

FUNKČNÍ VZOREK - Vápenná pec pro malovýrobu tradičních vápenných pojiv

Definice: Výsledek „Funkční vzorek“ realizoval původní výsledky výzkumu a vývoje, které byly uskutečněny autorem nebo týmem, jehož byl autor členem. Jedná se o obdobu prototypu, pouze s tím rozdílem, že za vývojem či výrobou funkčního vzorku bezprostředně nenásleduje nultá série či sériová nebo hromadná výroba. Jedná se např. o návrh, vývoj a následnou výrobu jednoho unikátního přístroje nebo laboratorního zařízení nebo vytvoření vzorku biologického charakteru, nesoucího prokazatelně novou unikátní a zároveň hospodářsky významnou vlastnost. Za takový výsledek může být považován pouze takový výrobek, přístroj nebo vzorek biologického charakteru, jehož vývoj byl cílem řešení projektu aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací nebo jiných aktivit aplikovaného VaVaI. Podmínkou je novost a unikátnost návrhu funkčního vzorku, která je doložitelná technickou nebo obdobnou dokumentací výsledku.

1 úvod

Funkční vzorek malé vápenné pece (obr. 1) byl vyvinut pro zakázkovou výrobu vápenných pojiv, při zachování tradičních postupů majících vliv na kvalitu vápna, tak aby byl vyráběn památkově autentičtější materiál. Nabízí také alternativu k běžně vyráběným vápenným pojivům a v neposlední řadě poskytuje technologickou podporu pro využívání vápna při opravě historických objektů tak, aby se výsledek co nejvíce přibližoval své historické předloze.



Obr. 1 Funkční vzorek vápenné pece pro malovýrobu vápenných pojiv

V tabulce 1 jsou shrnuty základní parametry pece.

provoz	Palivo	vsázka vápence	velikost frakce	celková doba výpalu	teplota výpalu	úspěšnost výpalu
Tradiční	Dřevo	900 kg	50-300mm	30h	900-1200°C	90%
Mix	Uhlí, dřevěné brikety	500 kg	20-50mm	12h	900-1000°C	80 - 90%

2 Popis pece a souvisejících technologií

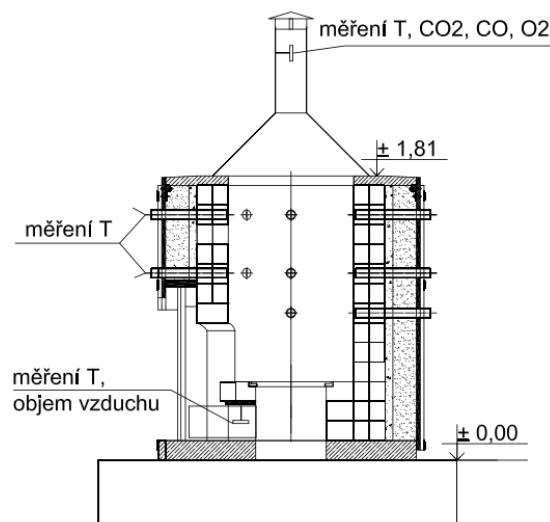
- Návrh – cíle návrhu

Návrh je cílen, aby funkční vzorek umožňoval výpal vápence tak, aby celý proces byl srovnatelný s technologiemi používanými v době od cca 12. do pol. 19. století. Jako zásadní charakteristiky takového technologického procesu byly uváženy: použití dřeva jako paliva; způsob skládání kamene do pece; „ruční“ plnění, přikládání paliva a výběr vypáleného vápence. Na druhou stranu musí být pec i univerzální a tudíž umožňovat výpal i hydraulických vápen při vyšších teplotách za použití uhelného paliva.

Díličními prvky návrhu byly nároky na trvanlivost pece, jednoduchost obsluhy, bezpečnost provozu a v neposlední řadě demontovatelnost. Pro naši vědeckou činnost byla v procesu návrhu uvažována také možnost monitoringu procesu výpalu.

- Konstrukce pece

Vlastní konstrukce pece je uvedena na Obr. 2. Pec tvoří malá cylindrická šachta o vnitřním průměru 0,8m a výšce 1,3m nad litinovým roštem. Vnitřní vyzdívka je z šamotových cihel zděných na hliněnou maltu. Konstrukce je obalena žáruvzdornou izolací o tl. 50mm. Z vnější strany je pec stažena obručkami a dřevěným pláštěm z prken kladených na svislo. Prostor mezi venkovním dřevěným pláštěm a izolací je vysypán vápencovou drtí frakce 0-4mm. Primární přívod vzduchu zajišťuje otvor, který nasává vzduch přes popeliště a skrz rošt je přiveden do pece. Sekundární přívod vzduchu (při použití dřeva jako plniva) je umístěný ve dvířkách. Hlavu zdiva a pece zakončuje litá 6cm tlustá deska z betonu z Románského cementu. Deska byla po zatvrdnutí rozřezána na segmenty, které zajišťují dilataci při roztažnosti ohřevem. Segmenty je též možné vyjmout např. pro inspekci zásypu. Pro monitorování spalin a případnou regulaci tahu je na hlavu pece možno nasadit kuželový nástavec s komínem.



