

Karel S t r á n s k ý , VAAZ Brno

Milan S a l a š , Moravské muzeum Brno

### Příspěvek k poznání výroby mědi v době bronzové

Široké využití bronzu jakožto nového a hlavního výrobního materiálu druhého a počátku prvního tis. př. n.l. bylo z gnoseologicko-technologického hlediska podmíněno dvěma faktory: jednak objevem tavitelnosti mědi a jejího získávání z rud, jednak objevem výhodnějších vlastností mědi neintencionálně znečištěné některými prvky, načež navázalo již záměrné legování mědi cínem, resp. cínovou rudou. Abstrahujeme-li od těžby primární suroviny, pak výchozí a základní metalurgickou operací při výrobě bronzu byla redukce kysličnických a zejména siřičkových rud mědi. Doklady technických zařízení ke zpracování měděných rud, jaká jsou v podobě propíracích splavů, pražicích výhni a metalurgických pecí zjišťována např. v alpské oblasti (Zschocke-Preuschen 1932; Hampl 1976, 62; Eibner 1983; Mozsolics 1984, 22), na našem území až na několik poněkud problematických výjimek (Veliačik-Javorský 1983, 144; Točík-Bublová 1985, 86-87) zatím neznáme. Strusky se v nálezovém fondu naší doby bronzové objevují rovněž poměrně vzácně, a tak hlavním pramenem studia redukčního pochodu nám jsou vytavené kusy surové mědi.

Ve střední, mladší a pozdní době bronzové jsou koláčovitě slitky mědi, případně i bronzu, častou složkou hromadných nálezů bronzové industrie. Je téměř zákonitým jevem, že v době popelnicových polí se tyto depoty soustřeďují na výšinných a zpravidla i opevněných sídlišťích nebo v jejich bezprostředním okolí. K významným lokalitám tohoto druhu patří i návršní sídliště na trati "Cezavy" u Blučiny (okr. Brno-venkov). V časném stupni středodunajských popelnicových polí (13. stol.př.n. l.) zde existovala osada částečně specializovaná na metalurgickou produkci. Dokumentují nám to jednak odlévací formy, dzy-ny, event. strusky, jednak zmíněné kumulované bronzové depoty (Říhovský 1982, 97, tab. 47-61; Salaš 1985). U devíti z nich

tvořily většinu inventáře zlomkové bronzy určené k přetavení, sedm depotů pak obsahovalo i amorfní slitky a zlomky lup. Největší kvantum těchto metalických polotovarů zahrnoval depot č. XIII, který by vzhledem k zachycené nálezové situaci mohl být i torzem kovolitecké dílny (Salaš 1985, 43-45). Kromě celých i fragmentárních bronzových artefaktů (Říhovský 1982, tab. 59-60) se zde nacházelo celkem 232 slitků a zlomků vytavených čoček o celkové váze 9,6 kg; nejdochovalejší zlomek lupy o mocnosti 3,5 cm vážil 0,54 kg. Jak již bylo konstatováno na jiném místě (Salaš 1985, 45), na povrchu některých fragmentů se místy nacházejí neobvyklé rezavě hnědé krusty a zbarvení kovu na řezu je světlejší, než je tomu u lup poměrně již čisté mědi. Protože se dalo očekávat, že objasnění původu hnědých povlaků a stanovení přesného chemického složení s metalografickou interpretací může přispět k identifikaci primární suroviny a rekonstrukci technologie jejího zpracování, byly z této garnitury odebrány dva vzorky slitků pro podrobnou prvkovou a strukturní mikroanalýzu.

#### Použité metody analýz a výsledky

K prvkové analýze byla využita metoda energiově disperzní rentgenové spektrální mikroanalýzy na přístroji Tracor - N2000 ve spojení s elektronovým řádkovacím mikroskopem JSM-U3 a k analýze metalografické byl použit světelný mikroskop Zeiss-Neophot II s mikrotvrdoměrem typu Hanemann. Ke zkouškám makrotvrdosti byl využit tvrdoměr podle Brinella.

Vzorky slitků, označené č. 1 (inv.č. 110 179) a 2 (bez inv.č.), jsou charakterizovány v poznámce u tab. 1, která zároveň obsahuje výsledky mikroanalýz jejich povrchových vrstev po očištění v ultrazvukové čističce. Analýze byla podrobena vždy nejméně tři místa povrchu svazkem řádkujícím při každé z analýz na ploše 0,3 x 0,3 mm. V tab. 1 a 2 jsou výsledky analýz charakterizovány aritmetickým průměrem jednotlivých stanovení a střední chybou (směrodatnou odchylkou) měření. Z tab. 1 je patrné, že v oblastech hnědého (rezavého) zbarvení mají povrchové vrstvy vysoký obsah železa, v průměru obou slitků více než 70 %, a nízký obsah mědi ( 7 %), zatímco zeleně zbarvený povrch má vysoký obsah (asi 2/3) mědi, avšak železa

obsahuje necelých 12 %. Pro oba různě zbarvené povrchy je společné, že obsahují kolem 10 % Si, jednotky procent Al, Ca a Ni a desetiny procent S a K. Fosfor byl nalezen pouze v místech zeleného zbarvení povrchu (tab. 1).

