

# Historické souvislosti výroby pevnostní cihly (technologické poznámky)

Tomáš HANZLÍČEK; Jiří HOFMAN

**ANOTACE:** *Trvalá péče o památkové objekty postavené z cihel má své specifické potřeby, projevující se v nutných opravách barokních pevností Terezín a Josefov. Vzhledem ke krátké době výstavby pevností (necelých 8 let) mohou být specifikovány historické technicko-technologické souvislosti výroby cihel, použitých jako základní stavební jednotka ve všech těchto místech. Pozornost této stati je zaměřena na technologické možnosti stavitelů pevností Terezína a Josefova z hlediska výroby fortifikačních cihel. Určení surovin a upřesnění dobového technologického zpracování pomocí původních zdrojů informací by mohlo napomoci stanovení podmínek kvality cihel pro dnešní cihláře tak, aby opravy a rekonstrukce probíhaly v souladu s historií.*

## Úvod

Trvalá péče o pevnostní památkové objekty postavené z cihel má svoje charakteristické potřeby. Ty lze dobře demonstrovat na příkladě barokních<sup>1</sup> pevností Terezín a Josefov.<sup>2</sup> Na základě nově interpretovaných archivních dokumentů lze specifikovat technicko-technologické možnosti výroby cihel, které jsou základní stavební jednotkou ve všech těchto místech. Pozornost této stati bude proto zaměřena na technické a technologické možnosti stavitelů pevností Terezín z hlediska výroby fortifikačních cihel a na ověření archivních informací s využitím materiálového průzkumu historických a původních cihel terezínských pevností. Určení surovin, upřesnění dobového technického zpracování a nastínění dnešních možností jejich reprodukce by mohlo napomoci stanovení podmínek pro dnešní cihláře tak, aby cihly pro opravy a rekonstrukce byly v maximální míře v souladu s historií.

## Základní historické informace

Pevnost v Terezíně byla založena roku 1780 Josefem II. Roku 1782 byla prohlášena svobodným královským městem. Jméno městu císař udělil na počest své matky, císařovny Marie Terezie (kdežto sesterskou pevnost Pless ve východních Čechách pak přejmenovali na Josefov až po jeho smrti). Již v roce 1790 byla pevnost Terezín schopna obrany.

Na stavbě vlastní pevnosti Terezín pracovalo přibližně 7 tisíc lidí při roční spotřebě kolem 20 milionů cihel,<sup>3</sup> o jejichž přísun se nepřetržitě staralo pět souběžně pracujících cihelen; tři cihelny při silnici na Litoměřice, za Litoměřickou branou, a dvě cihelny na opačné straně při výjezdu na Prahu.<sup>4</sup>

Jednalo se o mimořádnou organizaci zajišťovanou přímo státem podle smlouvy.<sup>5</sup> Tato smlouva definuje podmínky, za jakých mají být cihly pro pevnosti dodávány, a obsahuje i pasáže o technologii výroby. Platila pro Terezín i Josefov. Jeden



1

z inženýrů působících na těchto stavbách a poté vyučující na Terezínském vojenské akademii, Maximilian de Traux (1766–1817), později tyto zkušenosti sumarizoval ve své knize *Kurzer Abriss der bürgerlichen Baukunst*,<sup>6</sup> kde na s. 42 specifikuje vlastnosti cihel, určuje „hlinitou zeminu“

Obr. 1. Plán opevnění města Terezín, detail mapy s vyznačením odběru vzorků v místě ravelinu 18 a ravelinu 19. Vojenský historický archiv, Sběrka plánů pevnosti Terezín 1780–1943.

archiv (dále VHA), AF Ženíšijní ředitelství Terezín (Geniedirektion Theresienstadt), kart. 2.

<sup>5</sup> Ibidem.

<sup>6</sup> Maximilian de Traux, *Kurzer Abriss der bürgerlichen Baukunst. Zum Gebrauche der Zöglinge der k. k. Militär-Akademie zu Wienerisch Neustadt*, Wien 1813.

## ■ Poznámky

<sup>1</sup> V označení NPÚ.

<sup>2</sup> Do skupiny patří i opevnění Hradce Králové.

<sup>3</sup> Eduard Stehlík, *Pevnosti a opevnění v Čechách, na Moravě a ve Slezsku*, Praha 2006.

<sup>4</sup> Srov. smlouvu mezi Císařskou komorou a nájemcem cihlen K. Wieserem z 12. 12. 1781, Vojenský historický





2



3

Obr. 2. Letecký pohled na Hlavní pevnost Terezín od jihu.  
Foto: Jana Hofman Formánková, 2018.