Obr. 2 Řez pecí

3 Provoz pece

Pec je konstruována na výpal přibližně jedné tuny vápence a to v dvou různých variantách výpalu. První používá jako palivo dřevo, které hoří v ohništi pod klenbou tvořenou vsázkou vápence. Ve druhé

variantě výpalu, je vsázka smíchána s palivem. Jako palivo pro tuto variantu lze použít dřevěné brikety nebo uhlí. V obou variantách se při výpalu pec zahřívá různoměrně a proto vnitřek pece dělíme na studené zóny (vnitřní strany a vrch pece) a teplé zóny (klenba a střed pece). V závislosti na zóně je volena velikost frakce vsázky.

- Tradiční výpal dřevem

Při tradičním výpalu dřevem je z vápence nutné ručně poskládat klenbu nad ohništěm, která následně nese celou vsázku vápence. Pro tvorbu klenby jsou vhodné větší kusy vápence (až 300mm) klínového typu s ostrými hranami. Následně je vsázka vápence vyskládána až po horní okraj pece a ve studených zónách vysypána menší frakcí (50mm). Pec se zapaluje přímo v topeništi a následně se startuje fáze vysychání, která trvá cca 2-3 hodiny, po fázi vysychání se láduje dřevo každých 30 minut do dosažení kalcinační teploty 900°C. Jako palivo se používá borové a dubové dřevo. Po dosažení této teploty následuje kalcinační fáze, která trvá 12 hodin a dosáhne se tím úplného vypálení vsázky. Po této době se pec nechá vychladnout po dobu jednoho dne a vypálený vápenec může být vybrán a použit pro následné zpracování.



Obr. 3 ukázka klenebního prostoru vyskládaného z vápence – tradiční vytvoření prostoru ohniště.

- Směsné plnění

Při směsném plnění je vsázka mísená s palivem v poměru 1:2 – 1:3 a touto směsí je naplněna pec v celém svém objemu, viz. obr. 4. Pro směsné plnění je použito frakce 20-50 mm v chladných i teplých zónách pece. Vsázka se zapaluje skrz popeliště a po té palivo samovolně prohořívá až k vrchu pece. Doba tohoto procesu je závislá na druhu paliva a jeho poměru k vsázce. Po vyhoření paliva se nechá pec jeden den vychladnout a vsázku lze po té vybrat a použít pro následné zpracování.

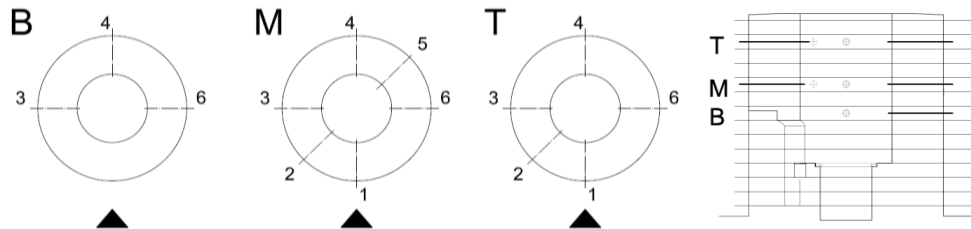


Obr. 4. Směsné plnění vápence a dřevěných briket v poměru 3:1 váhově.

