

MINERÁLNÍ ASOCIACE NA PROHOŘELÝCH ODVALECH ROSICKO-OSLAVANSKÉHO REVÍRU, ČESKÁ REPUBLIKA

THE MINERAL ASSEMBLAGES AT THE ABANDONED BURNING SPOIL-HEAPS
IN THE ROSICE-OSLAVANY COALFIELD, CZECH REPUBLIC

PAVLA DOKOUPILOVÁ, STANISLAV HOUZAR & JIŘÍ SEJKORA

Abstract

Dokoupilová, P., Houzar, S., Sejkora, J. (2010): Minerální asociace na prohořelých odvalech Rosicko-oslavanského revíru, Česká republika. – Acta Mus. Moraviae, Sci. geol., 1, 95, 121-140.

The mineral assemblages at the abandoned burning spoil-heaps in the Rosice-Oslavany Coalfield, Czech Republic

Mineral assemblages formed recently at the abandoned burning spoil-heaps of the Kukla coal mine in Oslavany and Ferdinand coal mine in Zastávka. They originated in three stages. Pyrometamorphic stage I $T_{\max} > 100$ °C produced hematite, corundum, cristobalite and various glasses (Si-rich sandstone dominant protolith). Minerals of ellestadite group, periclase, magnesioferrite, srebrodolskite, and accessory cuspidine, kumtyubeite and rondorfite are typical for pyrometamorphosed dolomite-anhydrite-gypsum dominant protolith. Relics of early “fumarolic” phase, with minerals crystallizing from gas exhalations at $T > 100$ °C (sulfur, sal ammoniac), including products of rock decomposition by hot gases, are present only locally. The spoil-heaps cooling stage II produced calcite, aragonite, gypsum and anhydrite. In the final stages III the atmospheric water infiltration and evaporation produced gypsum, jarosite and magnesian sulfates (hexahydrate, and others).

Key words: hematite, periclase, ellestadite, kumtyubeite, sulphates, burning spoil-heaps, pyrometamorphism, Rosice-Oslavany Coalfield, Czech Republic.

Pavla Dokoupilová, Department of Geology, UP Olomouc, Tr. 17. listopadu 12, 771 46 Olomouc, email: pavla.dokoupilova@upol.cz

Stanislav Houzar, Department of Mineralogy and Petrography, Moravian Museum, Zelný trh 6, 659 37 Brno, e-mail: shouzar@mzm.cz

Jiří Sejkora, Department of Mineralogy and Petrology, National Museum, Václavské nám. 68, 115 79, Praha 1, e-mail: jiri_sejkora@nm.cz

1. Úvod

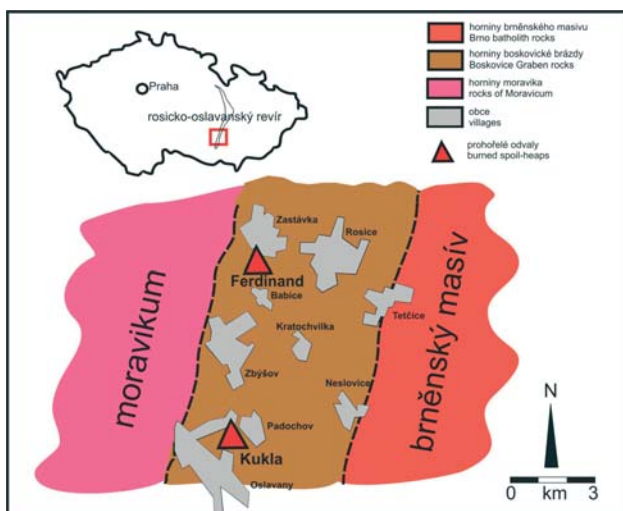
Z hořících odvalů uhelných dolů je známa řada specifických minerálních asociací, které se mineralogicky i texturně výrazně neliší od přírodních asociací pyrometamorfovaných hornin a vulkanických exhalátů známých z vulkánů, z kontaktů bazických vulkanických hornin (včetně v nich uzavřených xenolitů) a z přirozených požárů uhelných slojí. Lze mezi nimi rozlišit řadu minerálů, od sublimátů a asociací vzniklých rozkladem haldového materiálu horkými plyny, vysokoteplotních (~ 1000-1500 °C) buchtitů, paraláv, škvár a clinkerů až po minerály, vzniklé po ochlazení systému pod přibližně 50° C evaporací z vodných roztoků (CHESNOKOV a SHERBAKOVA 1991, SOKOL *et al.* 1998, 2002, GRAPES

