen, die den mittelalterlichen technologischen Verfahren optimal entsprachen, wurden Experimente vorgenommen, welche die Herstellungstechnologie mittelalterlicher Kacheln beglaubigen sollten. Beurteilt wurden dabei die Einflüsse der Zusammensetzung des der Erzeugung zugrundeliegenden Rohstoffgemisches, der Knetfeuchtigkeit und endgültigen Brenntemperatur auf das Schrumpfen der Produkte.

Das Intervall der experimentell festgestellten Schrumpfwerte stimmt mit den Unterschieden der Ausmaße geborgener mittelalterlicher Kacheln mit identischen Motiven durchaus überein. Diese Tatsache unterstützt die Theorie vom Kopieren der Stirnheizfläche mittelalterlicher Kacheln durch doppelten Abdruck, das ist mit dem Verfahren: Negativform - Brennen - Positivprodukt - Brennen.

Abbildungen:

- DZ-Kurven reiner Lehme von Vonšov und Tvrsice mit der orientierenden Auswertung der Brennschrumpfung (S_D) bei Temperaturen von mehr als 900°C .
- Abhängigkeit der Gesamtschrumpfung von der Knetfeuchtigkeit bei verschiedenen Brenntemperaturen ($a = 940^{\circ}\text{C}$, $b = 880^{\circ}\text{C}$) für die Mischung 70 % Vonšov/30 % Sand.