- Kontrola výpalu - monitoring

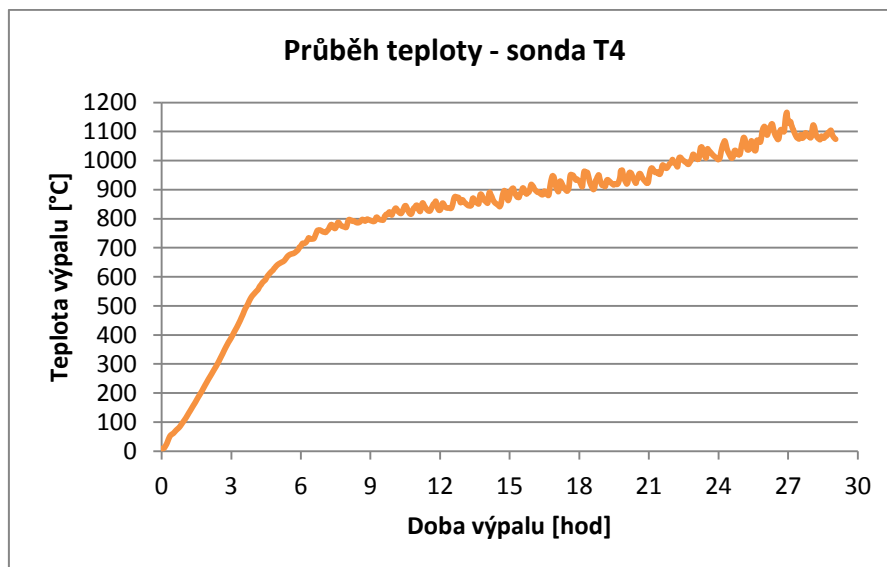
Pro popsání rozložení teplot v peci je během celého procesu výpalu monitorována teplota ve třech horizontálních profilech a třech osách pomocí termočlánků typu S. Většina teplot je sledována po

obvodu, ale ve třech pozicích je možno sledovat i teplotní profil od středu k obvodu. Dále je monitorován obsah kyslíku u ve spalinách v komíně, rychlost proudění vzduchu na primárním přívodu vzduchu a tlak okolního prostředí. V komínovém nástavci probíhá také monitoring CO₂ pro sledování průběhu výpalu a CO pro sledování účinnosti spalování.



Obr. 5 Zóny a polohy měření teplot termočlánky typu S

Na obrázku 6 je záznam naměřených hodnot z termočlánku T4, který měří teplotu ve středu pece a cca 30 cm od vrcholu vsázky.



Obr. 6 Průběh teploty během tradičního výpalu.

4 Zhodnocení

- Efektivita výpalu

Efektivita výpalu je vypočítána ze vztahu:

$$E = \frac{H_c * L_s}{C_f * M_f}$$

E – efektivita výpalu, H_c – teoretická spotřeba tepla pro tunu čistého vápence (MJ/t), L_s - obsah CaO ve vápenci, C_f - výhřevnost paliva (MJ/kg), M_f - množství paliva na tunu vápence (kg/t)

V tabulce 2 jsou hodnoty efektivit výpalu. Lze vidět, že účinnost přeměny vápence je vysoká 90%, ale také je vysoká spotřeba paliva, která celkovou efektivitu výpalu snižuje na hranici 25%, kde je cílem dosažení hodnoty 50%. Vypočtená efektivita E je vhodná pro porovnání výpalů mezi sebou a určování relativní efektivit. Efektivitu E* lze porovnat s ostatními vápennými pecemi. Zde je nutné

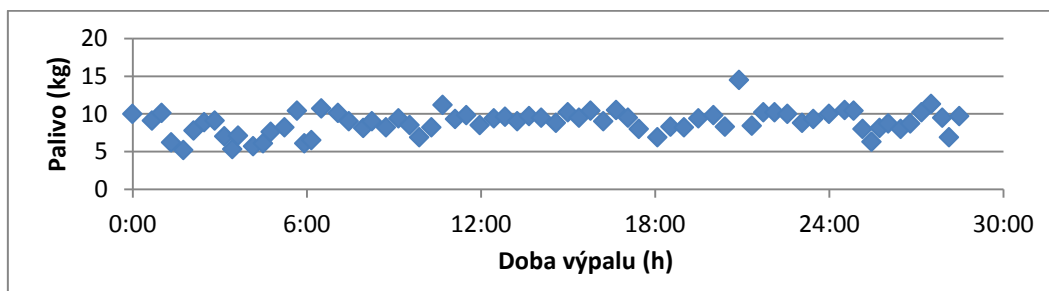
dotat, že u tradičních technologií nelze očekávat vysokou efektivitu s ohledem na spotřebu paliva či technologické procesy.

Tabulka 2: Zhodnocení efektivity výpalu

Výpal	Vápenec	Dodané teplo				Potřebné teplo k rozložení CaCO ₃					Efektivita	
		Spotřeba paliva	Doba výp.	Palivo	Teplo	Vsázka váp.	CaO	Účinnost výpalu	Produkovávané CaO	Teplo	E	E*
		Kg	h	kg/h	MJ	Kg	%	%	%	MJ	%	%
III	CS	635	28,5	22.3	10541	894	99	90	89.1	2549	24	38

- Spotřeba paliva

Pro tradiční variantu výpalu je spotřeba paliva cca 28kg/hod a celkové množství závisí na délce výpalu, která je zásadně ovlivněna povětrnostními podmínkami. Na obr. 7 je možné vyčíst četnost přikládání pro výpal v dobrých klimatických podmínkách.



