

Vyhodnocení použitého postupu, materiálu a vybavení během tavby a návrhy na úpravu



Téma	Popis	Plusy	Minusy	Návrhy	Závěry
Literatura	Barák (Tavba v peci s tenkou hrudí - DP) Z. Opava (Chemie kolem nás) Adamcová D. (SOČ)				
Shánění rudy	Sběr Ejповice u Plzně, na břehu vodní nádrže (Obr. 1) Oolitická sedimentární Fe ruda, hematit, kovnatost do 30% NESBÍRAT RUDU V OBLASTI PP EJPOVICKÉ ÚTESY Množství sebrané rudy - cca 105 kg rozděleno do čtyř pytlů.	Snadno dostupné, velmi snadno dohledatelné, snadno identifikovatelné i pro laiky.	Oolity tvoří různě tlusté povrchy prachovcových kongrecí (jakýchsi jader), nelze je dost dobře oddělit - snižuje účinnost tavby u už tak málo koncentrované rudy	Zkusit jiné druhy rudy (například Ralská pahorkatina), a také rudu zakoupenou Rudu rozhodně pražit (viz dále) a po vypražení držet v naprostém suchu a drit na kusy do 1x1 cm (viz Obr. 2). Na sběr rudy si vzít transportní vozík (nějakou kárku) - od přítoku k autu cca 500 m, při 25 kg na pytel je to poměrně náročný transport v rukách)	Vzhledem k tomu, že nějaký výtěžek byl (148 g čistého Fe ze 35 kg magnetitu) tak se lze s tímto typem rudy spokojit (výhoda dostupnosti)
Jíly	WBTS žáruvzdorný, drcený, cca 350 kg. Zpracování šlapáním s vodou a příměsemi v poměru 4 kýble jílu, 4 hrsti písku, 2 kýble vody, 3 hrsti suché trávy KERACLAY, a.s. Brník 76 281 63 Oleška Charakteristika v Tab. 1 dole	Nadrceno, dobře nasáká a lze dobře zpracovat, je levný (cca 100 Kč/100kg v roce 2018)	Rozpad pece po vypálení - nesoudržný střeš (možná chyby v příměsích?)	Konzultace, zda zvolený jíl nelze nahradit a nebo doplnit materiálem, který by zlepšil slinování a po výpalu lépe držel pohromadě - odborník (dohledat)	Pro dané účely (jednorázová, nebo jednou) opakovaná tavba. Na jednu pec by stačilo 200 kg jílu s přehledem.
Písek - ostřivo	křemenný, 0,2-2mm - přimíchávání písku odhadem (4 kýble jílu, 4 hrsti písku, 2 kýble vody, 3 hrsti suché trávy),	Je často v místě, není třeba transport	Nevytříděnost - větší zrna infiltrovala vsázku	Konzultace - odborník ověřit (dohledat)	Místní materiál; nevíme, v jakém poměru míchat

