Vlastnosti a kvalita dřevěného uhlí vyrobeného při experimentu ve Lhotě na Křivoklátsku[1]

Jiří Woitsch

Rekonstrukce technologie se při experimentální výrobě dřevěného uhlí, o které v tomto sborníku podrobně referuje V. Matoušek, nepochybně zdařila. Její úspěšnost vyplývá samozřejmě z prostého faktu, že se dřevěné uhlí podařilo vypálit. Z hlediska historie i živé současnosti výroby dřevěného uhlí u nás i v Evropě, je však podobné hodnocení nedostatečné. Hodnocení efektivity produkce se totiž samozřejmě neodvíjí od její pouhé úspěšné realizace – ta byla a je s ohledem na míru praktických zkušeností „opravdových" uhlířů standardem, i když zprávy o excesech třeba v podobě tzv. vyhoření milířů existují. Rozhodujícími kritérii při posuzování uhlířství však vždy v minulosti i dnes byla výtěžnost výroby – tj. množství uhlí vyrobeného z dané suroviny – a dále jeho kvalita odvíjející se od chemické kompozice. A tímto prizmatem je samozřejmě možné a nutné hodnotit i tento experiment.

Komparativní bázi lze přitom získat zhruba ze tří zdrojů: historických zpráv o tradičním uhlířství,[2] sledováním ještě stále živé výroby dřevěného uhlí[3] a konečně z výsledků podobně zaměřených terénních experimentů[4] či čistě laboratorních pokusů.[5] Pro přítomné pojednání se z řady důvodů jako nejrelevantnější, heuristicky nejdostupnější a ve standardizovaných podmínkách proveditelné jevilo přesné srovnání s obdobným experimentem provedeným 31. 1. až 18. 2. 2007 u loveckého zámku Ohrada v Hluboké nad Vltavou (srov. *obr. 5 a 6*) a s komerčně prováděným pálením dřevěného uhlí, které dodnes kontinuálně probíhá tradiční milířovou technologií na uhlířském pracovišti vzdáleném asi 2 km severně od obce Valchid v Rumunské Transylvánii (srov. *obr. 1 až 4*). Na všech třech místech bylo autorem této stati prováděno dlouhodobé pozorování výrobního procesu a při rozebírání milířů pak odebrány vzorky dřevěného uhlí. Srovnání s historickým stavem uhlířství na našem území zachyceným archivními prameny a literaturou sloužilo jen k rámcové kontextualizaci získaných dat.

Co se týče kritéria prvního, výtěžnosti, tak ta byla i v době normálního fungování tradičního uhlířství užívajícího milíře (na našem území cca vrcholný středověk až polovina 19. století) samozřejmě vysoce variabilní. Závisela jednak na druhu a kvalitě použitého dřeva (dřevo tvrdé nebo měkké, suché či vlhké, zdravé či trouchnivé, kmenové nebo pařezové, dřevo silného nebo slabého průměru atd.), karbonizační teplotě (odvíjející se např. od konstrukce milíře, ale i povětrnostních podmínek), jednak

[1] Příspěvek byl zpracován v rámci juniorského grantového projektu *Les a stromy v lidové kultuře Českých zemí raného novověku – hmotná kultura* č. KJB900580701 podporovaného GA AV ČR.

[2] Ze shrnujících nejdůležitějších prací srov. zejména: V. HUSA, *Uhlířské tovaryšstvo na Kutnohorsku ve 14. až 16. století*, Středočeský sborník historický 1, 1957, s. 7–66; Z. ROHLÍČEK, *Uhlířství na Kutnohorsku v době předbělohorské*, Rozpravy Národního technického muzea 58, Rozpravy z dějin hornictví 3, Praha 1973, s. 141–166; J. BLAU, *Waldleute. Arbeitergestalten aus dem Böhmerwald*, Jugendschatz – Bd. 17, Liberec (Reichenberg) b. d. (patrně 1922), s. 32–40; J. KOŘAN, *Staré české železářství*, Praha 1946, s. 102–112.