Obr. 3. Letecký pohled na severozápadní část Hlavní pevnosti Terezín, v popředí ravelin 18 a v pozadí ravelin 19.  
Foto: Jana Hofman Formánková, 2018.

a stanovuje pravidla pro výrobu cihel včetně následných ustanovení o rozměrech cihel a dlaždic, popisuje zkoušení cihel a v důležitém paragrafu 53 potom definuje i rozměry pro stavbu polních pecí. Spotřeba cihel na stavbě se rok od roku lišila podle aktuálních činností. Také produkce cihlen byla nestálá. Nicméně zadání armády bylo rámcově ohrani-

čeno kapacitou produkce 20 milionů cihel ročně. Pro obrovské množství cihel s určenou ideální roční výrobou můžeme, s určitou mírou rizika odhadu, určit množství zpracovaného materiálu.

Spotřebu materiálu lze kvalifikovaně odhadnout takto: jestliže 20 000 000 kusů cihel za rok vydělíme počtem cihlen, každá musela ročně vyrobit 4 000 000 kusů. Z archivních dokumentů bylo zjištěno,<sup>7</sup> že počet pracovních dnů v roce nebyl větší než 240. Pak vychází, že každá cihelna musela dodat 17 000 vypálených cihel denně. Při doložené zmetkovitosti lze soudit, že bylo třeba vypálit 19 000 ks za

každý den. Má-li vypálená cihla standardního rozměru  $32 \times 16 \times 8$  cm hmotnost asi 7,5 kg, pak musela být denně z pece vykládána hmota 127 500 kg a naopak vkládáno více než 146 000 kg (zpracovatelská vlhkost cca 15 hmotnostních %). To představuje také více než 146 tun surového materiálu v každé cihelně! Celkem bylo nutno v pěti cihelnách denně zpracovat více než 730 tun.

Maximilian de Traux určuje roční období, kdy je třeba zeminu těžit, jak ji tzv. „zimovat“ a kdy ji použít. Vezmeme-li do úvahy, že každá z pěti cihlen pracovala s jiným zdrojovým materiálem, tedy tři cihelny za Litoměřickou branou s cihlářskou spraší s menším podílem písku a dvě cihelny na straně Malé pevnosti s hmotou s vyšším obsahem písku, pak je vysvětlitelný značný rozdíl v mírách cihel – čím tzv. „mastnější“, tedy jílovitější materiál, tím větší smrštění cihla vykazuje při sušení a výpalu a tím menší cihla vznikne i v případech, kdy formy pro formování materiálu mají shodné rozměry. Osobním měřením na místě bylo zjištěno, že odchylky od standardu jsou  $-1,5 + 1,5$  cm od stanovených rozměrů ( $32 \times 16 \times 8$  cm). Tyto odchylky jsou běžným problémem keramických výrob – jsou dány rozdíly ve skladbě suroviny a nedokonalým pálením s různým smrštěním (obr. 6).

Podle dat rozhodnutí o výstavbě a přepravě pevnosti k obraně museli cihláři velmi spěchat, aby dodali kýžený počet cihel. Z toho pramení nedostatky konstatované kontrolou kvality,<sup>8</sup> i přes jisté následné pokroky ve zpracování hmoty pro výrobu cihel však zůstávají nezměněny technické a technologické podmínky výroby 18. století.

#### Informace o dobové kontrole výroby a cihel

Skutečnost, že založení a provoz cihlen byly kontrolovány státem a výroba cihel byla specificky určena na stavbu pevnosti, je doložitelná početným spisovým materiálem z tuzemských i zahraničních archivů, včetně kontrol kvality podle rozkazu generála hraběte C. C. Pellegriniho, ředitele vrchního ženijního ředitelství, pod které stavba spadala, ze dne 31. 8. 1783. Kontrola cihlen a kvality cihel byla provedena podle zápisu z 1. 9. 1783 ve všech pěti terezínských cihelnách.<sup>9</sup>

Cihelny měly jak lepší (jílovitější) zeminu, tak písčitéjší, ale konstatuje se, že mnoho ci-

#### ■ Poznámky

<sup>7</sup> VHA, AF Ženíjný ředitelství Terezín (Geniedirektion Theresienstadt), kart. 3, rozpis nákladů K. Wiesera z 28. 12. 1781.

<sup>8</sup> Ibidem, kart. 4, zpráva komise z 1. 9. 1783.

<sup>9</sup> Ibidem.





Obr. 4. Plán opevnění města Terezín a Malá pevnost na východní straně, rok 1865. Vojenský historický archiv, Sběrka plánů pevnosti Terezín 1780–1943.

hel je páleno nedostatečně usušených, pálí se i tzv. „zlomky“, to znamená půlky cihel, konstatuje se velké množství cihel nedopálených, výhrady jsou především k nerovnoměrnému pálení v pecích. Příkázaná kontrola produkce cihel z roku 1783 vycházela jednak z nekalitní výroby v Josefově a jednak přímo z nespokojenosti císaře, který cihly kritizoval při své nedávné návštěvě.

