

# Nálezy z lokality tzv. "Kratzerova hamru" ve Žďáře nad Sázavou

Radmila Stránská, Jarmila Blažíková, Antonín Rek, Karel Stránský

## 1. Úvod

V příspěvku [1] bylo naznačeno, že hamr zřízený v roce 1614 dietrichštejnským hospodářským radou a pozdějším majitelem novoměstského panství Šimonem Kratzerem ze Schönsberka po zboření části konventních budov Žďárského kláštera, mohl sloužit již k nepřímé výrobě železa z rud. To znamená, že na lokalitě nacházející se v místech bývalého vodního díla Stará pila, stála již tehdy železářská pec, která mohla sloužit též k plynulému tavení surového železa. Povrchový průzkum, uskutečněný na této lokalitě v roce 1989, totiž prokázal pouze nálezy strusek doprovázejících výrobu surového železa charakteristickou pro vysokou pec. Šlo o železářské strusky kyselé povahy s indexem zásaditosti  $\text{CaO/SiO}_2 = 0,407 \pm 0,138$  a s velmi nízkým obsahem oxidů na bázi železa - 0,73 až 2,45 hm. %. Keramické střepy doprovázející tyto strusky bylo možno datovat do konce 16. století.

Stará pila byla postavena v místech bývalého mlýna a ten v místech papírny, která byla v činnosti až do poloviny minulého století. Papírna vystřídala na tomtéž místě (a patrně též vodním díle) hamr, který zde vybuodoval v roce 1614 již zmíněný Šimon Kratzer ze Schönsberka. Její vznik se datuje do roku 1651 a je spojen se zánikem hamru.

Ve snaze blíže objasnit situaci na lokalitě Stará pila ve Žďáře nad Sázavou, ohrožené v současnosti jak terénními, tak i stavebními změnami, byl uskutečněn dne 3. dubna 1993 další, tentokrát podrobnější povrchový průzkum, přičemž byl vybraný soubor nálezů podroben analýze.

## 2. Výsledky povrchového průzkumu

Pod Starou pilou na louce ve směru k řece Sázavě, stojí přibližně do čtverce obezděná plocha z lomového kamene, o rozměrech přibližně 37,5x33 m, která patrně vymezovala prostor menší zahrady, či hospodářského objektu s kašnou uprostřed. Doposud stojí dvě stěny o délce 37,5 m a výšce přes 2,5 m orientované ve směru kolmém k Sázavě a základy třetí stěny ve směru podél Sázavy, o výšce přibližně do tří čtvrtin metru. Čtvrtá, čtverec uzavírající stěna je zbořena a terén navazuje plynule na části objektu dnešní Staré pily. Ve směru ke Žďáru je stěna prolomena řadou oken a branou. Torza oken jsou patrná též ve zbytcích třetí stěny orientované podél Sázavy. Šířka zdiva všech tří stěn je 75 cm. Uvnitř obezděné plochy byl nalezen jeden tesaný pískovcový článek z budovy bývalého klášterního konventu a další tesaný článek z mramoru se nacházel mimo objekt ve směru k Sázavě.

Jestliže orientujeme osu obezděné čtvercové plochy paralelně s tokem Sázavy, potom leží zmíněný objekt po jejím levém břehu. Celou situaci přibližuje schéma na obr. 1. Jakoby zpod zdiva v levém horním rohu objektu pak vyúsťuje dosud dobře zachovaný odpadní vodní kanál o šířce asi 3,5 m se sesutými břehy, který asi po padesáti metrech zaúsťuje do řeky Sázavy.

Porovnáním současné situace s katastrální mapou z roku 1835 (státní archiv Brno č. 3063 - Předzámek) bylo zjištěno, že objekt označený na obr. 1 symbolem Z nebyl patrně již tehdy funkční (na katastrální mapě je značen čárkovane), přičemž poloha odpadního vodního kanálu se od uvedeného data do dnešní doby rovněž nezměnila. Situaci okolí Staré pily, na katastrální mapě označené jako "Papiermühle", přibližuje překreslený výřez z této mapy na obr. 1a.