[3] Souhrnně H. SCHEJBALOVÁ – J. WOITSCH, *Experimentální výpal milíře u příležitosti výstavy Šumava – tajemství, nostalgie, příběhy v kontextu historie výroby dřevěného uhlí na Šumavě a současného evropského uhlířství*, Sborník z konference Šumava – konflikt člověka a přírody, Praha: Národní zemědělské muzeum Praha, 2007, s. 31–37; E. HANAK, *Niederösterreich. Traditionelles Handwerk – Lebendige Volkskunst*, Wien 1995, s. 64–65; Srov. též řadu dokumentů a odborných studií dostupných na stránkách FAO (The Food and Agriculture Organization of the United Nations) na http://www.fao.org/documents/ [accessed 16. 2. 2008].

[4] B. DRAGOUN – V. MATOUŠEK, *Archeologický odkryv uhliště v Olbramově a experimentální pálení dřevěného uhlí v Uhřínově. Příspěvek k problematice pálení dřevěného uhlí v novověku*, Archeologie ve středních Čechách 8, 2004, s. 727–772; I. HLAVATÝ, *Experimentální vypálení milíře v Rožnově pod Radoštěm*, Národopisné aktuality 26, 1989, s. 57–58.

[5] Srov. M. SMÍŠEK – S. ČERNÝ, *Active Carbon: Manufacture, Properties and Applications*, Amsterdam 1970; S. THIÉBAULT (Ed.), *Proceedings of the Second International Meeting of Anthracology, Paris*, Oxford 2002; F. C. BEALL – P. R. BLANKENHORN – G. R. MOORE, *Carbonized wood – physical properties and use as a SEM preparation*. Wood Science 6 (3), 1974, s. 212–219; T. LUDEMANN – O. NELLE, Die *Wälder am Schauinsland und ihre Nutzung durch Bergbau und Köhlerei*. Forstliche Versuchs– und Forschungsanstalt Baden–Württemberg, Abteilung Botanik und Standortskunde, 15, Freiburg 2002; *Simple technologies for charcoal making*, FAO Forestry Paper 41, Rome 1983; *Industrial charcoal making*, FAO Forestry Paper 63, Rome 1985.

na zručnosti uhlířů při rozebírání milířů a manipulaci s vyrobeným dřevěným uhlím. Už z období pozdního středověku a starší fáze raného novověku jsou o výtěžnosti, udávané ovšem ve značně problematických jednotkách a rozporuplným způsobem, hojné zprávy. Zejména z 18. a 19. století však máme i ze středoevropského prostředí dochovánu řadu přesných přehledů o výtěžnosti z různých druhů dřev zuhlených různým způsobem.[6] Jejich srovnání s výsledky provedeného experimentu však nebylo možné a to ze dvou hlavních důvodů.

Při experimentu předně nebyl přesně měřen objem užitého dřeva ani zjišťována hmotnost (či objem) vyrobeného uhlí, což samozřejmě jakoukoliv komparaci s dostupnými daty znemožňuje. A dále byla pro milířování užita směs různých druhů tvrdého dřeva listnatých stromů s menší příměsí dřeva jehličnanů, takže i pokud by byla známa data o objemu užitého dřeva a vyrobeného uhlí, nebylo by je možné s ničím srovnávat, neboť starší i recentní zprávy se vztahují výhradně k situacím, kdy je uhlí vyrobeno z jednoho určitého druhu dřeva. S ohledem na rozdílnou kvalitu produktu a různé vlastnosti dřeva během karbonizace bylo a je totiž žádoucí a běžné, aby se milíře stavěly výhradně z jednoho druhu dřeva, což reflektují i příslušné údaje o výtěžnosti. Pouze na základě velmi hrubého odhadu tak lze soudit, že poměrná výtěžnost byla s ohledem na vyhoření části milíře asi o 1/4 až 1/3 nižší než u srovnatelně velkých milířů stavěných v minulosti či pálených profesionály dnes.[7]