Téma	Popis	Plusy	Minusy	Návrhy	Závěry
Pojivo	Juta 120 g/m2 geotextilie 300x110cm ve dvou kusech, před vestavěním namáčená ve vodě, použita při stavbě komína pece (Obr. 3) Suchá stébla travin (seno) v malém množství (jedna otep nasekaná na cca 10 cm dlouhé kusy), použita v jílu při stavbě komína pece i při vymazávání základů	Podrží jíl, pec velmi dobře držela tvar, během vysychání a výpalu jsou vzniklé pukliny poměrně zavřené (vlasové), lze snadno dotěsnit, nedochází ke vzniku velkých puklin.	Zbyde pouze uhlík, rozpadá se na drobné částice - vznik dutin ve stěně pece (viz Obr. 4 a Obr. 5.)	Menší gramáž juty - menší dutiny, funkce stejná; vyzkoušet vymáchat před vestavěním do pece v řidší jílové kaši tak, aby se obalila jednotlivá vlákna (ne pouze svazek vláken)	Pravděpodobné vhodné doplnění pro stavbu pece
Podpurné prvky (pruty)	Pruty proschlé lísky a náletů javorů - zapíchnuty do základny pece ve směru stěn komínu, ale až po nanesení prvních dvou vrstev jílu a první vrstvy juty , podírají horní okraj druhé vrstvy jutové sítě. Vše překryto třetí vrstvou jílu.	Pomáhá držet tvar, nedochází k borcení pece v dolní části vlivem tlaku horní části komínu (sesedání pece). Během tavby zcela zuhelnatí a zanechávají dutiny vyplněné křehkým uhlíkem, podobně jako jutová tkanina na Obr. 4	Způsobuje vypraskávání pece ve fázi vypalování (první hodiny tavby). Klacky se mohou bortit, pokud jsou příliš tenké, nebo nejsou rovné (zalomené, se zahnutím). Může docházet k vyboulení z pece při sesednutí jílu během vysychání. Je také možné, že pruty přispívají k menší celkové pevnosti střepu pece po tavbě a při vymlacování Fe houby z pece mohou působit dutiny po nich jako slabá místa.	Podpurné pruty ne příliš tlusté, ale ne úplně tenké a měkké (například kolem 0,5 - 1 cm v průměru), určitě co nejrovnější a co nejsušší a pouze do vnější vrstvy jílu a juty.	Podpurné pruty pomohly udržet pec v perfektním tvaru, vypraskávání se podařilo opravovat poměrně snadno.
Dřevěné uhlí	kovářské, drobně drcené (velikost zlomků do 2x1cm) Uhlí objednané z: http://www.lamiaceae.cz/product/drevene-uhli-z-bukoveho-drvi-kovarske-50-litru12kg-149/	Vysoká výhřevnost. Uhlí v pohodě dosáhlo požadované teploty 1200°C	Uhlí bylo málo a museli jsme s ním šetřit	Pořídit víc uhlí, i kdyby mělo nějaké zbyť.	Uhlí mělo dostačující výhřevnost; pro tavbu by bylo lépe ho pořídit více, aby se nemuselo šetřit
Žáruvzdorné trubky	Firma PROPEC Žáruvzdorná keramická trubka vyrobená z materiálu PYROXAL 50, průměr 50/40 mm Délka trubky cca 55 cm (jeden konec nebyl přesně uříznutý) - 5 cm přesah do pece za dvířky, cca 7 cm ve dvířkách	Vydržela, neodkapávala, pouze se zanášela tuhnoucí struskou. Funkci dokázala v pohodě plnit celou dobu tavby. Gradient chladnutí po délce byl také dostatečný,	Složité opracování (diamantový kotouč s chlazením)	Z hlediska přípravy tavby nejnáročnější na sehnání - nepodceňovat	Použitá žáruvzdorná trubka vyhovovala