Obr. 7 Příklad četnosti přikládání po celou dobu výpalu

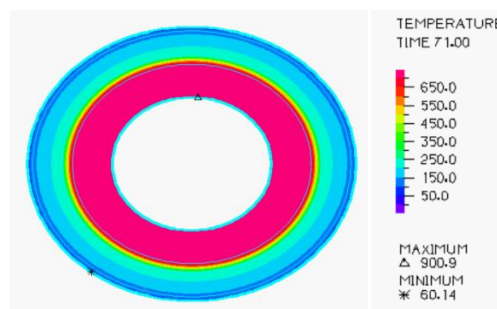
Pro směsné plnění je spotřeba paliva závislá na zvoleném poměru paliva ku vápenci.

- Bezpečnost

Bezpečnost práce a vlastního okolí pece je zajištěna díky vrstvené konstrukci a dostatečnému odizolování vlastní šachty, viz obr. 9, kde můžeme vidět rozložení teplot při dosažení 900°C na vnitřním okraji pece. Jediným místem s výskytem vysokých teplot a tím potencionálního nebezpečí je otevřené topeniště při přikládání paliva. Toto nebezpečí je minimalizováno použitím bezpečnostních pomůcek jakými jsou žáruvzdorné rukavice, zástěra a štít, viz. obr. 8.



Obr. 8 Používání ochranných prostředků



Obr. 9 Model šíření tepla v profilu stěn pece

Přílohy

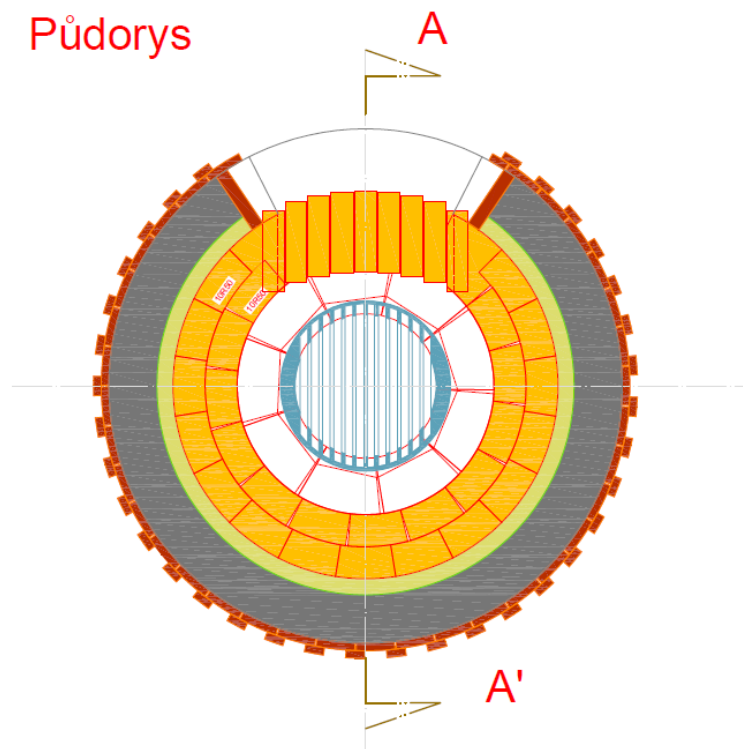
Obsah:

1 - výkresová dokumentace

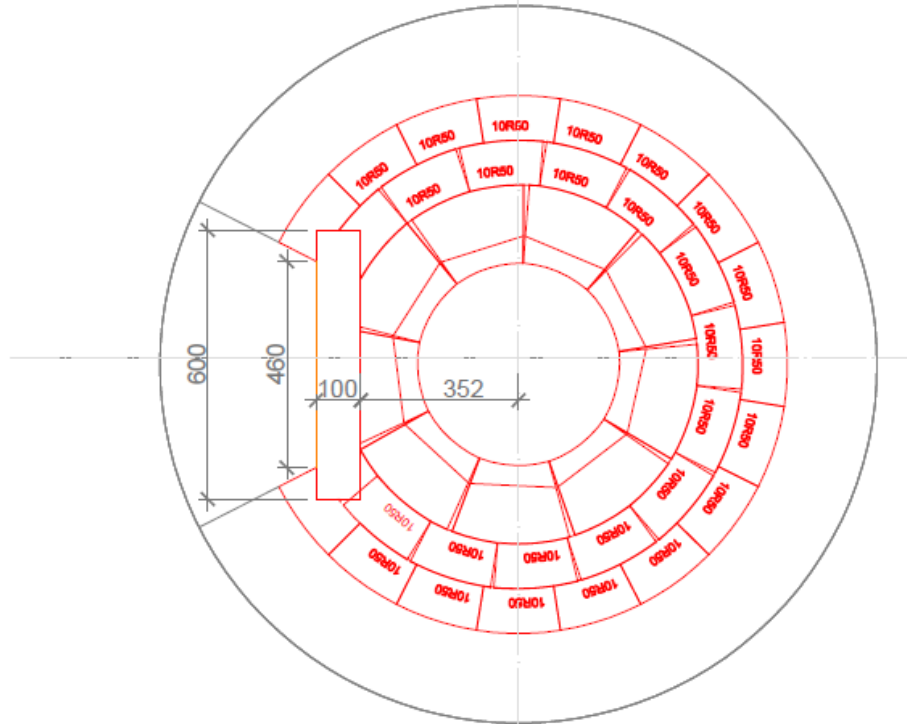
2 -fotodokumentace

DVD – ukázka výpalu

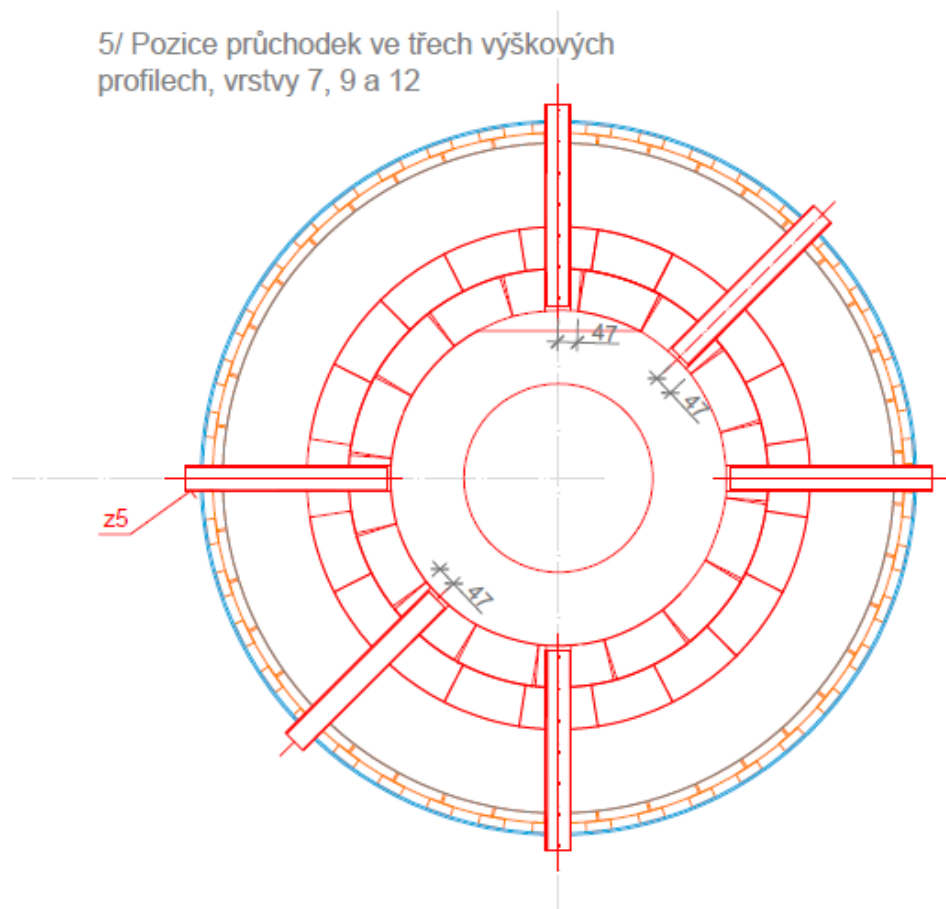