Zcela jiná je ovšem situace v případě druhého kritéria – tedy charakteristik vyrobeného uhlí. Přímo při výrobě (rozebírání milíře, třídění uhlí) byla a je jeho kvalita uhlíři jednoduše posuzována, jak o tom referují ze střední Evropy četné zdroje,[8] na základě jeho pozorovatelných vlastností – barvy, lámavosti, špinivosti, velikosti vyrobených kusů uhlí, zvuku uhlí při poklepu, relativní hmotnosti, výhřevnosti a čadivosti po zapálení atd. Pomocí těchto indikátorů je možné kvalitu uhlí zhodnotit překvapivě spolehlivě, nicméně pro naše potřeby mají mnohem vyšší hodnotu exaktní údaje zjištěné laboratorními analýzami, které jsou shrnuty v tabulce.[9]

Všechny vzorky, jejichž analýzy prezentujeme, byly odebírány z různých částí milíře během jeho rozebírání, k rozborům byly následně vybrány vzorky z, jak bylo zjištěno pozorováním, různých druhů dřev a z rozdílně zuhlených či částečně shořelých částí milíře tak, aby zejména průměrné výsledky co

[6] Jedná se zejména o nejrůznější technologické příručky. Srov. zejména C. D. UHR, *Anleitung zur vortheilhaften Verkohlung des Holzes in stehenden und liegenden Meilern*, Giessen 1820; H. L. DUHAMEL DU MONCEAU, *Die Kunst des Kohlenbrennens oder die Arrt und Weise aus Holz Kohlen zu Machen*, přel. J. H. GOTTLIEB von JUSTI, Berlin – Stettin – Leipzig 1762; F. KLEIN, *Ueber Verkohlung des Holzes in stehenden Meilern*, Gotha 1836; C. H. EDMUND von BERG, *Anleitung zum Verkohlen des Holzes*, Darmstadt 1830; G. L. HARTYG – V. V. HAVELKA, *Umění lesní*, Sv. 3, Praha 1823[2], s. 85–86, 99–121; K. SCHINDLER, *O uhlířství*, Háj 1, 1872, s. 3–8, 53–58, 76–81, 108–112, 132–134, 172–176, 204, 237–240, 273–277, 301–305, 336–339, 366–369. Dále viz M. STRATFORD, *Charcoal Burning in the 17th Century: A brief History and Practical Guide*, Backwell Bristol 1994; H. BERGSTRÖM, *Handbok för Kolare*, Stockholm 1947.

[7] K výtěžnosti srov. uvedené technologické příručky a dále H. KILLIAN, *Holzkohle und Köhlerei. Ein forsthistorischer Beitrag zu einem alten Waldgewerbe*. In: Ast, H., Wernhart, K., R., (Eds.), *Köhlerei in Europa und der Karibik. Kulturanthropologische Studien basierend auf einem Symposion im Waldbauernmuseum Gutenstein*, Wiener Beiträge zur Ethnologie und Anthropologie. WUV–Universitätsverlag, Wien 1994, s. 16–34.

[8] Viz. např. J. E. CHADT – ŠEVĚTÍNSKÝ, *Dějiny lesů a lesnictví*, Písek 1913, s. 776–781; B. MORAVEC, *Uhlíři v českých lesích*, ČL 7, 1898, s. 14–18; V. KARÁSEK, *Jak pálili uhlíři dříví v českých lesích*, ČL 22, 1913, s. 220–235; R. JANOVSKÝ, *Domácí průmysl na Holešovsku*, ČL 29, 1928, s. 209–221; TÝŽ, *Pálení dřevěného uhlí v lese (milíře),* ČL 28, 1928, s. 225; L. KUNZ, *Jak hory živily lidi na Rajnochovsku*, Naše Valašsko 13, 1950, s. 49–57; J. ZAHRADNÍK, *Poslední uhlíř v Beskydech*, Slezský sborník 45, 1947, s. 249–251; TÝŽ, *Pálení dřevěného uhlí v Beskydách*, Vlastivěda Ostravského kraje – Těšínsko 11, 1960, zadní obálka; C. RAKUŠAN, *Poslední uhlíři na Černokostelecku*, Vlastivědný sborník Českobrodska 2, 1959, s. 111–116; V. RÝZNAR, *Poslední výrobci dřevěného uhlí na Štítecku*, Severní Morava 28, 1974, s. 53–57; J. JAKUB, *Výroba dřevěného uhlí v milířích v Myslibořicích*, Věstník NSČ 1960, s. 23; J. ŠMÍRA, *Pálení dřevěného uhlí ve Frýdlantu nad Ostravicí*, Věstník NSČ 1961, s. 17–18; V. LATTA, *Uhliarstvo v Hámroch pri Snine*, SN 6, 1958, s. 591–627; J. KOMA, *K otázke rozšírenia pálenia dreveného uhlia na východnom Slovensku*, Nové obzory. Spoločenskovedný zborník východného Slovenska 7, 1965, s. 352–365.