Téma	Popis	Plusy	Minusy	Návrhy	Závěry
	pece a 43 cm z pece	takže přechod na kovovou trubku a plast vysavače byl bez problémů			
Místo na tavbu	Blízkost elektřiny, nepřítomnost kořenů v písečném podloží, dostatečná vzdálenost od stromů (větve min 10 m od svislé osy komína pece) a dostatečná vzdálenost od lidských obydlí (hluk při tavbě v noci). Fotogenické pozadí kvůli výstupu "časosběr" a celkové fotodokumentaci.			Zvětšit vzdálenost od stromů	Místo bylo zvoleno poměrně dobře
Kopání základů	Nístěj, předsazená vana na vyndávání materiálu z pece (Obr. 6Obr. 7), větší vana (cca 1x1m) na šlapání jílu			Uschovat drny, vanu na šlapání jílu klidně postavit z klád, předsazená vana by mohla být i trochu větší (plochou). Hlídat si symetrii základu (Obr. 7)	
Stavba kopyta	Kopyto převážně z lískových prutů a javorových náletů, jádro tlusté rovné kusy, středový nejdelší na ukotvení k trojnožce (Obr. 8), ke kraji pruty slabší a kratší (delší, než předpokládaná výška pece od spodku nístěje, Obr. 9). Po svázání do požadovaného průměru kopyto obaleno a vycpáno trávou tak, aby vnější stěny kopyto po obalení igelitem byly co nejhladší Obr. 10	Zjednoduší stavbu pece, pruty lze z vyschlé pece velmi snadno rozebrat.	Kopyto může při pohybu (náraz do trojnožky) ulomit komín pece od základny, opatrnost při pohybu a manipulaci.	Válec kopyta by bylo možné udělat ještě pravidelnější pomocí jílu například. Igelitová vrstva by zajistila i tak izolaci kopyta od stěn pece). Možná by se prodloužilo vysychání.	Kopyto pro stavbu rozhodně použít, zajistit co nejhladší povrch bez zvlnění (větší nutnost vymazávání hotového komína a riziko vzniku nesoudržných vrstev jílu na vnitřku pece). Postup byl dobrý.
Pražení rudy	V otevřeném ohništi na středně velkém ohni. Nejdříve vrstva žhavého (cca ½ - 1 hodina intenzivního topení), poté přikládat zejména na střed ohně přiměřeně kusovou rudu (nesypat, vkládat, nezakrýt celou plochu) a poté vždy znovu vrstvu dřeva (Obr. 11). Nechat prohořet, ještě jednou přiložit a opakovat do vypražení rudy. Po vypražení nenechat ohniště zmoknout (vyjmout rudu před deštěm). Vyjímání rudy pomocí rukavic (čištění od	Rozhodně lepší výsledek tavby (viz literatura Barák - citace). První redukce mimo pec, snížení spotřeby uhlí, zvýšení kapacity tavby atp.	Složitá separace malých vypražených oolitů (nejbohatších částí sedimentu) od popelovin - časové náročné. Riziko deště na otevřeném ohni.	Pražení by bylo vhodné provést na dostatečné rozměrném a silném kusu plechu, ideálně se zvednutými okraji. Po vychladnutí by se odstranily kusy uhlí, vyfoukaly vysavačem lehčí kusy popela. Problém s transportem a výrobou takového plechu by ale pravděpodobně	Otevřené ohniště plně postačí, je potřeba vyčlenit síly na separaci vypražené rudy z ohniště. Ideálně spojit rovnou s drcením (foto). Rozhodně rudu udržet po vypražení v suchu, v opačném případě nutnost opakování pražení (vysoušení rudy).