1- Výkresová dokumentace

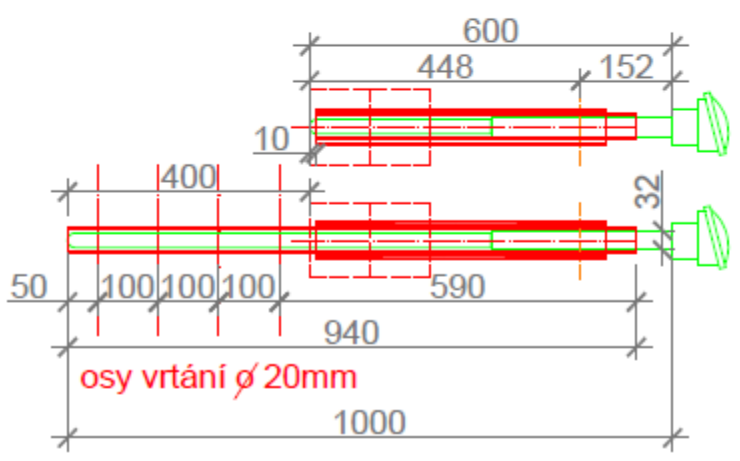
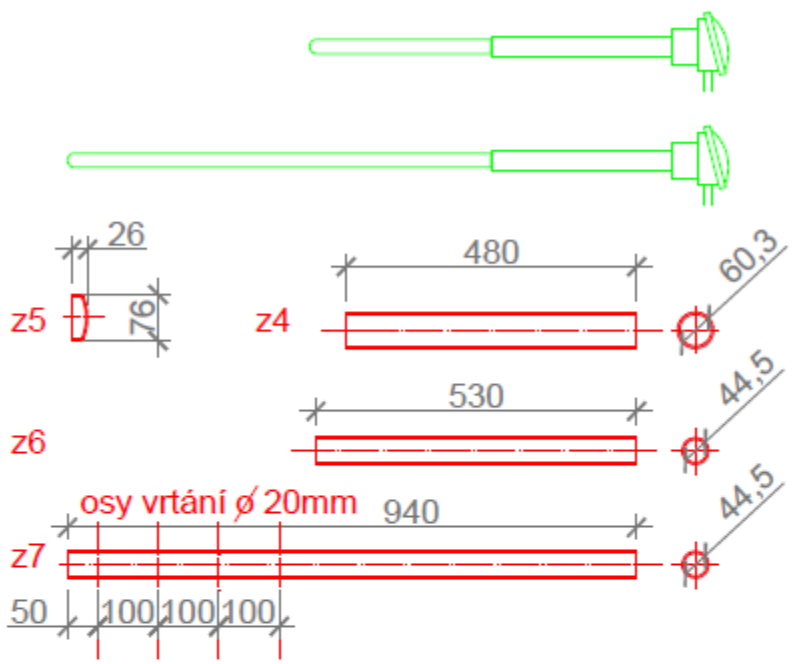