Metalografické analýze byl podroben pouze vzorek označený č. 1 a její výsledky jsou doloženy charakteristickými strukturami na obr. 1 - 4. Struktura měděného slitku o síle asi 5 mm je velmi heterogenní a byly v ní nalezeny vedle základní matrice ještě tři další strukturní složky, lišící se navzájem jak mikrotvrdostí, tak i chemickým složením. Stanovené hodnoty chemického složení, a to jak průměrného složení z plochy 0,3 x 0,3 mm výbrusu řádkujícím svazkem, tak i hodnot změřených bodovou analýzou při pevném svazku, jsou uspořádány v tab. 2. V téže tabulce jsou zároveň uvedené změřené hodnoty mikrotvrdosti a hodnoty tvrdosti HB podle Brinella. V tab. 2 je také uveden hmotnostní podíl strukturních složek stanovený metodou nejmenších čtverců ze systému bilančních rovnic (celkem 5 rovnic) udávajících rovnováhu mezi průměrným obsahem analyzovaného prvku ve slitku a jeho obsahy v jednotlivých strukturních složkách a v matrici. Jde o metodu zavedenou Z. Kotrbou (1983).

Z výsledků analýz plyne, že průměrné složení slitku sestává z 85,3 % Cu, 11,6 % Fe, 1,41 % Sb, 0,60 % Ni a 1,08 % S. Ze strukturních složek je možno relativně dobře identifikovat na naleptaném výbruse (obr. 1 a 3) modrošedou složku obsahující precipitáty kovové čisté mědi, jejíž mikrotvrdost se pohybuje kolem 230 HV 0,02 a složení odpovídá sirníku měďnému ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), v němž je měď nahrazena 10,6 hmotn. % Fe a který obsahuje příměs antimonu (0,14 %). Leptáním nitalem se zbarvení této strukturní složky, která je v podstatě fází, nemění (obr. 2), naleptáním persíranem amonným získá fáze relativně ke zbývajícím světlejší odstín (obr. 4). Hmotnostní podíl této fáze, označené v tab. 2 ve shodě s literaturou (Taylor et al. 1973), je kolem 5 %. Z tab. 2 je dále zřejmé, že se v fázi přednostně koncentruje síra.

Antimon je převážně soustředěn ve strukturní složce s mikrotvrdostí kolem 272 HV 0,02, která se zobrazuje méně světleji než matrice a poněvadž je tvrdší než ona, vystupuje

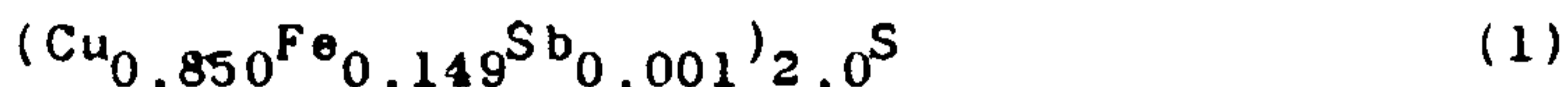
také reliéfně nad její povrch (obr. 1 a 3). Po naleptání nitalem složka bohatá Sb poněkud ztmavne a zobrazí se také její chemická heterogenita (obr. 2). Složení této strukturní složky se přibližuje složení intermediálních fází typu  $\text{Cu}_x\text{Sb}$  s příměsemi S, Fe a Ni. Ve slitku je velmi nerovnoměrně rozložena a v tab. 2 má označení .

Železo je v analyzovaném slitku soustředěno ve strukturní složce - fázi označené v tab. 2 jako , která je relativně nejtvrďší (682 HV 0,02) a obsahuje železa více než 93 % z analyzovaných prvků. Podle slabého feromagnetismu slitku a tmavého zbarvení této složky lze usoudit, že je v ní železo vázáno na  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , popř.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , tj. vyskytuje se jako hematit, popř. magnetit. Poznamenáváme, že kyslík není možno použitou metodou stanovovat. Na metalografickém výbrusu se jeví jako tmavošedé útvary nepravidelného až globulitického tvaru (obr. 1 a 3), jejichž barva se leptáním nemění (obr. 2 a 4). Od sirníku měďnatého lze složku (fázi) s vysokým obsahem železa spolehlivě rozlišit změřením mikrotvrdoosti. Nikl je s výjimkou sirníku rozpuštěn ve všech zbývajících složkách včetně matrice, s níž také tvoří nepřetržitou řadu tuhých roztoků (Taylor et al. 1973; Smithells 1967).

Matrice obsahuje více než 96 % mědi a v průměru 1,9 % Fe, 1,3 % Sb, 0,5 % Ni a je prosta síry (tab. 2). Její mikrotvrdoost je relativně nejnižší (127 HV 0,02).

#### Metalografické zhodnocení

Síra je v mědi po ztuhnutí nerozpustná, slučuje se s ní na sirník měďný,  $\text{Cu}_2\text{S}$  (fáze ; Taylor et al. 1973, 279), který obsahuje při pokojové teplotě 20,15 hmotn. % síry. Podle C. H. Smithellse (1967, 477) má tento sirník teplotu tavení  $1105^\circ\text{C}$ . Analyzovaný sirník podle tab. 2 lze s velmi dobrou přesností popsat stechiometrickým vzorcem



z něhož je patrné, že měď může být v tomto sirníku nahrazena až 15 at. % železa. Sirník  $\text{Cu}_2\text{S}$  se v přírodě vyskytuje jako nerost chalkosin (leštěnec měďný, redruthit: Sevrjukov-Kuz-

min-Čeliščev 1958, 136). Údaj o mikrotvrdomosti sirníku  $\text{Cu}_2\text{S}$  70 HV 0,1 (Mott 1956) je podstatně nižší než změřená hodnota 230 HV 0,02. Je proto pravděpodobné, že železo rozpuštěné v tomto typu sirníku jeho tvrdost významně zvyšuje.