Téma	Popis	Plusy	Minusy	Návrhy	Závěry
	přebytečných částic popela ručně, proudem vzduchu), u menších kusů nutná separace magnetem (přeměna Fe_2O_3 (hematit) - Fe_3O_4 magnetit)			zastínil výhody..	
Stavba pece	První den vymazat základnu cca 2- 3 (i 5) cm jílu v celé ploše (Obr. 12), nechat trochu proschnout do druhého dne. Druhý den přesunout trojnožku nad základnu, vložit kopyto do nístěje a zafixovat jej ve svislé poloze k trojnožce (přizpůsobit polohu trojnožky), například přivázat vodící prut kopyta ke křížení trojnožky (viz Obr. 8)				
Vysychání	Po stavbě pece se pec nechá dostatečně vyschnout, tvořící se pukliny jsou v průběhu zamazávány		Kvůli času bylo vysychání zkráceno a místo toho byla pec vysoušena ohněm - při tom velmi popraskala	Při dostatku času nechat schnout, jinak vysoušet ohněm podle návrhu níže	
Vyjímání kopyta	Nejprve je opatrně odebrána trojnožka, aby se nepohnulo s kopytem a neulomil se komín pece. Poté jsou z komína vyjímány jednotlivé pruty - postupně a opatrně, aby se nepoškodil komín. Nakonec je z vnitřku komína odlepen igelit a vyjmuty zbytky trávy	Kopyto bylo dobře udělané, drželo komín spolehlivě – díky složení z více prutů se dobře rozebíralo, aniž by došlo k poškození pece	Vycpání trávou nebylo úplně dostačující, vnitřek pece byl poté velmi hrbolatý – bylo nutné dovymazat jílem, který ale při stavbě často odpadal.	Lépe vycpat kopyto trávou nebo jiným materiálem a dostatečně nahnout igelit kolem prutů, aby bylo kopyto co nejvíce hladké	
Vyřezání dvířek	Dají se vyříznout nožem a pilkou na železo. Řeže se od rohů doprostřed. S jílem problém není, ale při řezání juty může pec rozkmitáním juty prasknout. Mělo by se řezat, když ještě pec není 100% zaschlá.	Řezání jde poměrně snadno	Riziko popraskání pece, nástroje se občas lámou (především pilka na železo)	Nutno mít připraveno více nástrojů pro vyřezání, během práce se lámou	
Sušení pece	Po vyjmutí prutů, vymazání pece a zamazání prasklin byl v peci rozdělán oheň (Obr. 13) - topilo se dřevem. Topení v peci probíhalo jeden den. Během vysoušení pece byly zároveň na peci vysoušena dvířka. Další den byla pec	Při nedostatku času na sušení pece je dobré pec vysušit ohněm. V peci je poté stejně nutné rozdělát oheň kvůli začátku tavby	Pec hodně popraskala, během vysoušení ohněm se z vnitřku pece odlamovaly velké kusy jílu - až 1 cm silné (Obr. 14)	Příště (při dostatku času) nechat pec déle schnout bez zatápění a poté až rozdělát oheň, ale malý a případně potom zvětšovat - nerozdělávat velký oheň	Sušení se při nedostatku času na vyschnutí osvědčilo, bylo by dobré rozdělát menší oheň, aby pec tolik nepraskala. Uhlíky poté byly použity

Téma	Popis	Plusy	Minusy	Návrhy	Závěry