Po levém břehu kanálu bylo nalezeno větší množství strusek a šikmo skloněná hrouda houbovitého železa prostoupená zčásti struskou a zbytky dřevěného uhlí. Z této hroudy byl pilkou na železo k analýzám odříznut vzorek, jednak z horní části, která je tvořena měkkou ocelí, jednak byly odlomeny vzorky ze spodní části, která připomíná spíše železnou houbu s kostrovitou (dendritickou) strukturou. Kolem hroudy železa bylo nalezeno též větší množství kousků dřevěného uhlí, zbytky keramiky nasvědčující vyzdívce pece a strusky dvojího druhu - jednak sklovité (amorfní), připomínající strusky z dřevouhelné vysoké pece, jednak krystalické, připomínající strusky z kusové pece nebo kujníci výhně. První jsou velmi málo, druhé naopak velmi silně feromagnetické.

Ze souboru nálezů, ponechaných v terénu v původní poloze, byly vedle odříznutého vzorku železa (označeného K) a odlomených vzorků (označených L a M) odebrány ještě tři vzorky strusek, a to z oblasti přilehlé k hroudě v části L (struska označená D), z oblasti K, kde struska tvořila povlaky na železe (měkké oceli) o tloušťce 4 až 6 mm (struska označená E) a z blízkého okolí hroudy (struska označená C). Vyzvednut byl též jeden keramický střep. Zmíněná hrouda železa, schématicky znázorněná na obr. 2, leží asi v 1/3 délky odpadního vodního kanálu (počítáno od jeho vyústění zpod stěny) a je vzdálená od jeho levého břehu asi 3 m. Kanál byl dne 3.4.1993 zaplaven následkem vyššího stavu vody v řece Sázavě do více než 2/3 délky od jeho zaústění do řeky.

### 3. Postup a výsledky analýz

K analýzám byl využit světelný mikroskop Neophot, analytický komplex JEOL JXA-8600/KeveX Delta V Sezame, analytický komplex JEOL JSM-840/Tracor TN 2000 a mikrotvrdoměr typu Hanemann. Vzorky strusek i železa byly připraveny pro analýzu jako metalografické výbrusy, a to běžným způsobem broušením na metalografických papírech za mokra s doleštěním na diamantových pastách do zrnitosti pod 1  $\mu\text{m}$ . Prvková analýza strusek a kovu proběhla metodou energiově disperzní rentgenové spektrální mikroanalýzy, přičemž byl aplikován systém korekcí ZAF (korekce na atomové číslo, absorpci a fluorescenční zesílení). Výjimku činil pouze obsah uhlíku v kovu ve vzorcích K, L a M, který byl odhadnut na základě metalografické analýzy. Získané výsledky jsou uspořádány v tab. I až V. Kvůli porovnání byly do tabulky I zahrnuty navíc analýzy strusek pocházejících z povrchového sběru uskutečněného na téže lokalitě v roce 1989 [1].

### 4. Archeometalurgické zhodnocení

Z tab. I plyne, že strusky označené A, B a C mají velmi blízká chemická složení. Jsou charakterisovány relativně nejvyšším obsahem oxidu křemičitého - v průměru 57,0 hm.%, vysokým obsahem oxidu hlinitého - 19,2 hm.%, nižším obsahem oxidu vápenatého - 13,0 hm.% a velmi nízkým obsahem oxidů na bázi železa - 1,45 hm.%. Jsou prosté oxidu fosforečného a mají velmi nízký obsah síry - 0,13 hm.%. Jejich index zásaditosti je velmi nízký -  $\text{CaO/SiO}_2 = 0,228$ , jde proto o kyselé strusky, mají sklovitou (amorfní) povahu a podle semiempirických vztahů [3] poměrně vysokou teplotu tavení - 1565 °C. Strusky jsou nepatrně feromagnetické. Tato charakteristika ukazuje, že jde o strusky doprovázející výrobu železa v dřevouhelných pecích.

Struska odebraná z oblasti přilehlé k železné hroudě a označená D (tab. I), má zcela odlišné obsahy analyzovaných složek a navíc krystalickou, nikoli amorfní strukturu. Má dominantní obsah oxidů na bázi železa - 95,2 hm.% a velmi nízkou koncentraci oxidu křemičitého, pouze 2,4 hm.% a je v průměru charakterizována velmi nízkým obsahem oxidu fosforečného - 0,04 hm.%. Její mineralogické složení doložené na snímku ze světelného