3/ Třetí vrstva šamotové vyzdívky
uložení překladu, uložení roštu

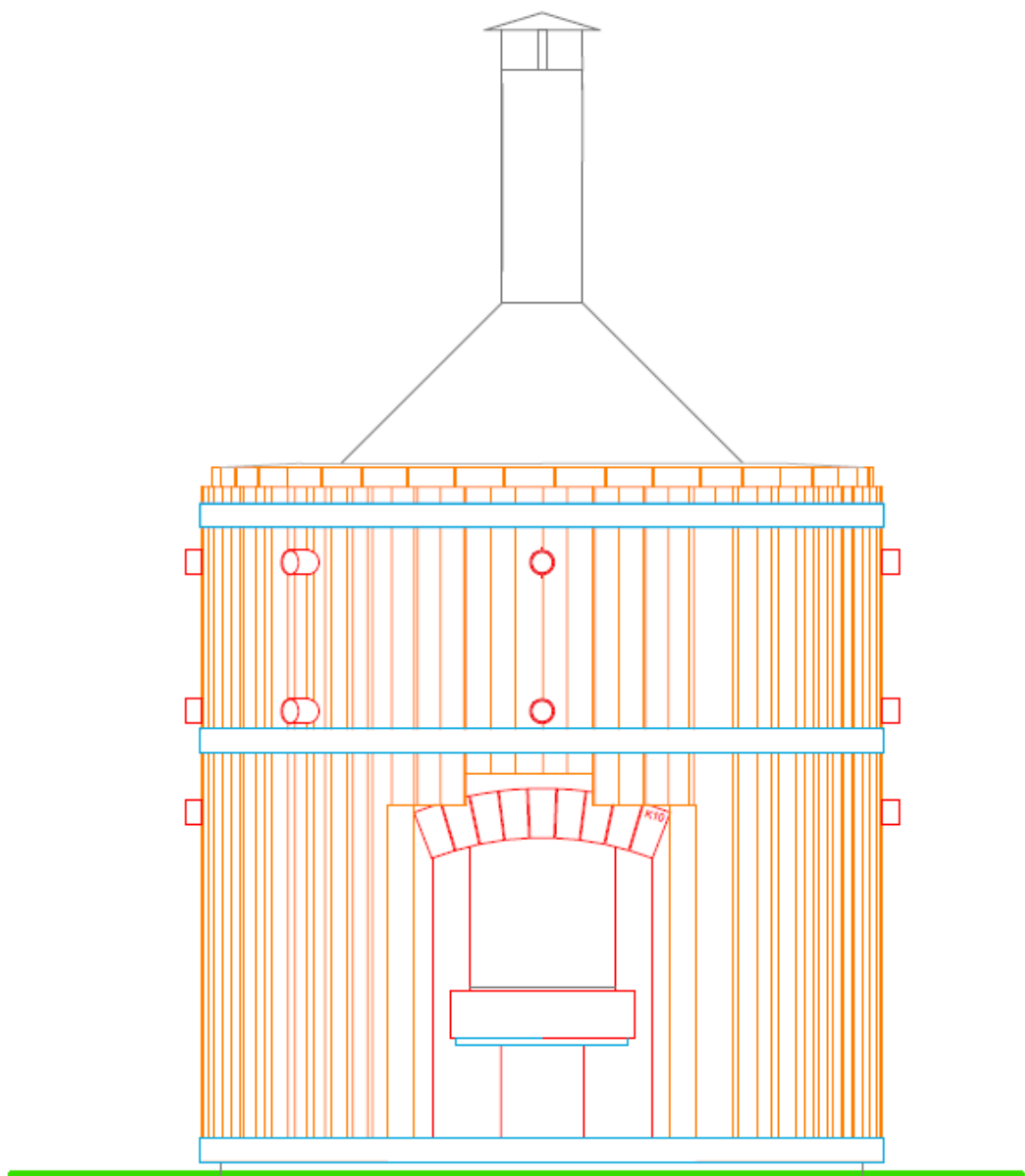


5/ Pozice průchodek ve třech výškových
profilech, vrstvy 7, 9 a 12