	nově vymazána, opraveny praskliny a znovu byl rozdělán oheň (na peci bylo tentokrát sušeno dřevo, které zmoklo). Ke konci druhého dne vysoušení byly z pece vyhrabány téměř všechny žhavé uhlíky (Obr. 15) - posloužily při začátku tavby. Uhlíky se špatně vytahovaly z nístěje - příliš velká lopatka/malá dvířka vůči lopatce			hned ze začátku -> velká změna teploty, velké množství vody se odpařuje a pec praská	při začátku tavby.
Úprava dvířek na dyšnu	Do vyříznutých dvířek byl cca 7 cm od jejich dolního okraje vyříznut otvor na žáruvzdornou trubku, která byla do dvířek zasazena tak, že byla v mírném náklonu směrem do pece. Jako u vyřezávání dvířek by se mělo řezat když dvířka nejsou 100°zaschlá. Trubka pak byla v dvířkách utěsněna jílem a nechala se schnout. Není vhodné mazat jíl příliš po trubce – mohl by popraskat.	Otvor šel vyříznout relativně snadno. Při práci bylo dobré začít menším otvorem a postupně ho zvětšovat. Při vyřezávání se osvědčili kuchyňské nože různých velikostí a zapalovač pro přerušení jutové tkaniny v místech vyřezávaného otvoru.	Při řezání a manipulaci mohlo dojít ke zlomení dvířek. Je nutné pracovat opatrně, aby bylo možné dvířka použít.	Je dobré použít předem vyříznutá dvířka a upravit je, než vytvářet nová - lépe sedí do otvoru v peci.	Trubka byla do dvířek zasazena dobře - během tavby nepraskala kolem trubky. Vhodné bylo použít vyříznutá dvířka - dobře seděla do otvoru v peci.
Dmýchání a dmychadla	Dmýchalo se dvěma dvoucestnými vysavači. Vysavač byl napojený na žáruvzdornou trubku, která byla ukotvena ve dvířkách. Zezačátku se dmýchalo zhruba polovinu času, později se dmýchalo neustále na plný výkon.	Vysavače běžely dobře, nebyl problém s přehříváním. Vzdálenost vysavače od pece byla dostatečná.	Nedmýchalo se celou dobu.	Příště dmýchat pořád celou dobu, i při přikládání, protože riziko úrazu při přikládání se zapnutým vysavačem je minimální. Oproti tomu, je riziko že kychtové plyny zhasnou velmi vysoké	Dmýchat kontinuálně se slabším výkonem - pokud není nutné, vysavače nestřídat.
Založení pece dřevěným uhlím - začátek tavby	Na začátku tavby bylo do pece nasypáno velké množství uhlí tak, aby byla plná zhruba 2 cm pod horní okraj kychty	Uhlí dříve nebo později prohoří, proto je lepší mít pec celou naplněnou než postupně přikládat.	Spotřeba uhlí je extrémně vysoká.	Dmýchat celou dobu i přes vysokou spotřebu, neustále přikládat	
Vsázka před zapálením kychtových plynů	2-3 lopatky uhlí za 15 minut aby byla pec pořád plná. Plyny začali hořet 5 hodin a 10 minut po zapálení. Ruda se nevsazovala		Uhlím bylo potřeba šetřit - bylo ho málo	Upravit výkon vysavače a vsázky uhlí podle množství uhlí, které je k dispozici k tavbě	Vsázky byly vyhovující