mikroskopu na obr.3, je tvořeno wüstitem (světlešedé oblasti) uloženým ve fayalitu (tmavošedé oblasti). Ojedinele se v ní vyskytují zrna metalického železa - na obr.3 je zrno metalického železa přibližně uprostřed a zobrazuje se jako velmi světlé. Bodovou mikroanalýzou bylo zjištěno, že fayalit obsahuje 23,5 hm.% oxidu křemičitého, 0,33 hm.% oxidu fosforečného a 68,0 hm.% oxidů na bázi železa. Stechiometrické složení fayalitu -  $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$  činí 70,5 hm.% oxidu železnatého a 29,5 hm.% oxidu křemičitého. Fayalit ve strusce D obsahuje navíc jistý podíl velmi tmavě se zobrazující sklovité hmoty - melilitu. Odhad teploty tavení této strusky vede k hodnotě 1159 °C. Velmi nízký obsah oxidu fosforečného svědčí o její redukční povaze. Struska D je přitom silně feromagnetická. Podle charakteristických znaků je možno tuto strusku označit za produkt nepřímé výroby železa z rud v kusové peci.

Pozoruhodné informace přinesla analýza strusky odebrané přímo z železné hroudy a označené E (tab. I). Jak je uvedeno, tvořila tato struska asi 5 mm tlusté povlaky na železe (oceli). Struska má šedo zelenou barvu, je převážně amorfní (nemá převládající krystalickou strukturu) a je velmi slabě feromagnetická. Dominantní je obsah oxidu vápenatého - 42,3 hm.%, má relativně vysoký obsah oxidu křemičitého a hlinitého - 28,1, resp. 16,0 hm.% a velmi nízkou koncentraci oxidů na bázi železa - 0,56 hm.%. Analýzou stanovené složení velmi dobře odpovídá stechiometrickému poměru složek  $2\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7\cdot 2\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ , nebo též  $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7\cdot\text{Ca}_3\text{MgSi}_2\text{O}_8\cdot\text{MgAl}_2\text{O}_4$ , neboť oba vzorce jsou formálně ekvivalentní. Ve druhém vzorci odpovídá první složka minerálu typu rankinit, druhé složce odpovídá merwinit a třetí složka značí spinel. Podle [4] se první minerál (rankinit) nachází ve vysokopecních struskách kyselých i bazických. Druhý minerál (merwinit) je součástí magnisitových cihel a dolomitických žáruvzdorných hmot a nachází se též v bazických martinských struskách. Třetí minerál (spinel) provází vysokopecní strusky, zásadité strusky martinské a vysokohlinité žáruvzdorné hmoty. Porovnání nalezeného složení a stechiometrického složení je uspořádáno v tab.II. Teplota tavení strusky (která má zásaditý charakter neboť index zásaditosti  $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,505$  je větší než číslo jedna) je nízká a pohybuje se kolem 1407 °C.

Tato charakteristika ukazuje na redukční povahu strusky. Je zajímavé, že strusku tohoto typu - E - bychom dostali ztavením všech tří minerálů ve stejném atomovém poměru, neboť zbývajících příměsí jsou necelá tři hmotnostní procenta. Může jít o strusku z redukční kusové pece, jež byla ve styku s její žáruvzdornou nístějí, avšak nelze vyloučit, že se jedná o recentní produkt, zavlečený na toto místo jako odpad, neboť jsou pozoruhodně shodné rozdělovací poměry mezi strusku a kov - pro Al, Si a P - jak pro strusku typu E, tak pro strusky, které provázejí současné redukční pochody v elektrické obloukové zásadité peci při tavení nelegovaných ocelí jednostruskovou technologií (tab. III, [2]).

Výsledky prvkové mikroanalýzy vzorků odebraných z železné hroudy z míst označených K, L a M (obr. 2), uspořádané v tab.IV, ukazují, že se jedná o středně uhlíkovou ocel, která obsahuje jako příměsí křemík, chrom, mangan, nikl a měď a jako nečistoty malá množství fosforu a síry. Vzorky L a M, odebrané z opačného okraje hroudy než vzorek K, se odlišují od vzorku K výrazně nižším obsahem příměsí a též nižším obsahem nečistot. To svědčí o značné makronehomogenitě železné hroudy. Taktéž obsah uhlíku ve vzorku K byl vyšší než ve vzorcích M a L, jak plyne též z porovnání struktury vzorku K na obr.4 se strukturami vzorků M a L na obr.5 a 6. Vzorky M a L mají zřetelně nižší podíl feritu ve struktuře než vzorek K. Struktura vzorku odebraného z hroudy železa v místě L sestává z vrstev o tloušťce kolem 20  $\mu\text{m}$ , oddělených navzájem struskou (obr.7). Vrstvy mají navzájem odlišnou strukturu, poněkud rozdílné chemické složení (tab.IV, vzorky L1, L2 a L3 - liší se koncentrací příměsí) a významně rozdílnou mikrotvrdost (tab.V). Odhad technologie, která vedla k jejich vytvoření je nejistý. Za předpokladu, že pocházejí z redukční pece a z přímé výroby železa z rud, lze