[9] Část analýz vyhodnotila a provedla Ing. Zuzana Cílová z Vysoké školy chemicko–technologické v Praze, které tímto děkujeme. Ostatní rozbory byly provedeny v Laboratoři organické elementární analýzy Vysoké školy chemicko–technologické v Praze (přístroje Elementar vario EL III a TOX–100 Mitsubishi). V tabulce jsou detailně rozepsány výsledky analýz všech zkoumaných vzorků odebraných z milíře ve Lhotě, v případě komparovaných dat (Ohrada a Valchid) jsou uvedeny pouze průměrné hodnoty. Procentní údaje referují o objemových charakteristikách. V tabulce nejsou uvedeny (neměřené) hodnoty obsahu těkavých látek v sušině a některých stopově zastoupených prvků. Vzorky byly spáleny v atmosféře 0_2/Ar. Viz též *obr 7 a 8*.

nejlépe vypovídaly o charakteristice vyrobeného uhlí jako celku. Laboratorně pak byla zjištěna vlhkost jednotlivých vzorků a další vlastnosti, které byly a jsou považovány při hodnocení kvalit dřevěného uhlí za podstatné. Klíčová je zde zejména chemická kompozice – předně obsah fixního uhlíku – čím je vyšší, tím je dřevěné uhlí pro jakékoliv použití vhodnější. Zde se jednoznačně ukázala mimořádná kvalita vyrobeného uhlí. U 6 vzorků byl obsah uhlíku vyšší jak 90 hmotnostních procent, vzorek „Lhota 7" nebyl zcela karbonizován a tudíž byl obsah C výrazně nižší. I přesto je průměrný obsah fixního uhlíku ve vyrobeném uhlí téměř 90 %, což např. vysoce překračuje předpisy požadovaný obsah C pro dnes průmyslově vyráběné dřevěné uhlí,[10] je to dokonce více, než jakého obsahu vázaného C dosahují dnešní profesionální uhlíři v Rumunsku. Též v historické perspektivě je taková kvalita plně srovnatelná s uhlím vyráběným v minulosti a užívaným např. i pro výrobu ocelí.

I zastoupení dalších prvků svědčí o mimořádné čistotě vyrobeného produktu – pro dříve klíčové odběratelské odvětví, železářství, bylo vždy podstatné pokud možno co nejmenší procento obsažené síry.[11] Dřevěné uhlí ze Lhoty jí má v průměru jen $2{,}37.10^{-2}$ objemových procent, což je vynikající výsledek, opět nejen ve srovnání s ostatními analyzovanými vzorky. Dá se tak oprávněně předpokládat (ačkoliv tak podrobné analýzy prováděny nebyly), že uhlí by dokonce splňovalo – z hlediska zastoupení As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Sb a Se – i parametry pro aktivní uhlí užívané např. při filtraci pitné vody.

Též zjištěná vlhkost vzorků, ačkoliv odběr a po určitou dobu i jejich uchovávání odpovídal podmínkám terénního experimentu, byla nízká. A konečně i množství nespalitelného zbytku (popela) v získaném uhlí, resp. analyzovaných vzorcích bylo minimální. V průměru šlo o cca 3,4 % a bez započítání problematického vzorku „Lhota 7" by byl tento údaj ještě výrazně nižší.