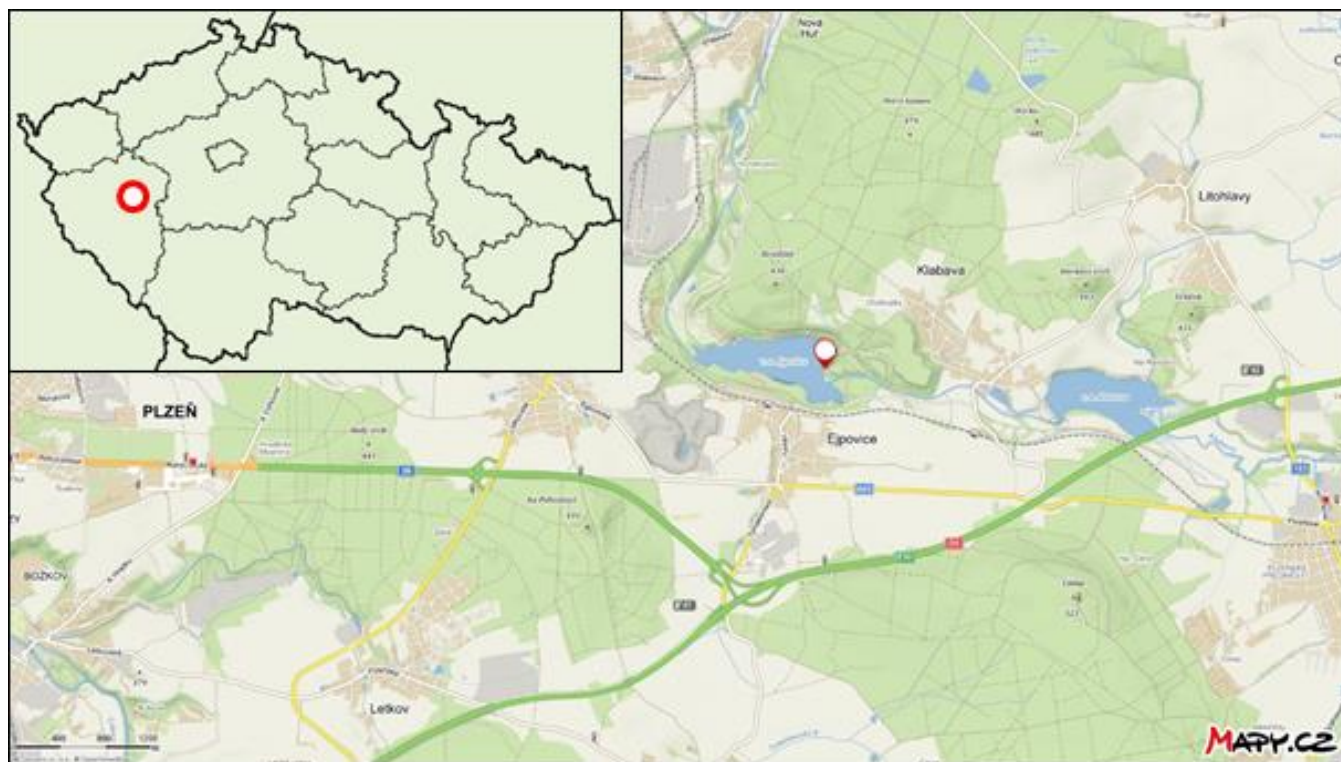
Téma	Popis	Plusy	Minusy	Návrhy	Závěry
Zapálení kychtových plynů	Plyny zažehly po 5 hodinách a 10 minutách od začátku tavby. Jejich zážeh byl doprovázen velkým počtem vylétávajících jisker (Obr. 16) - v tomto okamžiku bylo dobré být dále od pece. Vysavač běžel i po dobu zážehu kychtových plynů - při velkém výkonu vysavače byly plyny moc velké, létalo velké množství jisker a rychle ubývalo uhlí. Po zážehu plynů se začala vsazovat ruda.				
Vsázka rudy a uhlí - tavba	Vsazovali jsme v objemovém poměru 3 uhlí: 1 ruda		Kychtové plyny nám díky velkému množství vsazené rudy 4x zhasly a museli jsme je znovu rozdmýchávat.	Poměr by neměl být závazný, jen orientační. Při vsazování by se mělo myslet hlavně na to, aby nezhasly kychtové plyny. Při vsázce by se mělo dmýchat. Příkládat by se mělo na obvod pece, aby se neuhasili kychtové plyny. Pokud zůstanou hořet, uhlí by se mělo nahnout po celé ploše aby byl reakční povrch co největší. Pokud kychtové plyny zhasnou, vsázka se přeruší a čeká se než se zase rozhoří. Potom se příkládá uhlí a ruda až do naplnění nebo dalšího zhasnutí	
Problémy tavby			Velké kusy se neroztavily, nezredukované kusy se neroztavily Pec několikrát zhasla kvůli přerušení dmýchání a velkému množství vsazené rudy v jednom okamžiku. Při přerušení dmýchání několikrát došlo		