#### Zjištění

Materiál byl zpracováván ručně na formovacích stolech, kde současně probíhalo formování cihel, tzv. nabíjení do forem.

Ze stavu, resp. z poruch a poškození dochovaných cihel lze dodnes vyčíst mnohé i o dalších pracovních postupech. V souladu se záznamy dobové kontroly, která zmiňuje nedostatečné

sušení zboží, jsou poruchy, které vznikly sušením a výpalem nedosušených cihel. Mnohé cihly byly do pece vkládány ještě vlhké. Proto vykazují chyby pálením, tj. především „rozpaření“ střepu, které je viditelné na obr. 5. V páté řadě třetí cihla zleva – chyba sušením a pálením, viditelné rozdrobení okraje, rozpaření. Dále v sedmé řadě čtvrtá cihla zleva (střed řady) – vložení mokré cihly do pece a následné rozpaření střepu. Rozdělovací voda neměla možnost před výpalem z materiálu volně odejít. Vysokou teplotou výpalu byla voda přehřátá uvnitř kompaktního a silného střepu. Vznikající pára narušila střep jemnými prasklinami, které jsou často viditelné ihned po pálení, nebo zůstanu i částečně skryty, ale po čase se projeví odloupením části páleného střepu.

Obr. 5 současně ukazuje i další chyby, tentokrát chyby vytváření – formování cihly ze dvou nestejně vlhkých surovin. Prasklina se projeví po sušení, ale často se objeví při pálení nebo až v hotovém zdivu. Tyto identifikovatelné chyby jsou dány především tím, že výrob-

ce neměl dostatek času na řádné zpracování materiálu ani dostatečně kvalifikovaný personál, což potvrzuje zmíněná smlouva o zahájení cihlářské výroby za účasti 1 600 zvlášť k tomu naverbovaných pracovních sil z balkánských držav habsburské říše.

Přesto lze zpětně dovodit, že i při obrovském množství zpracovávaného materiálu a poměrně primitivních podmínkách výpalu bylo dosahováno zcela mimořádných výsledků v dodávkách cihel (předání pevnosti již v roce 1790). Z rozboru chyb a vad, které představuje obr. 5, vyplývá, že komise oprávněně identifikovala vady cihel.

Spěch na dodávky cihel vytvářel situace, které zhoršovaly jejich kvalitu. Není tedy výjimkou, že bylo třeba i v době stavby některé nepodařené cihly vyměňovat a v průběhu celého 19. století probíhaly prakticky permanentně dílčí opravy zdiva pevnosti. Jak konstatuje výše uvedená kontrola kvality, jedná se zvlášť o výpal, který je problematický. Z toho důvodu byly pro náš výzkum odebrány úlomky cihel jak





5



6

Obr. 5. Část odkryté původní zdiva předprsní zidky na bastionu 2. Foto: Jiří Hofman, 2019.

Obr. 6. Zlomek cihly z vnějšího obvodu Malé pevnosti (zborcená část). Foto: Gabriela Čapková, 2020.

z hradeb města Terezín,<sup>10</sup> tak z Malé pevnosti<sup>11</sup> (MP1 a MP2), aby bylo možné moderními metodami odhadnout teplotu výpalu dosahovanou v polních pecích. Současně chemická analýza potvrdí nebo vyvrátí rozdíl mezi surovinou z opevnění města a opevnění Malé pevnosti. Vychází se z toho, že rozmístění cihel na protilehlých stranách a dopravní situace prakticky znamenaly, že každé místo bylo zásobováno z jiné cihelny.

#### Popis zkoumaných vzorků

Z důvodu upřesnění fyzikálních vlastností i chemického složení byly odebrány úlomky cihel. Ve všech odebraných zlomcích je patrné ruční zpracování hmoty, které lze dovodit podle menších i větších vzduchových bublin uvnitř střepe (obr. 6).

**Vzorek MP 1** – světle červený, kompaktní střepe bez viditelných zrn písku, velmi jemný povrch na hraně zlomu.

**Vzorek MP 2** – tmavší červená, velmi kompaktní, žádná zrna písku ani jiné nečistoty na lomu.

**Vzorek Ravelin 18** – střední červeň, velmi kompaktní, obtížně drtitelný, střepe kompaktní s malými vzduchovými bublinkami na lomu, střepe jemný bez zrn křemene. (Obsah vápníku při rozboru může být poněkud vyšší vzhledem k nepatrné vrstvě vnějšího znečištění vápenou maltou.)

**Vzorek Ravelin 19** – tmavá červeň, velmi tvrdý, kompaktní střepe, velmi jemný bez jakýchkoliv zrn křemene.

V žádném ze vzorků se neobjevuje velké nebo nesourodé těleso – homogenita střepe je vzhledem k ručnímu zpracování obdivuhodná.