Celkově lze konstatovat, že při experimentu bylo vyrobeno, byť v množství nižším, než by bylo optimální, dřevěné uhlí špičkové kvality. Tato skutečnost byla evidentní již při rozebírání milíře, kdy uhlí vykazovalo charakteristiky (ostře černá barva přecházející někdy do namodralých tónů, „zvonivý" zvuk při poklepu atd.) připisované uhlíři v minulosti i dnes prvotřídnímu uhlí. Uvedený poznatek posléze potvrdily laboratorní analýzy – uhlí má vysoký obsah fixního uhlíku, malou vlhkost, minimální obsah síry, zanechává zanedbatelné množství popela. Je plně srovnatelné nejen s dnes poloprůmyslově a průmyslově (např. v karbonizačních pecích a retortách) vyráběným dřevěným uhlím, ale hlavně s uhlím získávaným v minulosti i dnes karbonizací v milířích, které je vždy považováno – přes zdánlivě primitivní technologii výroby – za obecně kvalitnější. Přes omezené až nulové praktické znalosti realizátorů experimentu se tak podařilo dokázat, že provedený postup byl víceméně správný a skutečně vedl ke získání dřevěného uhlí, jaké bylo na našem území, i jinde v Evropě, touto technologií masově vyráběno.

[10] Např. normy DIN 517 49, ČSN EN 12903 (75 5703), vyhláška Ministerstva zdravotnictví 38/2001 Sb. ze dne 19. 1. 2001.

[11] H. AST – W. KATZER, *Holzkohle und Eisen: Beitrag zur Volkskunde, Wirtschafts– und Sozialgeschichte des Raumes um Gutenstein*, Linz a. d. Donau 1970; J. PERCY, *Die Mettalurgie*, Bd. 1, Braunschweig 1863, s. 66–155; C. F. PLATTNER, Vorlesungen über allgemeine Hüttenkunde, Bd. 1, Freiberg 1860, s. 55–97; R. PLEINER – J. KOŘAN – M. KUČERA – J. VOZÁR, *Dějiny hutnictví železa v Československu 1. Od nejstarších dob do průmyslové revoluce*, Praha 1984; F. PSOTA, *Dřevěné uhlí v železářství*, Svět techniky 11, 1960, s. 301–305.

Tabulka 1 Základní chemické a fyzikální vlastnosti zkoumaného dřevěného uhlí

Označení vzorku	Navážka (mg)	N (%)	C (%)	H (%)	Navážka (mg)	S (%)	Nespalitelný zbytek (mg)	Vlhkost (%)
Lhota 1	1,934	–	91,76	2,010	3,25	$1{,}74.10^{-2}$	0,001	1,32
Lhota 1	2,046	–	91,63	2,054	3,34	$1{,}74.10^{-2}$	0	
Lhota 2	1,840	–	94,71	1,024	3,272	$1{,}96.10^{-2}$	0,12	1,97
Lhota 2	1,881	–	94,50	1,016	3,577	$1{,}91.10^{-2}$	0,09	
Lhota 3	2,491	–	94,22	0,821	3,238	$2{,}26.10^{-2}$	0,18	3,66
Lhota 3	2,608	–	94,34	0,785	3,246	$2{,}31.10^{-2}$	0,15	
Lhota 4	2,127	–	91,15	1,877	3,296	$1{,}55.10^{-2}$	0,003	2,06
Lhota 4	2,440	–	91,54	1,978	3,551	$1{,}47.10^{-2}$	0,001	
Lhota 5	2,343	0,340	93,31	1,466	3,068	$1{,}91.10^{-2}$	0	0,93
Lhota 5	2,651	0,356	92,35	1,571	3,345	$1{,}91.10^{-2}$	0,002	
Lhota 6	2,117	–	92,61	1,303	3,623	$3{,}29.10^{-2}$	0,1	2,74
Lhota 6	2,223	–	92,76	1,336	3,697	$3{,}36.10^{-2}$	0,08	
Lhota 7	1,693	0,435	64,83	3,135	3,276	$3{,}92.10^{-2}$	0,18	4,12
Lhota 7	2,079	0,432	64,88	3,230	3,146	$3{,}84.10^{-2}$	0,13	
Lhota průměr	**2,177**	**0,111**	**88,899**	**1,686**	**3,352**	$\mathbf{2{,}37.10^{-2}}$	**0,074**	**2,4**
Ohrada průměr	**2,757**	**–**	**84,373**	**2,71**	**3,296**	$\mathbf{3{,}21.10^{-2}}$	**0,065**	**2,74**
Valchid průměr	**3,392**	**–**	**85,58**	**2,812**	**3,403**	$\mathbf{3{,}28.10^{-2}}$	**0**	**2,35**