Téma	Popis	Plusy	Minusy	Návrhy	Závěry
			k částečnému ucpání dyšny a centrum tavení železa se přesunulo nad dyšnu - nižší teplota, snížení celkové výtežku tavby		
Ukončení tavby	Po poslední vsázce materiálu byl komín zakryt betonovou deskou, byl odpojen vysavač (Obr. 17). Dyšna a nerovnosti pod deskou utěsněny jílem (Obr. 17). Tavba se nechala setrvačně dojet.				
Vychládání pece	Pec chladla a chladla, do vychládání jsme nezasahovali				
Otevření a vybrání pece	Vylomili jsme dvířka, kladivy jsme vylamovali strusku (Obr. 18). Pec se při úderech třásla a pukala		Pec nám brutálním způsobem rozpraskala a zbortila se	Pokud bychom chtěli pec uchovat, je třeba být opatrnější	
Výtěžek železa	Z tavenin vyndaných z pece (25 kg) (Obr. 19) bylo pilníky, geologickými kladivy a magnety získáno 148 g čistého železa (Obr. 20)			Zkusit zkout do ingotu?	

Přílohy a fotodokumentace k tabulce

Tab. 1 Vlastnosti a složení jílu typu WBTS použitého pro stavbu pece

Název	WBTS	Název	WBTS
Ztráta žíháním (%)	11 - 14	Zbytek na síť 0,09 mm (%)	3 - 8
SiO ₂ (%)	58 - 64	Zbytek na síť 0,063 mm (%)	4 - 12
Al ₂ O ₃	32 - 36	Smrštění sušením (%)	4 - 5
Fe ₂ O ₃	1,5	Pevnost v ohybu po vysušení (M)	1,3
TiO ₂ (%)	1,4	Žárovzdornost (Ž)	171
CaO (%)	0,3	Smrštění celkové (%)	11 - 12
MgO (%)	0,2	Nasákavost varem (%)	9 - 10
K ₂ O (%)	0,6	Tixotropie	-
Na ₂ O (%)	0,1	Obsah karbonátu (%)	< 0,1
Jílové minerály (%)	70	Organické látky (%)	1,5 - 3
Křemen (%)	20	Stupeň plasticity (Gp)	4,2 - 5,2
Živec (%)	-	Stupeň jemnosti jílových miner	6,7
Zrnitost > 63 um (%)	5,6	Sanita	ne
Zrnitost 63-40 um (%)	2,1	Obklady jednožár	ne
Zrnitost 40-20 um (%)	6,6	Obklady dvojžár	ne
Zrnitost 20-10 um (%)	9,1	Dlažby 3-5 (%)	ne
Zrnitost 10-4 um (%)	12,6	Užitná keramika	ne
Zrnitost 4-2 um (%)	11,2	Šamot	ano
Zrnitost < 2 um (%)	52,8	Sádrokarton	ne
Zbytek na síť 2 mm (%)	stopy		



Obr. 1 Mapa místa těžby železné rudy (upraveno podle mapy.cz, mapaceskerekpubliky.cz)



Obr. 2 Nadrcená vypražená železná ruda (Foto: Marek Matura)



Obr. 3 Obalení první vrstvy jílu při stavbě komína pece e jutovou tkaninou. (Foto: Marek Matura)



Obr. 4 Dutiny v kusu stěny pece zbylé po vypálení jutové tkaniny. (Foto: Tomáš Kudláček)



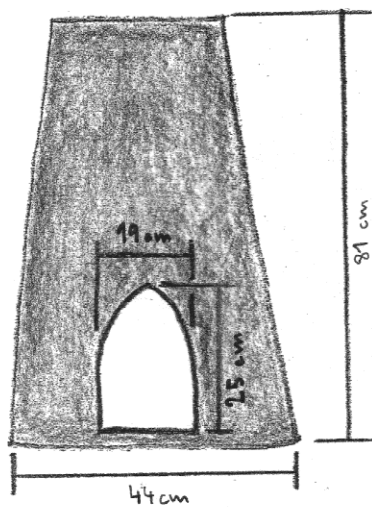
Obr. 5 Průřez stěny pece s dutinami po vypálené jutové tkanině, v horní části obrázku zuhelnatěla jutová vlákna.
(Foto: Matouš Bičák)



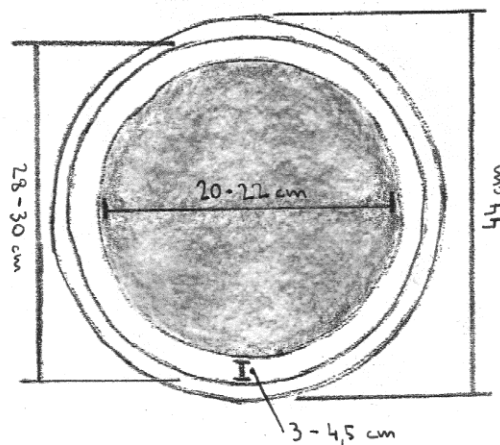
Obr. 6 Vykopané základy pece. (Foto: Marek Matura)