Obr. 6 dokládá střepe s množstvím vzduchových uzavřených bublin a směs dvou druhů materiálu, tmavšího a světlejšího (příčný řez cihlou). Povrchové nerovnosti na hlavní ploše a pozorovatelné nerovnoměrné smrštění na protilehlých stranách (viz také změnu barvy a materiálu). Vzorek k analýze označen jako MP 2.

#### Metody a analýzy

Vzorky byly studovány senzoricky, což je ještě i dnes základní metoda, kterou používá specialista pro základní seznámení se vzorky, vyhodnocení jejich objemové hmotnosti, barevnosti, struktury, pro přechod poruch materiálu a návrh dalšího postupu prací. Poté byly vzorky zdokumentovány.

Vzorky byly vysušeny na konstantní hmotnost při teplotě 105 °C, v programovatelné sušárně značky fy Memmert, Německo. Mletí vzorků bylo provedeno na mlýnku Retsch RM 200 (mletí na analytickou jemnost) sestaveném z ocelové misky a ocelového mlecího dřívku.

Chemické složení bylo zjištěno pomocí rentgenové fluorescenční technologie (XRF).<sup>12</sup> Výsledky jsou využitelné pro zjištění chemické analýzy vzorku, které je uvedeno v tabulce 1.

Rentgenová prášková difrakční analýza (XRPD)<sup>13</sup> doplňuje poznatky o výše uvedeném chemickém složení v tom, že výsledkem je mineralogické složení přítomných složek a případně i jejich kvantitativní zastoupení. Z výsledků obou stanovení lze odhadnout teplotu výpalu, a to jak z obsahu vápenatých složek, tak z obsahu živců.<sup>14</sup>

Nasákavost cihel je velmi důležitým parametrem, zejména rychlost, jakou cihla navlhá a vysychá. Nasákavost vzorků byla stanovena po úplném vysušení kousků z odebraných vzorků jejich vážením do konstantní hmotnosti (kdy se sušením hmotnost vzorku dále nemění) a posléze ponořením do vody na 24 hodin. Vlhké, povrchově osušené vzorky byly opět váženy

na analytických vahách a byla spočtena nasákavost jako podíl rozdílu mezi vlhkým a suchým vzorkem a hmotnosti suchého vzorku.

#### Vybrané výsledky

Základní observace: MP 1 a MP 2 jsou dva poměrně odlišné vzorky, a to jak barevností

#### ■ Poznámky

**10** Vzorky odebrány z ravelinu 18 a 19.

**11** Vzorky odebrány z nejzastříhanějšího místa zborceného vnějšího opevnění při silnici směr Praha.

**12** Přístroj Spectro iQ, Kleve, Německo, palladiový terč s úhlem centrálního paprsku 90°. Bod zaměření je čtverec 1 × 1 mm s maximálním anodovým rozptylem 50 W a 10 cfm při nuceném vzduchovém chlazení. Pelety byly připraveny ze 4 g zkoumaného materiálu s velikostí částic do 20 µm a z 0,9 g vosku (hwc Hoechstwax, Německo). Lisovací tlak pro přípravu pelet je 80 kN. Výsledky analýzy jsou automaticky přepočítány na oxidy příslušného prvku.

**13** Vzorky byly namlety na požadovanou jemnost v mlýnu McCrone (ZrO<sub>2</sub> mlecí elementy, mletí po dobu 7 minut v suspenzi s etanolem). Vzorky pro rtg difrakci byly připraveny metodou tzv. bočního plnění (side-loading). Rtg difrakční záznamy byly pořízeny na rtg difraktometru Bruker D8 Advance za použití CuKα záření a pozičně citlivého polovodičového detektoru Lynx Exe XE. Záznamy byly pořízeny s automatickou divergenční clonkou (ADS, 10 mm) v rozsahu 4–80°, s krokem 0,015° a načítacím časem na krok 0,8 s. Pro odhad amorfní komponenty (skla) byl do vzorku přidán interní standard (15 hmotnostních % ZnO). Záznamy byly kvalitativně vyhodnoceny pomocí software Diffrac EVA 2015 (Bruker AXS 2015), HighScore 3.0 (PANalytical 2011) a databáze PDF 2-2002. Následná semikvantitativní fázová analýza byla provedena pomocí Rietveldovy metody v programu Topas 5 (Bruker AXS, 2015).

**14** Živce se zúčastňují tvorby taveniny až při teplotách nad 1 000 °C. Jsou-li přítomny v páleném střepe, pak nebyla tato teplota dosažena. Totéž platí pro karbonáty vápenaté – jsou-li přítomny, musela být teplota výpalu nižší než 900 °C, při níž se rozkládají.