Antimon tvoří s mědí tuhý roztok a při pokojové teplotě je jeho rozpustnost v čisté mědi asi 1 hmotn. % (Taylor et al. 1973, 297). Nad touto koncentrací vytváří Sb s mědí intermediální fázi  $\text{Cu}_2\text{Sb}$ , jejíž mikrotvrdomost se uvádí 278 HV (při délce úhlopříčky vtisku 10  $\mu\text{m}$ , Mott 1956), což se překvapivě shoduje s hodnotou 272 HV 0,02 změřenou ve strukturální složce označené (tab. 2). Je proto pravděpodobné, že tato heterogenní strukturální složka (obr. 2), obsahující v průměru 77,9 % Cu, 18,7 % Sb a jako příměsi Ni, Fe a S, je tvořena nerovnovážnými fázemi typu  $\text{Cu}_x\text{Sb}$  o nestechiometrickém složení (tj.  $x \neq 2$ ).

Rozpustnost železa v mědi při pokojové teplotě je zanedbatelná (Smithells 1967, 473) a podle výsledků analýz v tab. 2 se tento prvek rozděluje hlavně mezi sirník a složku označenou , která jej obsahuje 93 %. Podle morfologie, feromagnetismu a také mikrotvrdomosti této složky lze usuzovat nejspíše na oxid  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (hematit), jehož mikrotvrdomost se podle B. W. Motta (1956) pohybuje v mezích (505 až 690) HV 0,05, popřípadě na  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (magnetit) s mikrotvrdomostí podle téhož pramene (618 až 761) HV 0,1, neboť obojí hodnoty se v mezích chyb shodují se změřeným údajem  $(682 \pm 124)$  HV 0,02 v tab. 2. Překvapující je však změřený poměrně vysoký obsah železa v matrici 1,89 (tab. 2). Rozpustnost Fe v mědi je totiž možno podle rovnovážných diagramů v literatuře (Taylor et al. 1973; Smithells 1967) vyjádřit rovnicí

$$C_{\text{Fe}(\text{Cu})} = 254,9 \exp(-6024/T), \text{ (hmot. \%)} \quad (2)$$

kde T je teplota v Kelvinech. Z rovnice (2) plyne, že při pokojové teplotě by měl být obsah železa v mědi, tj. v analyzované matrici, hluboko pod mezí detekovatelnosti použité metody, tj. řádově menší než 0,05 %. Změřené koncentrace  $(1,89 \pm 0,78)$  % Fe v matrici pak odpovídají teplotám, při nichž jsou uvedené obsahy Fe v mědi již rozpustné  $(955 \pm 93)^\circ\text{C}$ . To by však nasvědčovalo, že slitek mohl být prudce ochlazen <sup>120</sup>

z teploty asi nad 835°C, takže železo zůstalo v mědi rozpouštěno ve formě přesyceného tuhého roztoku.

### Metalurgicko-archeologické zhodnocení

Je pozoruhodné, že složení oxidických vrstev na povrchu slitků, zvláště pak vrstev hnědého zbarvení, se velmi dobře shoduje s analýzami strusek po tavení mědi, které uvádí R.F. Tylecote (1962, 34; 1976a, 25) a jež jsou datovány do starší a pozdní doby bronzové. Obsah analyzovaných složek se zde pohyboval v rozmezí: (30,8 až 69,4) %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  a  $\text{FeO}$  (7,74 až 40,2) %  $\text{SiO}_2$ , (0,70 až 7,40) %  $\text{CaO}$ , (0,28 až 7,8) %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , (0 až 2,72) %  $\text{Mg}$ , (0,24 až 5,8) %  $\text{Si}$ , (0,05 až 0,15) %  $\text{Sn}$ , (st. až 1,8) %  $\text{Pb}$ , (st. až 0,77) %  $\text{Zn}$ , (0,10 až 3,37) %  $\text{S}$ , max. 0,48 %  $\text{Sb}$  a v průměru desetínách procenta  $\text{As}$ ,  $\text{Bi}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  a  $\text{CaSO}_4$ . Pro snazší srovnání byly koncentrace prvků v tab. 1 přepočteny na oxidy a sestaveny do tab. 3. Z ní je patrné, ve srovnání s předchozími hodnotami, že vrstvy s vysokým podílem železa ulpělé na povrchu slitků je možno pokládat za zbytky strusek po tavení, popř. přetavování mědi. Samotný slitek s relativně vysokým obsahem železa lze pak hodnotit jako polotovar určený k dalšímu přetavování, neboť přetavením je možno obsah železa snížit (prvek přejde do strusky). Tento závěr se dá doložit experimenty s podobnými slitky (Tylecote 1976a, 21), datovanými do starší doby bronzové, u nichž po přetavení v inertní atmosféře klesl obsah železa z původních  $(10,84 \pm 2,24)$  % na pouhých  $(1,06 \pm 0,63)$  %. Jak ovšem ukazují analýzy pozdně bronzových lup z britských ostrovů, finální produkt tavby tvořila již relativně velmi čistá měď, kde železo je zastoupeno dokonce jen setinami procenta (Tylecote 1976b). Protože ve sliticích z Blučiny nebyl prokázán vůbec žádný cín, je stávající měděný polotovar výsledkem ještě nedokončeného procesu tavby rudy. Nezbytné opakování cyklu pražení a redukce sirníkových rud mědi (Eibner 1983) vyžadovalo, aby celistvá lupa z předchozí tavby byla k další manipulaci vždy rozčleněna. Fragmentárnost polotovarů blučinského depotu XIII tomuto postulátu odpovídá, nelze však na základě dvou analýz rozhodnout, zda soubor slitků pochází z jedné lupy, či zda jsou zde shromážděny zlomky

z několika vytavených koláčů a tím i z různých vsázek.