kombinaci jejich struktur, složení a tím i tvrdosti, vysvětlit přimísením jistého množství polymetalických rud ve vsázce. Rudy tohoto druhu se nacházejí v ložiskách nedalekého Ranského masivu.

## 5. Závěr

Rozbor nálezů strusek a železné hroudy z lokality Stará pila (na jejímž místě stával původně hamr, později papírna a vodní mlýn) prokázal existenci strusek, které charakterizují redukční pochody, a to jednak ve vysoké dřevouhelné peci s plynulým tavením surového železa, jednak v kusové peci při přímé výrobě železa z rud, kdy je produktem železná houba. Je proto pravděpodobné, že na zmíněné lokalitě mohla stát redukční pec, která pracovala střídavě pochodem poskytujícím surové železo (tj. litinu prvního tavení) a pochodem produkujícím železnou houbu. Střídavé použití téhož typu pece po úpravě jak ke kusové, tak ke kontinuální výrobě železa - jednou pevné železné houby, podruhé tekutého surového železe, je známo již několik století před rokem 1614 ze Švédska z Laphytanu, a též pece v alpských zemích produkovaly jak surové železo a litinu, tak houbovitě železo.

Nejistého původu z hlediska metalurgického procesu je železná hrouda. Struska označená E (tab. I) a vzorky kovu označené K, L a M (tab.IV) odebrané z železné hroudy, pocházejí z hutnického procesu, který měl redukční povahu, avšak jejich přiřazení ke zcela určité metalurgii, není jednoznačné.

## Literatura

- [1] Stránská, R. - Winkler, Z. - Stránský, K.: K historii tzv. "Kratzerova" hamru ve Žďáře nad Sázavou. In: Archeologia Technika. Technické muzeum, Brno 1993.
- [2] Levíčková, P. - Stránský, K.: Metalurgické vady ocelových odlitků (příčiny a odstraňování). SNTL, Praha 1984.
- [3] Petržela, L.: Slévárenské formovací látky. SNTL, Praha 1955.
- [4] Němec, F.: Klíč k určování minerálů v technických hmotách. SNTL, Praha 1955.

Tab. I Výsledky analýz strusek z lokality Stará pila ve Žďáře nad Sázavou [hm. %]

Složka	Označení strusky (rok nálezu)				
	A (1989)	B (1989)	C (1993)	D (1993)	E (1993)
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	1,52	0,04	-
MgO	5,01	6,03	4,79	0,00	11,29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,23	16,59	18,90	0,40	15,95
SiO <sub>2</sub>	56,71	51,22	63,13	2,37	28,13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,04	0,10
S	0,11	0,17	0,10	0,04	0,48
K <sub>2</sub> O	1,23	1,50	0,97	0,15	0,18
CaO	9,60	20,85	8,48	0,45	42,34
TiO <sub>2</sub>	0,90	0,96	0,35	0,18	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,52	0,52	0,32	1,15	0,13
MnO	1,18	1,38	0,24	0,03	0,85
FeO + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,45	0,73	1,17	95,20	0,56

Poznámky: Strusky A, B, C, D - analytický komplex JSM-840/Tracor  
Struska E analytický komplex JXA-8600/KeveX

Tab. II Nalezené a stechiometrické složení strusky E vyjádřené formou koncentrace analyzovaných prvků [hm. %]

Prvek	Nalezeno mikroanalýzou JXA-840/Tracor	Podle stechiometrického vzorce *
Mg	6,81	6,40
Al	8,44	7,11
Si	13,15	14,80
P	0,04	-
S	0,48	-
K	0,15	-
Ca	30,26	31,67
Cr	0,09	-
Mn	0,66	-
Fe	0,40	-
O	39,52 **	40,03