**Tabulka 1. Chemické složení vzorků cihel**

Vzorek / oxid	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	suma
Rav. 18	0.09	1.63	16.16	61.9	2.53	6.70	0.10	7.01	96.12
Rav. 19	0.48	1.84	17.17	61.62	2.32	5.85	0.10	6.52	95.90
PM 1	< 0.08	2.50	13.53	56.13	2.95	12.6	0.14	6.88	94.73
PM 2	0.78	1.52	14.86	69.42	2.79	1.45	0.14	5.33	96.29

**Tabulka 2. Nasákavost odebraných vzorků po vysušení na 105 °C do konstantní hmotnosti**

Vzorek	Nasákavost v hmotnostních %
MP 1	14,5
MP 2	16,8
Rav. 18	16,5
Rav. 19	15,5

Tab. 1. Chemické složení vzorků cihel. Zpracoval: Tomáš Hanzlíček, 2020.

Tab. 2. Nasákavost odebraných vzorků po vysušení na 105 °C do konstantní hmotnosti. Zpracoval: Tomáš Hanzlíček, 2020.

(světlý a tmavý střep), tak především hodnotou obsahu CaO, který je v případě MP 1 takřka devětkrát vyšší než u vzorku prokazatelně z období výstavby pevnosti. Je tedy pravděpodobné, že vzorek MP 1 je z materiálu dodaného na stavbu podstatně později, tj. po vyčerpání místních zdrojů surovin.

Významná podobnost suroviny Rav. 18 a Rav. 19 ukazuje na spráše z oblasti původní Litoměřické brány, kde je zvýšený obsah CaO doprovázen vyšším obsahem Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, což jednoznačně určuje vyšší obsah jílové složky. Naopak MP 2 vykazuje vyšší obsah volného SiO<sub>2</sub> v použitém materiálu ložiska u Malé pevnosti směrem k Trávníčím.

Protože bylo zjištěno, že vzorky Rav. 18 a Rav. 19 jsou po stránce chemického složení prakticky totožné a pocházejí z velmi podobného místa, byl pro XDR analýzu vybrán jen vzorek Rav. 19. Z důvodů určité pochybnosti ohledně vzorku MP 1 (vzhledem k mimořádně vysokému obsahu CaO podle chemické analýzy) byl tento vzorek i s ohledem na nižší nasákavost vynechán z analýzy XRD.

Analýza XRPD vzorků MP 2 a Rav. 19 dokazuje obsahem živců v rozsahu 17–20 hmotnostních % nižší teplotu výpalu, stejně tak jako zbytkové množství vápence (CaCO<sub>3</sub>) u vzorku Rav. 19. Současně se potvrzuje zvýšené množství křemene u vzorku z Malé pevnosti, kde je odhadnutý obsah cca 66 hmotnostních % proti 53,5 hmotnostních % u vzorku Rav. 19. Analýza XDR a odhady „amorfní složky“, která zde ale nepředstavuje skelnou fázi, nýbrž složku, kterou lze označit jako původně jílovou (po pálení odchází především krystalicky vázaná vo-

da), opět potvrzuje základní rozdíl mezi ložiskem na straně Litoměřické brány – podíl jílové složky až 26 hmotnostních % – a ložiskem blíže Malé pevnosti, kde je obsah jílové složky cca 17 hmotnostních %.

Pro zpřesnění keramických vlastností reflektujících jak vypalovací teplotu, tak i složení materiálu v poměru jíl/ostřivo je důležitým ukazatelem i nasákavost střepu, která je zvláště důležitá při posouzení kvality spoju mezi vápennou maltou a cihlou.

Nižší nasákavost cihly vzorku MP 1 naznačuje, že se pravděpodobně jedná o cihlu, která byla doplněna později, a to jak vzhledem k rozdílnému (vyššímu) obsahu vápenatých složek, tak i nižší nasákavosti.

Pro odhad výšky vypalovací teploty (polní pec málokdy dosahovala teplot blízkých se 1 000 °C) jsou shora prezentovány výsledky analýz rentgenové práškové difrakce, která podle identifikovaných krystalických fází napoví pro určení vypalovací teploty. V případech cihlářských výrob obecně a teplot podstatně nižších než 1 000 °C se zpravidla jedná o slinování v pevném stavu, kdy dochází ke slinování bez účasti taveniny. Nejedná se tedy o chemický proces, ale o proces fyzikální. Je však nevratný a vede ke snižování volné entalpie (tepelného obsahu) systému.<sup>15</sup>

#### Interpretace poznatků do oblasti výroby cihel

Protože cihlářská výroba nikdy nepoužívala pálicí pomůcky, tj. pouzdra,<sup>16</sup> desky<sup>17</sup> nebo oddělené prostory (zboží/spaliny), kde by byly výrobky separovány od přímého ohně, jako v případě majoliky a fajánse, je nutné se pozastavit nad další vlastností cihel. V cihlářství se používalo a používá rovnání zboží v ucelených „figurách“, tedy stavby cihel na výšku (tzv. na kant), podél a napříč křížem tak, aby spodní řada držela celou tíhu všech na ní nastavených pater. V té souvislosti je důležitá vlastnost páleného materiálu, kterou je tzv. únos-

nost v žáru. To je vlastně žárová odolnost cihel vystavených vysoké teplotě, která je definována jako hodnota maximálního zatížení keramické hmoty, aniž dochází k deformaci zboží vahou horních pater. Nízká únosnost v žáru by zbortila tvar a celou „figuru“ páleného zboží.