S výjimkou ojedinělých nálezů primární suroviny (např. Jockenhövel 1983) jsou v době popelnicových polí měděné lupy, případně i vzácnější ingoty (Mozsolics 1984, 32-34) jediným vhodným materiálem, který lze využít i k řešení otázky provenience měděných rud. Protože analýzami nebylo kvantifikováno zastoupení základních průvodních prvků (cf. Pittioni 1957; Schulz 1983), nemůžeme se touto aktuální problematikou dále konkrétněji zabývat. Lze pouze konstatovat, že kromě mědi obsahovala primární surovina jako další významné prvky železo, síru a antimon, takže hledané rudné ložisko by mělo být tvořeno chalkopyritem ( $\text{CuFeS}_2$ ) nebo bornitem ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ) a tetraedritem ( $\text{Cu}_3\text{SbS}_3$ ). V první řadě bude samozřejmě nutno zvážit možnosti těžby místních měděných rud. Známa mineralogická kompendia (Burkart 1953; Kruťa 1966, Bernard et al. 1981) uvádějí západně a severně od Brna řadu Cu-zrudnění. Velikost rudních akumulací ovšem není u některých lokalit ani dnes zřejmě přesně vymezena, neboť zatímco metalogenetická mapa ČSSR (Ilavský-Sattran 1981) uvádí dvě drobnější hydrotermální ložiska v Brně-Žebětíně, kolektivní práce pod vedením J. H. Bernarda (1981, 241-242) se o této lokalitě nezmiňuje. Těžko tedy můžeme odhadnout kapacitu surovinového zázemí v době bronzové, jak však dokazují výsledky výzkumů v Dolním Rakousku a oblasti Salzburgu (Hampl 1976; Pausweg 1976), byla využívána i velmi malá a chudá Cu-zrudnění. Protože nám zatím chybí průkaznější indicie o exploataci místních rudných zdrojů, je třeba počítat i s možností alochtonního původu suroviny měděných lup v Blučině. Zde přichází v úvahu rudní revír u Španí Doliny ve Slovenském rudohoří, kde je doložena pravěká těžba tetraedritu a chalkopyritu (Bernard et al. 1981, 350-351); Točík-Bublová 1985). Dalšími provenienčně možnými metalogenními oblastmi jsou ložiska v jižním Burgenlandu na rakousko-maďarských hranicích (Mozsolics 1984, 21, pozn.5) a samozřejmě ve východních Alpách.

Pokud bude verifikován původ suroviny analyzovaných slitků z takovýchto vzdálenějších zdrojů, znamenalo by to průmyslovou materiálovou distribuci organizačně koordinovanou s technologickým postupem. Surovina byla pro potřebu transportu racionálně rozpracována až do takového stadia, v němž byla zbavena

maxima výrobního odpadu, aniž by přitom ovšem byl vyroben již finální produkt, rafinovaná měď.

#### Literatura

- Bernard, J. H. et alii 1981: Mineralogie Československa. Praha.
- Burkart, E. 1953: Moravské nerosty a jejich literatura. Praha.
- Eibner, C. 1983: Kupferverhüttung - das Vorstadium für Giesse-  
reihütten der Urzeit, ArchPolski XXVII, 1982, 303-313.
- Hampl, F. 1976: Die bronzezeitliche Kupfergewinnung in Nieder-  
osterreich. Forschungsstand Ende 1974 und Aufgaben. Das  
Experiment in der Urgeschichte, AAustr Beiheft 14, 58-67.
- Ilavský, J. - Sattran, V. 1981: Metalogenetická mapa ČSSR. Praha.
- Jockenhövel, A. 1983: Zeugnisse der primären Metallurgie in  
Gräbern der Bronze- und Alteisenzeit, ArchPolski XXVII,  
1982, 293-301.
- Kotrba, Z. 1983: Matematizace a chemizace rentgenové mikro-  
analýzy. Nепublikovaná disert. práce (autoreferát).  
ÚÚG, Praha.
- Kruťa, T. 1966: Moravské nerosty a jejich literatura 1940-1965.  
Brno.
- Mott, B.W. 1956: Micro - Indentation Hardness testing. London.
- Mozsolics, A. 1984: Ein Betrag zum Jettallhandwerk der unga-  
rischen Bronzezeit, BerRGK 65, 20-72.
- Pausweg, F. 1976: Die Bedeutung der Ur- und Frühgeschichts-  
forschung für die Lagerstättenkunde am Beispiel des  
Kupfererzbergbaus Mitterberg bei Mühlbach am Hochkönig,  
Salzburg, AAustr Beiheft 14, 125-129.
- Pittioni, R. 1957: Urzeitlicher Bergbau auf Kupfererz und  
Spurenanalyse. Beiträge zum Problem der Relation Lager-  
stätte - Fortigobjekt, AAustr Beiheft 1, 1 - 76.
- Říhovský, J. 1982: Základy středodunajských popelnicových polí  
na Moravě, Studie AÚ ČSAV v Brně X/1. Praha.
- Salaš, J. 1985: Metalurgická výroba na výšinném sídlišti z doby  
bronzové u Blučiny, ČMM LXX, 37-56.
- Sevrjukov, N.N. - Kuzmin, B.A. - Čeliščev, J.V. 1958: Obecné  
hutnictví. Praha.