Poznámky: \* stechiometrický vzorec  $2Ca_3Si_2O_7 \cdot 2MgO \cdot Al_2O_3$ , kde  $Ca_3Si_2O_7$  - rankinit,  $Ca_3MgSi_2O_8$  - merwinit  
 $MgAl_2O_4$  - spinel, (přifazení minerálů podle [1])

\*\* pro stechiometrické složení jednotlivých složek podle tab. I

Tab. III Mikroanalýza rozdělení prvků mezi strusku a kov pro vrstvu tvořenou struskou E

Prvek	Al	Si	P	S	Cr	Mn	Fe
Kov pod struskou* [hm. %]	0,040	0,37	0,073	0,168	0,14	0,43	98,79
	0,035	0,02	0,022	0,013	0,03	0,03	0,12
Struska [hm. %]	8,44	13,15	0,04	0,48	0,09	0,66	0,40
Poměr struska/kov*	211	35,5	0,55	2,86	0,64	1,53	0,0040
	185	1,0	0,17	0,22	0,14	0,10	0,0000
Elektrická zásaditá oblouková pec* struska/kov	194	38,8	0,50	-	-	-	-
	21	1,8	0,09	-	-	-	-

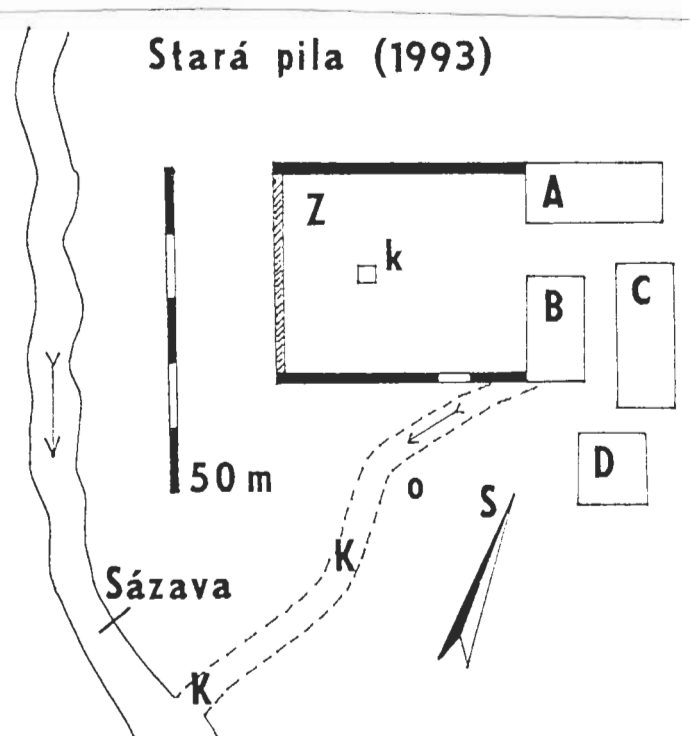
Poznámka: \* první řádek aritmetický průměr, druhý řádek směrodatná odchylka  
\*\* jednostrusková technologie [2]

Tab. IV Prvková mikroanalýza vzorků K, L, M, [hm. %]

Prvek	Vzorek				
	K	L			M
		L1	L2	L3	
(C)	(0,50)	(0,40)	(0,40)	(0,40)	(0,45)
Al	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02
Si	0,27	0,23	0,18	0,27	0,25
P	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00
S	0,05	0,11	0,04	0,04	0,03
Cr	0,62	0,18	0,15	0,15	0,14
Mn	0,74	0,46	0,60	0,70	0,67
Fe	97,39	98,39	98,32	98,21	98,54
Ni	0,33	0,21	0,11	0,14	0,11
Cu	0,56	0,41	0,60	0,48	0,24

Tab. V Mikrotvrdost struktur vzorků L1, L2 a L3 podle Hanemanna

Vzorek	Mikrotvrdost HV 0,02	
	x	s <sub>x</sub>
L1	306	19
L2	226	15
L3	242	15



Obr. 1 Situace na lokalitě Stará pila ve žďáře nad Sázavou v roce 1993.