Protože obvyklá cihlářská spráše je vápenatá jílovina s vyšším nebo nižším obsahem písku a s obsahem různých forem oxidů (hydroxidů) železa, je limitní teplota pálení takového materiálu určena teplotou 800 °C, kdy dochází ke slinování v pevném stavu, železo současně oxiduje na červeně až hnědočerveně zbarvený hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Polní pec určená de Trauxem je primitivní pec s topnými kanálky po celé délce podlahy. Vlastní kanálky, nebo lépe podélná topeniště, byly vyskládány z lepších cihel,<sup>18</sup> protože přímo v nich probíhalo spalování. Na tyto otevřené kanály byly skládány syrové cihly do stanovených formací – figur tak, aby mezi nimi byl prostor na odvod kouře. Při délce kanálů (cca 10 m), při převodu z pěti fortifikačních sáhů (1,95 m) a dvou fortifikačních stop (32,5 cm), při maximální výšce 13 stop, tedy 422 cm, byla pec vytápěna dřevem z obou stran topných kanálů.<sup>19</sup> Výška pece tak vlastně mimo jiné definuje i únosnost v žáru hmot, ze kterých byly cihly vyráběny. Oheň volně prostupoval cihlami ve figurě s tím, že spodní cihly byly vystaveny vyšší

#### ■ Poznámky

**15** Vladimír Hanykř – Jaroslav Kutzendörfer, *Technologie keramiky*, Hradec Králové 2000, s. 102–104.

**16** Keramické materiály glazované byly chráněny v žáru vzdorných pouzdrech před úletem popela.

**17** Žáruvzdorné desky a podložky oddělovaly zboží, které by bylo žarem deformováno.

**18** De Traux určuje použití tzv. „černé hlíny“, tj. jílu s vyšším obsahem organické hmoty, pravděpodobně ale jílu s vyšším stupněm odolnosti proti vyšším teplotám.

**19** U peci vytápěných uhlím se přikládalo jen z jedné strany.





7

teplotě, zatímco krajní, tj. především horní cihly<sup>20</sup> nebyly pro fortifikace používány, protože byly nedostatečně vypálené. Pec (figura z nevypálených cihel) se po dostavění uzavřela hlínou, aby se v topeném prostoru udržela dosažená teplota a došlo k vyrovnání teplot v celém průřezu pece. Toto velmi staré pravidlo se stále v keramice potvrzuje: každou keramickou hmotu je třeba v dosažené teplotě tzv. „vyležet“, tedy pro kvalitní výpal není nutné teplotu nadměrně zvedat, ale je potřebné ponechat při nižší teplotě hmotě čas na to, aby v ní proběhly všechny potřebné rekrystalizační změny a vytvořily se nové, pevné a trvalé fáze, a to ideálně ve všech místech pecního prostoru a ve všech místech každé cihly.

Toho si byli cihláři samozřejmě vědomi, a proto se důsledně zabývali konstrukcí pece a současně respektovali délku pálicích kanálů i maximální výšku pece – zmíněná de Trauxova kniha upozorňuje, že vyšší pec by znamenala nepropálené zboží. V té souvislosti je třeba připomenout, že až do začátku 20. století nebylo obvyklé měřit teplotu v peci a vše bylo vázáno na zkušenosti a dovednosti osob obsluhujících pec – dosažená teplota se kontrolovala pomocí změny barvy pouhým okem.

Při množství vyráběných cihel a nutném spěchu k dosažení potřebného množství cihel je obdivuhodné, jak přesně dokázali paliči vést výpal, tj. přikládat rovnoměrně do všech topenišť (bez roštů), což znamenalo i potřebu vybírat popel před dalším přiložením. Z hlediska rozsahu a odpovědnosti práce (manipulace se dřevem) závislé na pravidelném, ale pomalém a rovno-

měrném přikládání dřeva v kouři a horku je nutné opětovně konstatovat, že v těchto primitivních podmínkách bylo dosaženo maxima.