- Schulz, H.D. 1983: Zuordnung von Kupfer-Metall zum Ausgangerz.  
Möglichkeiten und Grenzen der Methode, PZ 58, 1-14.
- Smithells, C.H. 1967: Metals Reference Book. London.
- Taylor, L et alii 1973: Metals Handbook. Ohio.
- Točík, A. - Bublová, H. 1958: Príspevok k výskumu zaniknutej  
ťažby medi na Slovensku, ŠZ 21, 47-135.
- Tylecote, R.F. 1962: Metallurgy in Archaeology. London.
- 1976a: A History of Metallurgy. London.
- 1976b: Properties of Copper Ingots of Late Bronze Age Type,  
AAustr Beiheft 14, 157-172.
- Veliačik, L. - Javorský, F. 1983: Záchranný výskum na hradisku  
Tureň vo Vítkovciach, AR XXXV, 143-147.
- Zschocke, K. - Preuschen, E. 1932: Das urzeitliche Bergbaugabiet  
von Mühlbach - Bischofshofen. Mater. zur Urgeschichte  
Österreichs. Wien.

Tab. 1 Složení povrchových vrstev slitků (hmotn. %)

Slitek	Al	Si	P	S	K	Ca	Fe	Ni	Cu	Poznámka
1	1,27 0,42	9,00 3,42	0,00 -	0,57 0,02	0,51 0,27	0,33 0,07	81,03 7,89	0,43 0,40	6,65 3,51	v oblastech hnědého (rezavého) zbarvení povrchu
	1,03 0,18	14,19 4,61	1,02 0,14	0,57 0,22	0,67 0,07	3,05 0,30	11,61 2,05	2,05 1,39	65,29 4,10	v místech zeleného zbarvení povrchu
2	1,36 0,69	7,10 1,19	0,00 -	0,12 0,20	0,32 0,29	1,25 0,28	70,00 6,35	1,23 0,74	18,63 6,74	v místech hnědého (rezavého) zbarvení povrchu

Pozn.: -depot XIII, Blučina - Cezavy, vzorek č. 1 - inv. č. 110 179, hmotnost 11g, vzorek č. 2 - bez označení, hmotnost 8g.  
-mez detekovatelnosti je lepší než 0,05 hmotnostn. %.

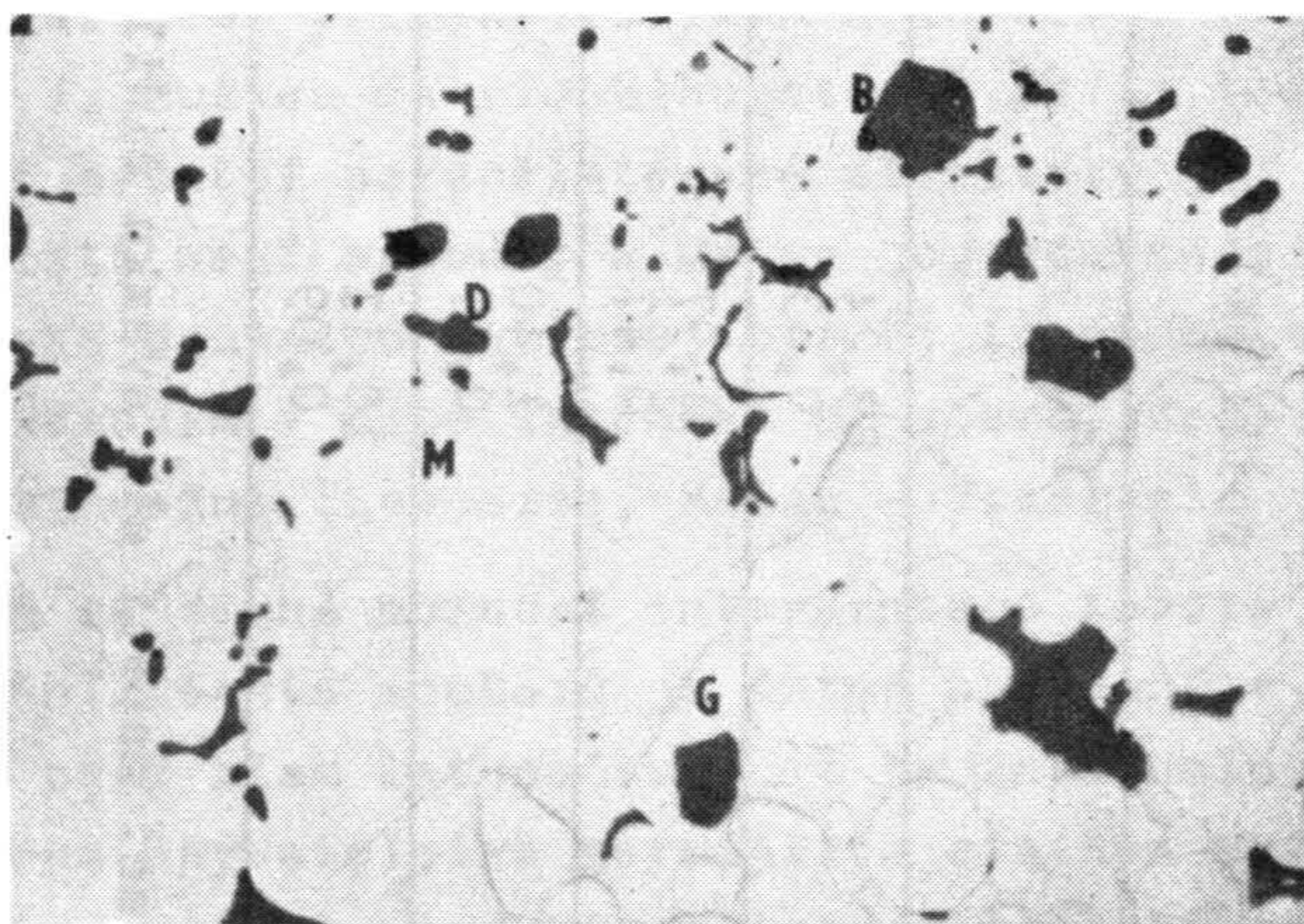
Tab. 3 Složení povrchových vrstev slitků s uvažováním oxidů (hmotn. %)