Obr. 1 Stojatý milíř z bukového dřeva před pokrytím těsnící vrstvou. Uhlířské pracoviště poblíž obce Valchid, oblast Transylvánie, Rumunsko. Foto J. Woitsch, 2005

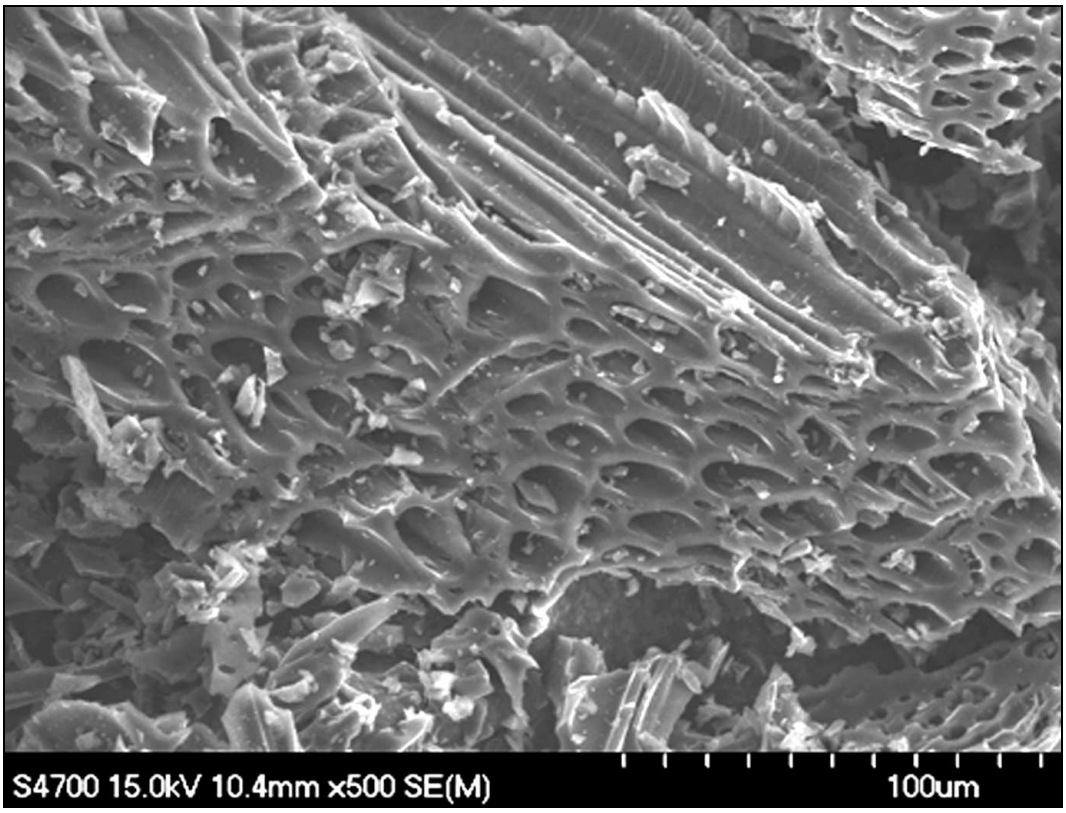
Obr. 2 Stojatý milíř ve střední fázi vypalování. Uhlířské pracoviště poblíž obce Valchid, oblast Transylvánie, Rumunsko. Foto J. Woitsch, 2005