Jedná se o mimořádná množství denně zpracovávaného materiálu a tomu odpovídá i nasazení pracovních sil a soustředění materiálového a finančního zabezpečení. Technicko-technologické podmínky výroby cihel v popísaném období byly takřka totožné, zatímco typ surovinové základny se měnil, o procesu třídění vypálených cihel bylo referováno takto:<sup>21</sup> „Samozřejmě ne každá cihla byla dokonalá, nebylo ale možné plýtvat materiálem. Proto se cihly rozdělily na kvalitně vypálené, které se daly použít na líčové zdivo, a ty ostatní. **Různě kvalitní byl i materiál** (zvýraznění v citovaném textu autor). Jeho kvalita ovlivňovala to, jak snadno se s cihlami pracovalo a jak odolávaly vlivům počasí. Například při stavbě Josefova se používaly cihly s **vyšším podílem jílových složek**. Byly **křehké**, a tak se s nimi hůř pracovalo, ale zato jsou **velmi odolné**. Cihly v Terežíně měly naopak větší podíl písku, a tak se s nimi dobře pracovalo, ale nejsou tolik odolné.“

Z uvedeného vyplývá, že rozhodující je kvalita suroviny a zachování maximální pozornosti při jejím zpracování, zvláště při sušení a pálení. Přesto je konstatováno, že „ne každá cihla je dokonalá“ – jednalo se tedy o výběr, o použití jen dobře vypálených, zvonivých cihel, jak určuje jednu z podmínek i Maximilian de Traux.

Zde je možné potvrdit i skutečnost, že obě pevnosti se pravidelně a opakovaně v následných letech (přinejmenším do roku 1888) opravovaly,<sup>22</sup> i když se ukázalo, že jejich

Obr. 7. Cihly použité v podzemních prostorách terežínské Hlavní pevnosti v kombinaci s opukou. Foto: Jana Hofman Formánková, 2015.

obranný charakter vyprchal s měnící se taktikou a vývojem vojenství.

Kontrola kvality, poprvé zaznamenaná již v roce 1783, vycházela z dopisu (ze dne 27. 4. 1783), v němž se již konstatuje určité zlepšení kvality cihel, ale současně se upozorňuje na nedostatky formování a především pálení. Z tohoto dozoru je patrné, že tzv. fortifikační cihelny byly kontrolovány přímo státem a smluvně dodávaly pouze pro účely výstavby pevnosti, a ačkoli podle smlouvy nájemce mohl tzv. deputát použít pro své účely, nesměl ho prodávat třetím osobám.<sup>23</sup>

#### Obecná pravidla

Z uvedených faktů pak vyplývá, že při respektování základních pravidel platných obecně pro keramické suroviny<sup>24</sup> a sprašové hlíny zvláště platí i dnes pro kvalitní výsledek tato základní ustanovení:

a) Vytěžená keramická surovina má být ponechána na volném prostranství po dobu minimálně 6–8 měsíců tak, aby působením prostředí (voda, změna teplot) bylo dosaženo optimální rozdělení jílových částic a vody, které se projeví zvýšenou plasticitou materiálu.

b) Základní zpracování materiálu – je třeba dbát na maximální homogenizaci celého objemu hmoty, aby neobsahovala velké různorodé částice (kamínky a vápenaté pecky – cicváry v případě cihel), protože tím se porušuje celistvost směsi.

c) Celistvý a plný objem tzv. pevnostní nebo fortifikační cihly vážící v syrovém stavu přes 10 kg obsahuje velké množství tzv. „rozdělovací vody“, tj. vody potřebné pro zpracování, a tato voda musí plynule a pomalu odejít předtím, než je cihla vložena do pece.

d) Pomalý a opatrný náběh teploty v peci i dosažení maxima musí respektovat charakter jílové substance cihlářské hlíny. Pozornost se

#### ■ Poznámky

<sup>20</sup> Často byly na horní straně páleny tašky.

<sup>21</sup> Vladimír Kupka et al., *Pevnosti a opevnění v Čechách, na Moravě a ve Slezsku*, Praha 2001, s. 28.

<sup>22</sup> Slavík et al., *Bastionové pevnosti. Průzkumy a opravy*, Ústí nad Labem 2014, s. 67–86.

<sup>23</sup> Srov.: Smlouva z 12. 12. 1781 o budoucí výrobě cihel pro stavbu pevnosti Terežín (pozn. 4).

<sup>24</sup> Tomáš Hanzlíček, *Keramik. Technologie a materiály pro SOŠ a SOU. Výroba keramiky a porcelánu*, Praha 2001, s. 9–45.

Obr. 8. Hlavní příkop před bastionem č. 5, v jehož blízkosti byly odebrány vzorky Rav. 18 a Rav. 19. Foto: Jana Hofman Formánková, 2013.

musí zaměřit na stanovení teploty výpalu, výdrž na teplotě s respektem k únosnosti v žáru.

Cihlářská výroba je základní keramická výroba. Obecně platí, že se používají nejčastěji vápenaté sprašové jíly s vyšším či nižším obsahem písku a tím je určen i charakter střepu – pórovitá struktura červeně (od žluté po tmavočervenou až fialovou podle obsahu barvicích oxidů železa, případně manganu) se pálicího střepu.