Legenda:

A, B, C, D - objekty Staré pily (dnes majetek Jihomoravských dřevařských závodů)

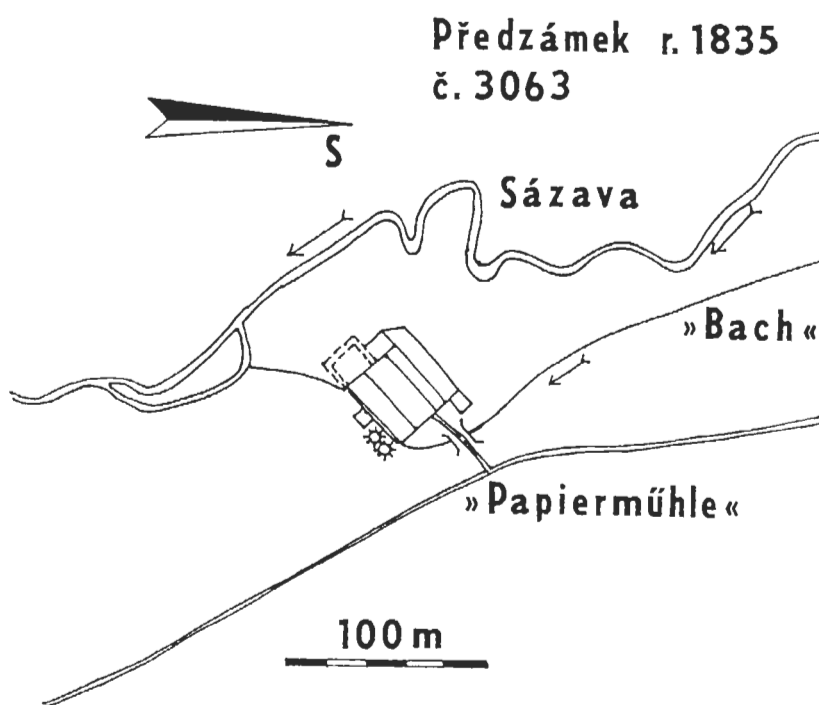
Z - obezděná, přibližně čtvercová plocha, zdivo,

čárkované - částečně zbořené zdivo

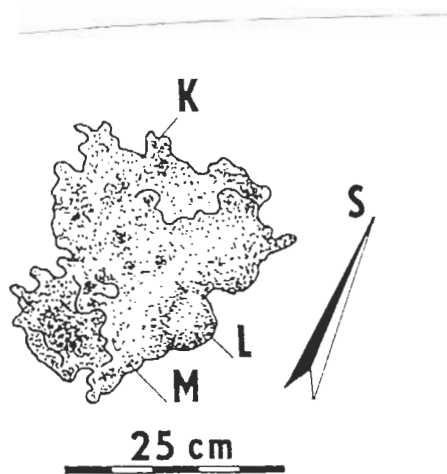
k - kašna

K - polozasypaný, sesutý vodní odpadní kanál

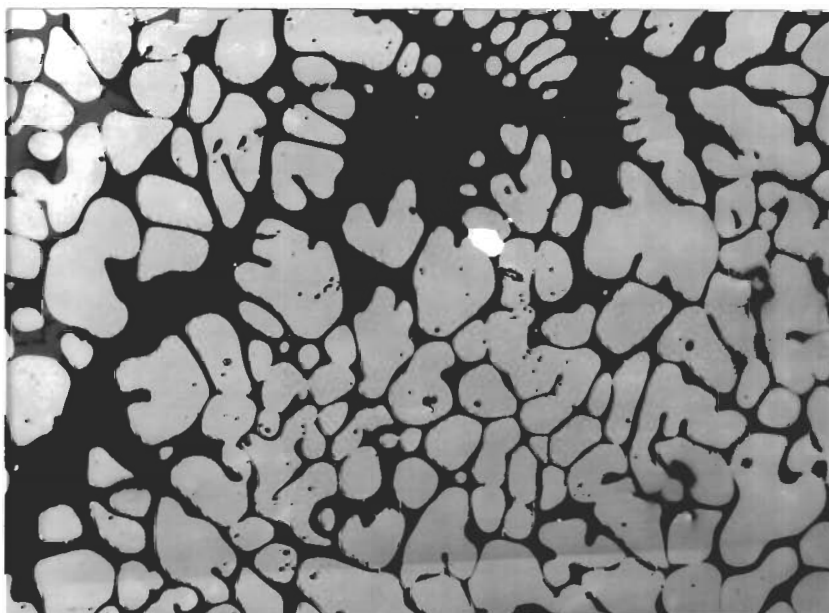
o - místo nálezu



Obr. 1a Překreslený výřez z katastrální mapy: Státní archiv Brno č. 3063 - Předzámek)



Obr. 2 Železná hrouda z lokality Stará pila.