Slitek	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	K <sub>2</sub> O	CaO	FeO	Ni	Cu	
1	1,9	10,9	-	0,44	0,47	0,36	80,5	0,33	5,13	v oblastech hnědého (rezavého) zbarvení
	1,7	19,5	2,0	0,50	0,71	3,7	13,1	1,8	57,0	v místech zeleného zbarvení povrchu
2	2,0	8,9	-	0,10	0,31	1,4	71,5	0,98	14,8	v místech hnědého (rezavého) zbarvení povrchu

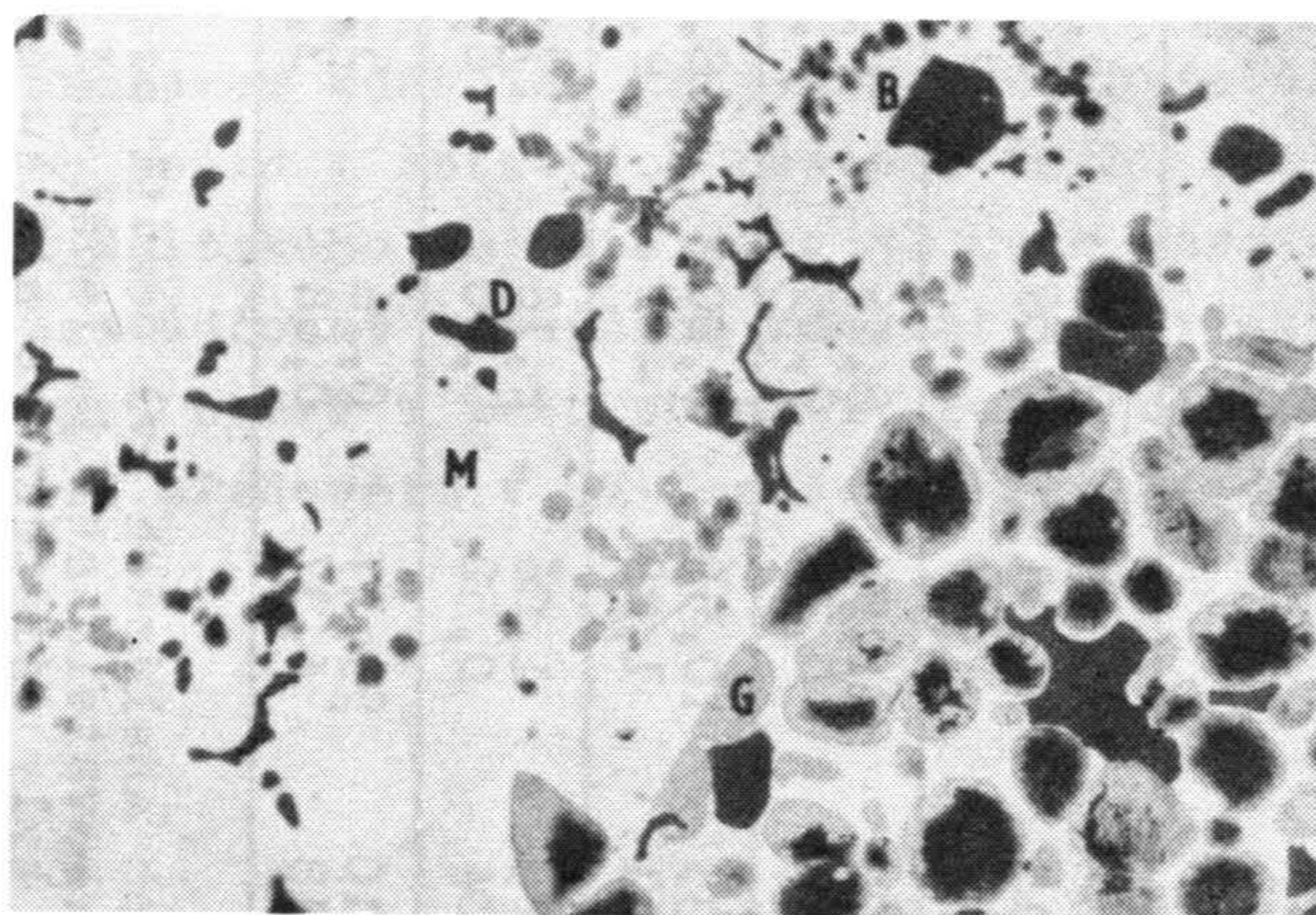
Tab. 2 Výsledky mikroanalýzy Cu - slitku (hmotn. %)