Podobně jako existovala diskuse ohledně rozdílů a definic majoliky a fajánsu, které byly považovány za různé kategorie, i když technologicky vycházejí ze stejných parametrů, je i cihla buď dobrá, nebo velmi dobrá, nebo prostě špatná. (Cihla, stejně jako majolika a fajáns, vychází ze stejného materiálového zdroje – obecně spraše.)

Fortifikační cihla tedy není z pohledu technologie žádná speciální cihla vytvářená zvláštními postupy a technicko-technologickou mimořádností, ale prostě dobře zpracovaná, dobře ošetřená a dobře pálená, přesto však úplně obyčejná cihla.

Při konstatování výše uvedených skutečností, včetně chemického složení a XRD analýz, vychází, že nelze povyšovat fortifikační cihlu na piedestal zvláštnosti, ale je třeba vycházet z toho, že žádná, tedy ani originální cihla není speciální. Cihla je a zůstane pórovitým střepem, a tedy bude vždy podléhat vlivu počasí, pokud není kryta omítkou nebo glazurou (viz majoliku a fajáns), bude třeba ji vždy nahrazovat a měnit. V případě pevnostního zdiva je třeba respektovat výše zmíněná technologická pravidla, aby spolu s výběrem spraší bylo možno zajistit maximální podobnost s cihlou původní, ale při využití technologie zpracování, která odpovídá 21. století.

#### *Specifikace pro výrobu cihel pro opravy a rekonstrukce*

Vycházíme-li ze zjištěných faktů a vyhodnocení kvalit původních barokních cihel, pak pro náhrady stávajících, rozpadajících se nebo chybějících cihel a se znalostí dnes dostupných výrobních procesů lze konstatovat, že na výrobu cihel pro opravy pevností v Terezíně je třeba použít:

- a) cihlářské spraše s obsahem CaO > než 5 hmotnostních %,
- b) jíly s minimálním až zanedbatelným množstvím velkých zrn ostřiva > než 2 mm,
- c) technologie pro dosažení kompaktního střepu.



8

d) Je nutné zajistit pomalé a dokonalé sušení vzhledem k hmotnosti surové cihly,

e) maximálně rovnoměrné rozložení teploty v peci a výdrž na teplotě minimálně 60 minut – teplota výpalu 750–800 °C.

f) Odchylky od definovaného rozměru 32 × 16 × 8 jsou povoleny v rozsahu + – 5 % rozměru (při skladbě cihly podél a dvě cihly napříč je tolerance velikosti lepší pro zajištění místa pro maltu mezi příčně kladené cihly).

g) Kvalitu vypáleného střepu zajistit metodou, kterou již navrhuje de Traux – poklep a ozvuk, který dokazuje kompaktnost střepu a míra znělosti pak potvrzuje dobrý výpal.

Zde je nutná osobní zkušenost a kontrola dodávek výběrem průměrného vzorku. Objektivnost lze zajistit měřením přístrojem Grindosonic.<sup>25</sup> Tento přístroj jednoznačně potvrzuje kompaktnost materiálu, jeho homogenitu, a jedná se tedy o nedestructivní metodu potvrzující správnost procesu výroby. (Odrázová vlna má přímou vazbu na pevnost.)

#### *Závěrem*

Na základě hlubšího poznání historických a původních cihel z pevnosti Terezín je možné identifikovat jak dobové výrobní postupy, tak i chyby, kterých se cihláři pod velkým tlakem dopouštěli. Tyto postupy lze reprodukovat i dnes, a to za využití běžných moderních cihlářských postupů, takže se budou nové cihly svými vlastnostmi co nejvíce blížit kvalitním cihlám původním. Přitom je třeba mít na paměti, že pórovitý cihelný střep bude dříve nebo později vždy rozrušován vlivem agresivního vnějšího prostře-

dí. Je tedy třeba, stejně jako v minulosti, počítat s pravidelnou péčí.

Současné nelze opomenout, že i vlastnosti malt na opravy zdiva pevnosti<sup>26</sup> a finální úprava zdiva by se neměly od původních v zásadních parametrech lišit. Tím budou udržovány jak vizuální, tak i fyzikální parametry pevnostního zdiva.

*Článek vznikl v rámci institucionální podpory DKRVO, výzkumné oblasti IV. Materiály a technologie pro obnovu a údržbu památkového fondu.*

#### **■ Poznámky**

**25** Srov.: GrindoSonic® SA Semi Automatic system for 100 % production Quality Control, Grindosonic, [http://www.grindosonic.com/products/GrindoSonic\\_SA.html](http://www.grindosonic.com/products/GrindoSonic_SA.html), vyhledáno 20. 8. 2020.

**26** Malty jsou v Technologické laboratoři NPÚ zkoumány a výsledky výzkumu budou tématem navazujícího článku.