Obr. 3 Celkový pohled na uhlířské pracoviště s kontinuální komerční výrobou dřevěného uhlí tradičními technologiemi. Několik milířů se nachází v různých fázích zpracování (stavba, vypalování, rozebírání). Uhlířské pracoviště poblíž obce Valchid, oblast Transylvánie, Rumunsko. Foto J. Woitsch, 2005

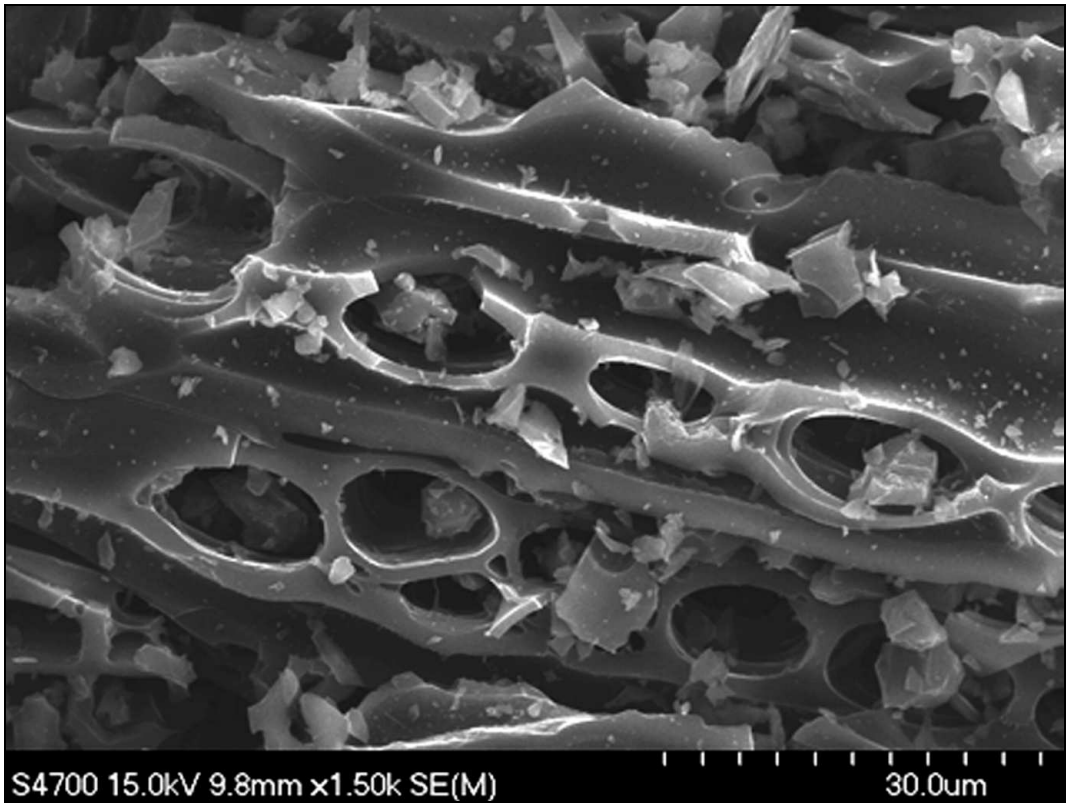
Obr. 4 Rozebírání vypáleného milíře; v popředí typické uhlířské nástroje. Uhlířské pracoviště poblíž obce Valchid, oblast Transylvánie, Rumunsko. Foto J. Woitsch, 2005

Obr. 5 Stavba experimentálního milíře ze smrkového dřeva. Ohrada u Hluboké nad Vltavou. Foto J. Woitsch, 2007

Obr. 6 Experimentální milíř v první fázi vypalování. Ohrada u Hluboké nad Vltavou. Foto J. Woitsch, 2007



Obr. 7 Snímek vzorku bukového dřevěného uhlí (Valchid, Rumunsko); SEM. Foto Z. Cílová, 2007



Obr. 8 Snímek vzorku bukového dřevěného uhlí (Valchid, Rumunsko); SEM. Foto Z. Cílová, 2007