Analyzovaná oblast	Hmotnostní podíl (%)					Mikrotvrdost HV 0,02	Poznámka
	S	Fe	Ni	Cu	Sb		
průměrné složení	1,08 0,15	11,59 6,41	0,60 0,06	85,32 6,49	1,41 0,08	(190) (70)	100 HB 94,5 3,2
matrice	0,00 -	1,89 0,78	0,46 0,05	96,32 0,48	1,28 0,44	127 6	83,24 0,63
fáze $\beta'$	20,35 0,11	10,59 1,88	0,00 -	68,97 2,18	0,14 0,19	230 10	4,97 0,47 • Cu <sub>2</sub> S
strukturní složka $\gamma$	0,23 0,04	1,06 0,52	2,16 0,00	77,89 0,30	18,70 0,26	272 25	1,40 0,57
strukturní složka $\delta$	0,10 0,18	93,17 4,37	0,76 0,68	5,66 3,81	0,26 0,05	682 124	10,11 0,09 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

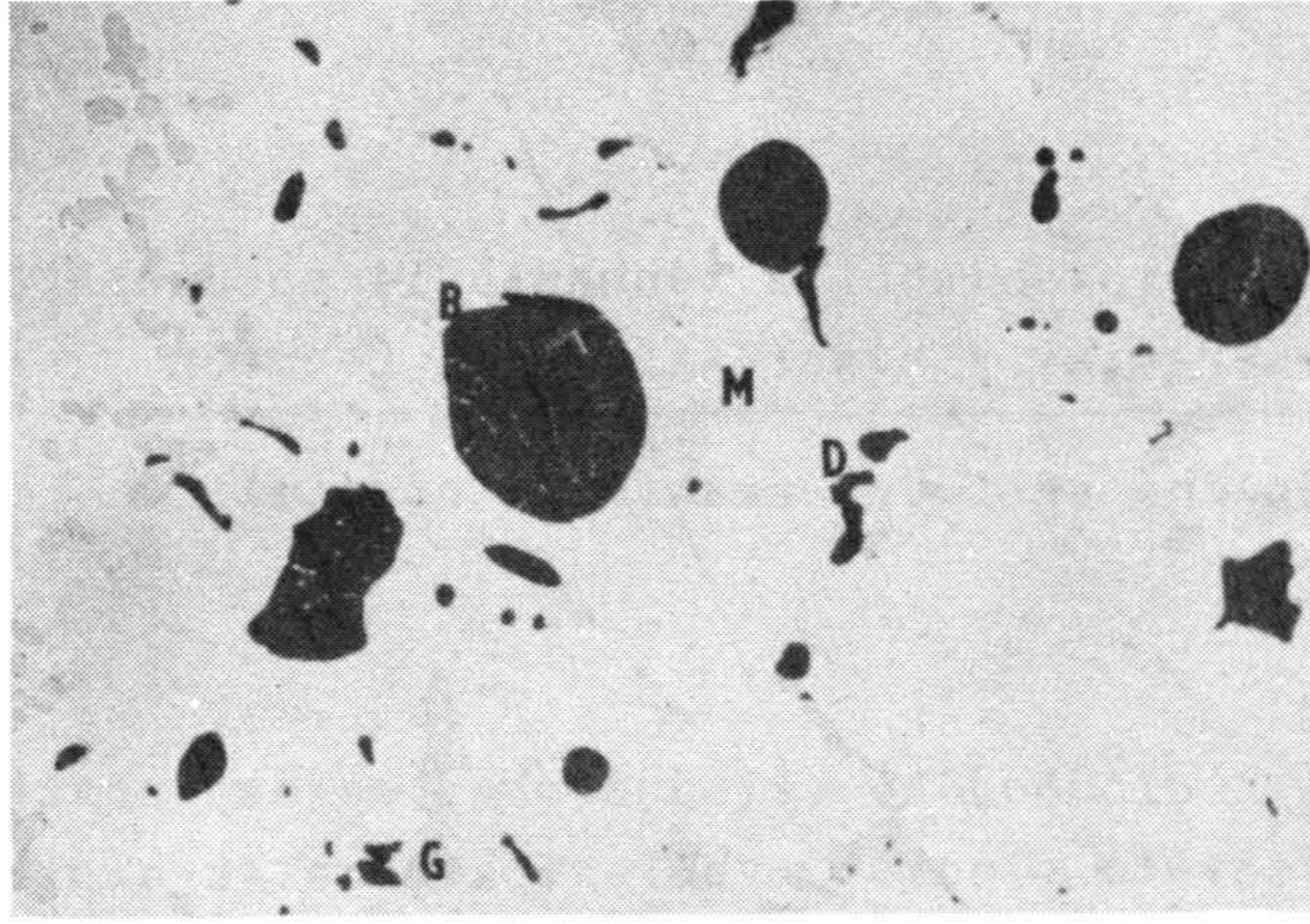
Pozn.: - Při všech analýzách byl použit program SSQ a urychlovací napětí el. svazku činilo 25 kV, mez detekovatelnosti je lepší než 0,05 hmotn. %,  
 - Lokálně byly zjištěny ve slitku stopy olova  
 - Mikrotvrdost HV 0,02 je průměrem pěti měření, tvrdost HB 2,5/62,5/15 je průměrem tří měření