KOMÍN PECE

POHLED ZPŘEDU

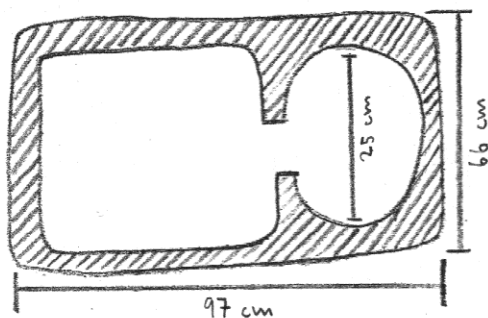


POHLED SHORA

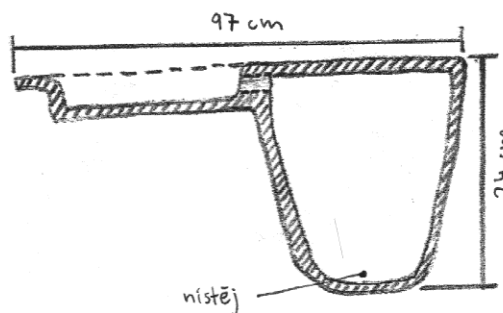


ZÁKLADY PECE

POHLED SHORA

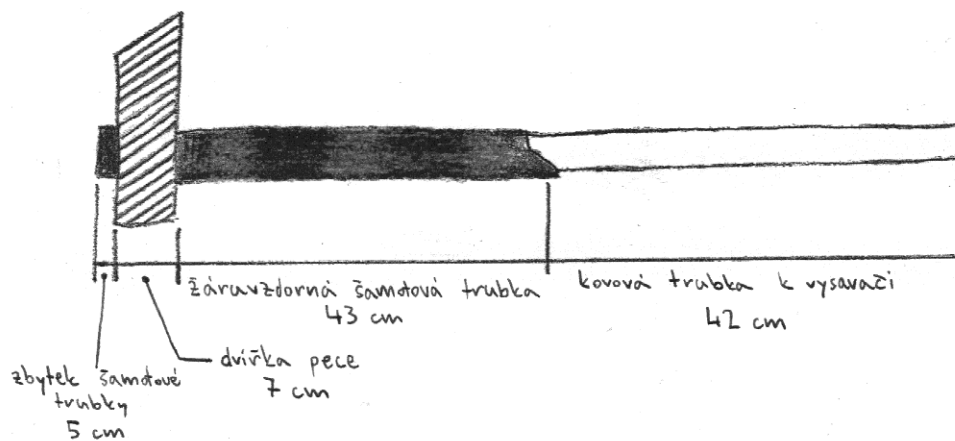


POHLED ZBOKU



DVÍŘKA PECE S DYŠNOU

POHLED ZBOKU



Obr. 7 Náčrtes pece, nístěje a dvířek s uvedenými rozměry. (Autor: Tomáš Kudláček)



Obr. 8 Vrchol trojnožky s přivázaným středovým prutem kopyta. (Foto: Marek Matura)



Obr. 9 Kopyto usazené v nístěji pece. (Foto: Marek Matura)



Obr. 10 Výroba kopyta pece - omotání igelitem a vycpání trávou. (Foto: Marek Matura)



Obr. 11 Pražení železné rudy v ohni před samotnou tavbou. (Foto: Matouš Bičák)



Obr. 12 Vymazávání základů pece jílem. (Foto: Matouš Bičák)



Obr. 13 Vysoušení hotové pece ohněm zevnitř. (Foto: Tomáš Kudláček)



Obr. 14 Popraskaný vnitřek během pece a světlá místa po odlomených kusech jílu. (Foto: Marek Matura)



Obr. 15 Naplňování nístěje pece dřevěným uhlím. Před pecí jsou žhavé uhlíky vytažené po vysoušení později taktéž přidané do nístěje. (Foto: Marek Matura)



Obr. 16 Jiskry vylétávající z komína pece při zážehu kychtových plynů. (Foto: Tomáš Kudláček)



Obr. 17 Pec po ukončení tavby nahoře zakrytá betonovou deskou a s dyšnou utěsněnou jílem. (Foto: Marek Matura)



Obr. 18 Rozebírání pece po ukončení tavby. (Foto: Matouš Bičák)



Obr. 19 Kus tzv. železné houby (mix strusky, železa, popela, uhlíku) vytažený z pece po vychladnutí. Z tohoto materiálu bylo nutné kousky čistého železa vyseparovat (drcením, lámáním). Korunová mince jako měřítko. (Foto: Tomáš Kudláček).



2,3 cm

Obr. 20 Kus čistého železa získaného ze strusky. (Foto: Tomáš Kudláček).