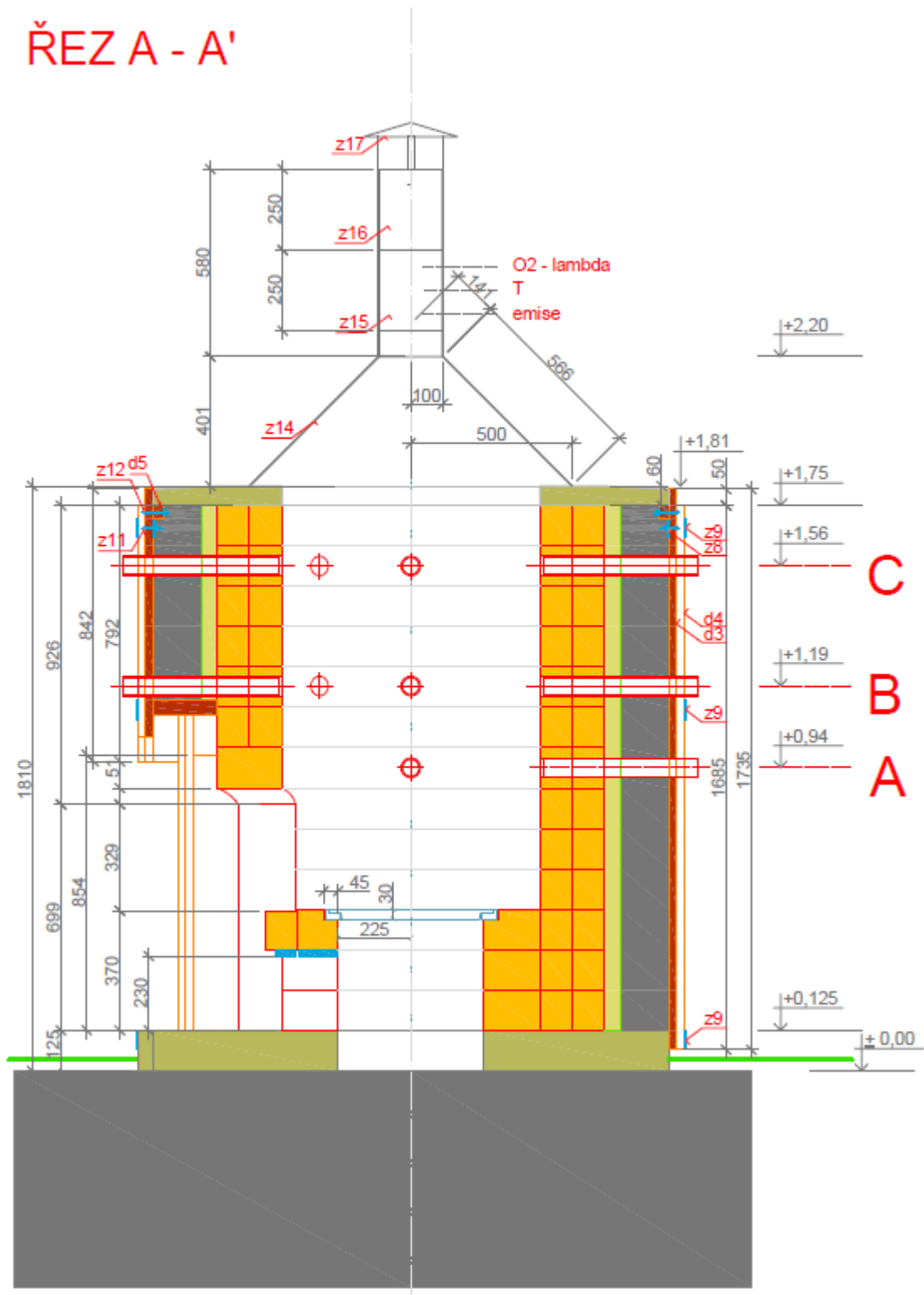




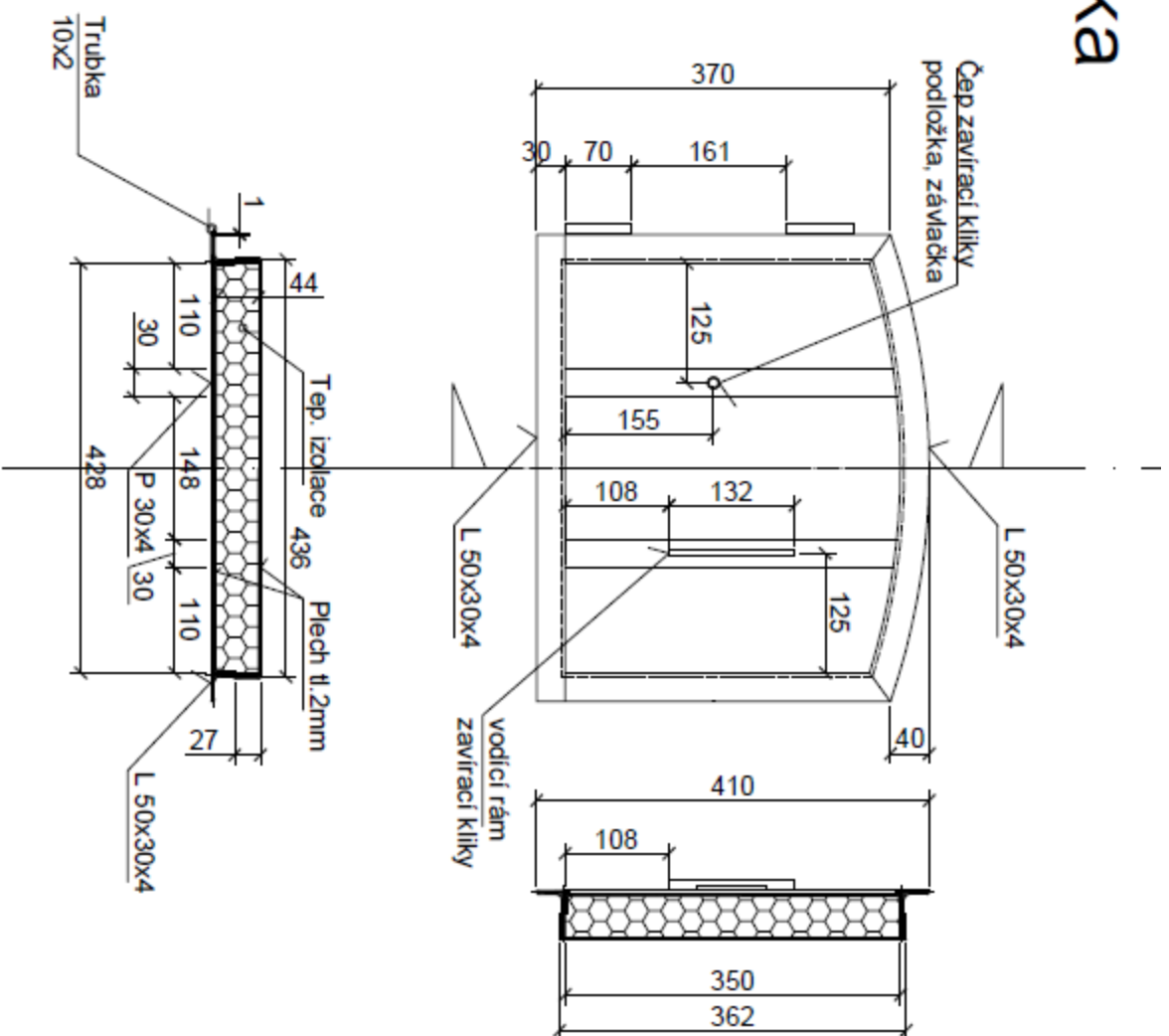
POHLED



ŘEZ A - A'



Dvířka



2 -fotodokumentace

Stavba funkčního vzorku





Provoz









Zpracování vápna