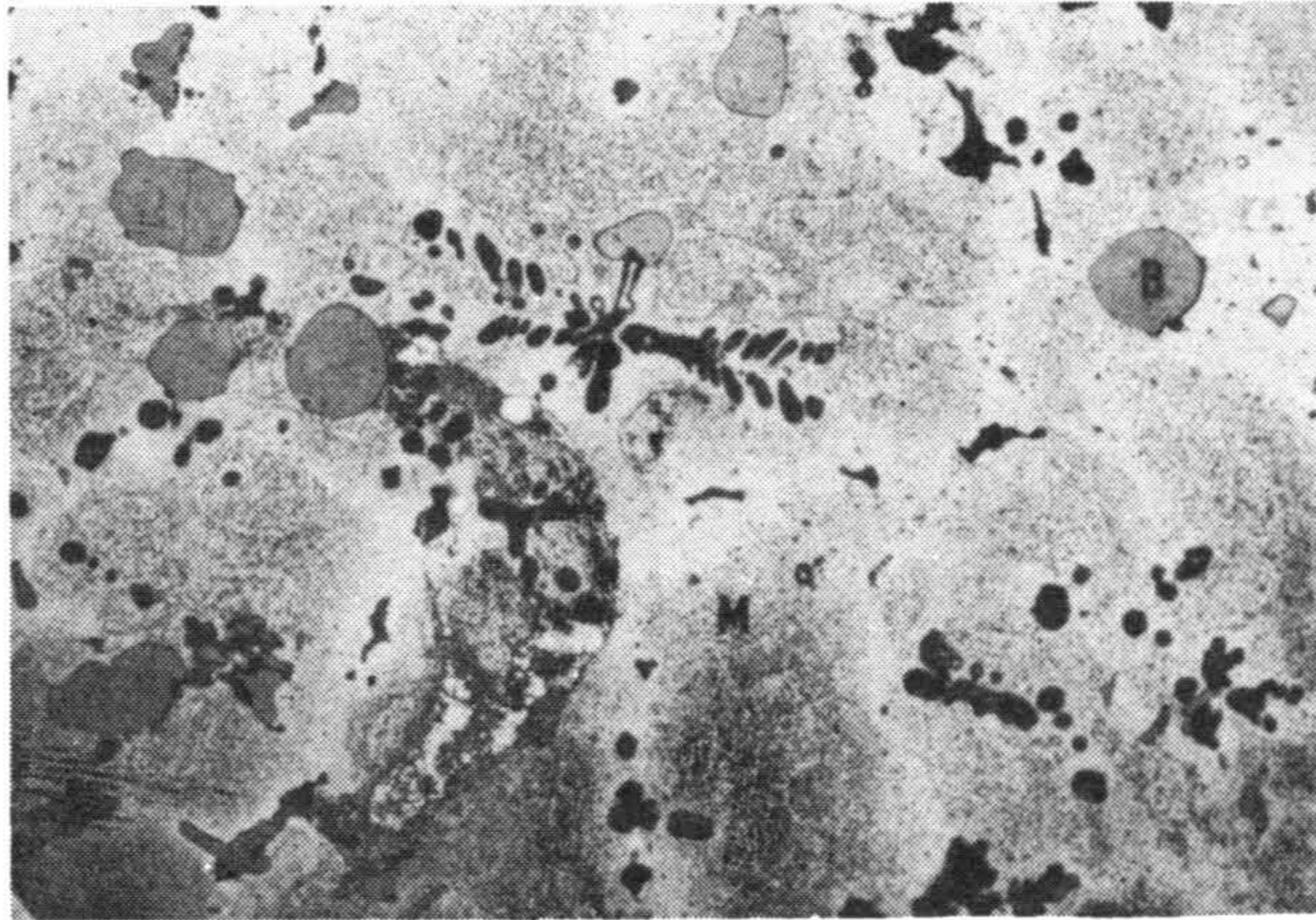
Obr. 1 Struktura slitku č. 1 (Cezavy u Blučiny). Označení strukturních složek: M - matrice, B - fáze  $\beta'$ , G - složka  $\gamma$ , D - složka  $\delta$  (viz tab. 2), je na obr. 1 až 4 stejné. Neleptáno. Zvětšeno 200x.



Obr. 2 Struktura slitku č. 1 (Cezavy u Blučiny). Totéž místo jako na obr. 1. Leptáno nitalem. Zvětšeno 200x.



Obr. 3 Struktura slitku č. 1 (Cezavy u Blučiny). Jiné místo s lokálně zvýšeným výskytem fáze  $\beta'$ ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) - ozn. B. Neleptáno. Zvětšeno 200x.



Obr. 4 Struktura slitku č. 1 (Cezavy u Blučiny). Slitek nevykazuje stopy tváření. Leptáno persíranem amonným. Zvětšeno 200x.