Obr. 3 Struska č. D. Světlešedé oblasti - wüstit, tmavošedé oblasti - fayalit, velmi tmavé oblasti - sklovitá hmota. Zvětšeno 200x.

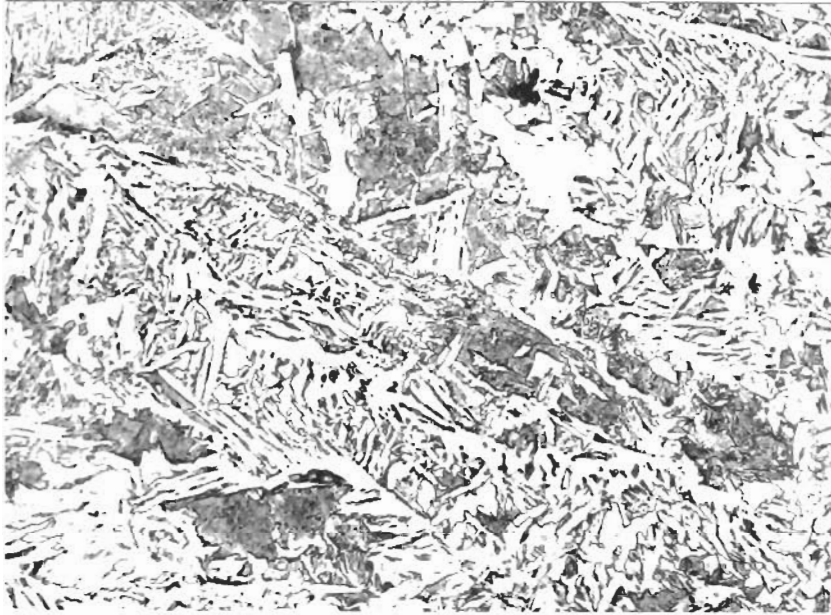




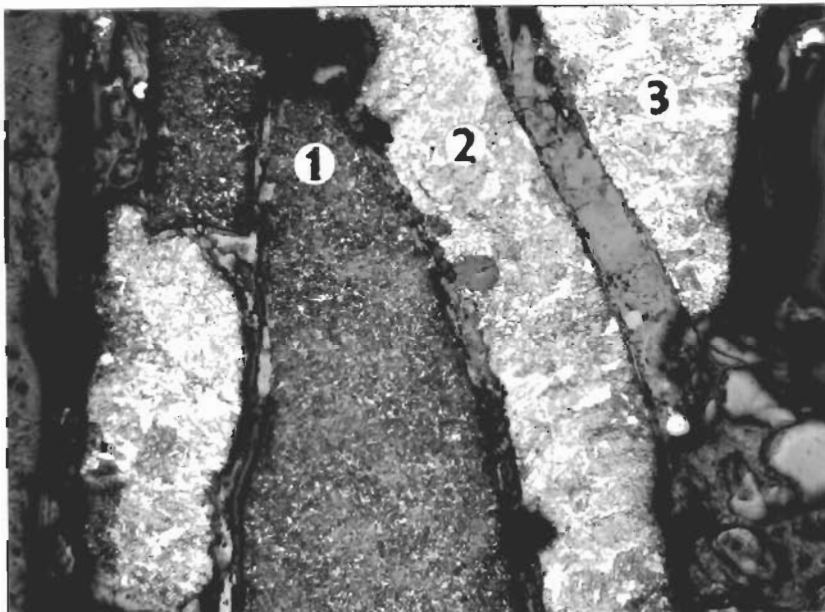
Obr. 4 Perlitická struktura vzorku K se sifovým feritu po hranicích původních austenitických zrn. Leptáno nitalem, zvětšeno 200x.



Obr. 5 Perliticko-feritická struktura vzorku M s vyloučením feritu podle Widmannstätena. Leptáno nitalem, zvětšeno 200x.



Obr. 6 Perliticko-feritická struktura vzorku L s jehlicovitě vyloučeným feritem. Leptáno nitalem, zvětšeno 200x.



Obr. 7 Mikrostruktura vzorku odebraného z železné hroudy v místě označeném L. Číslicemi 1, 2 a 3 jsou označeny oblasti měření mikrotvrdomi. Leptáno nitalem, zvětšeno 125x.