2006, DOKOUPÍLOVÁ *et al.* 2007). Vedle Ca-bohatých asociací, např. s periklasem, tilleyitem, merwinitem, larnitem a spurritem (REVERDATTO 1970, GRAPES 2006, ZATEEVA *et al.* 2007), jsou na hořících odvalech zastoupeny peraluminické horniny s mullitem, tridymitem, cordieritem a korundem, jen výjimečně i s vysokoteplotními Ca-plagioklasy, hexagonálním dmisteinbergitem a rombickým svyatoslavitem (SOKOL *et al.* 1998). Vzácnější a méně prozkoumané jsou Si-Al nenasycené a Ca-Fe bohaté horniny s magnetitem, magnioferitem, hematitem, srebrodolskitem a essentickým pyroxenem (COSCA a PEACOR 1987, COSCA *et al.* 1989, ŽÁČEK *et al.* 2005); popsány z nich byly rovněž asociace obsahující fluorit, sellait, cuspidin, norbergit, fluorellestadit, fluorapatit, wagnerit, topaz a F-bohatý biotit (SOKOL *et al.* 2002).

V poslední době byly studovány minerální asociace z prohořelých odvalů v Zastávce a Oslavanech, náležejících k Rosicko-oslavanskému uhelnému revíru, jz. od Brna (SEJKORA *et al.* 1999, NĚMEČEK 2007, DOKOUPÍLOVÁ *et al.* 2007, DOKOUPÍLOVÁ 2008), které se v současnosti nacházejí ve stadiu chladnutí a stabilizace minerálních fází, přičemž poslední projev hoření byly pozorovány před koncem 20. století.

2. Geologická situace

Rosicko-oslavanský uhelný revír leží v jižní části Boskovické brázdy na západní Moravě, v České republice (obr. 1). Boskovická brázda tvoří protáhlou strukturu směru SSV–JJZ, téměř 100 km dlouhou a 3–10 km širokou. Limnická sedimentace tu začala ve svrchním karbonu a byla ukončena ve spodním permu. Výplň brázdy tvoří cyklicky uspořádané fluvialní a fluvioakustrinní sedimenty (pískovce, arkózy, prachovce, jílovce a sporadicky mikritické karbonáty), až na výjimky červeně zbarvené. Maximální mocnost sedimentů se pohybuje mezi 5 000 a 6 000 m (MALÝ 1972, 1979, 1993, JAROŠ a MALÝ 2001).



Obr. 1. Geologická situace Rosicko-oslavanského uhelného revíru.

Fig. 1. Sketch of the geological position of the Rosice-Oslavany Coalfield.

Podloží jižní části Boskovické brázdy tvoří krystalinikum několika geologických jednotek: jednak je zastoupeno moravikum, které zde tvoří bítešská ortorula lemovaná oš-

nickou jednotkou (metapelitey s vložkami kvarcitů, mramorů a grafitických hornin), na jihu patří k tzv. svorové zóně tvořené hlavně svory a dvojslidnými migmatity. Podloží nejnižší části odpovídá gföhlské jednotce moldanubika, složené z leukokratních migmatitů, granulitů a serpentinitů (MALÝ 1962, PEŠEK 2004).

Na krystaliniku jsou uloženy červenohnědé až žlutohnědé balinské slepence, v jejichž valounovém materiálu převažují metamorfity podložního krystalinika (SUESS 1907). Na ně nasedá šedě zbarvené rosicko-oslavanské souvrství o mocnosti ~ 300 m s třemi uhelnými slojemi (od podloží značenými III, II a I), které je tvořeno pískovci, prachovci, jílovci a slepenci svrchnokarbonského stáří (stefan C). Průměrná mocnost slojí je 0,6–2,4 m, pouze nejstálejší a nejrozsáhlejší I sloj dosahovala mocnosti až 6,5 m; výjimečně až 22 m. Uhlí je klasifikováno jako bituminózní uhlí až antracit s celkově nízkým obsahem těkavých složek a vysokým, i když kolísavým obsahem síry (0,4 to 6,8 hm. %, průměrně 3,8 hm. % S), jejímž hlavním nositelem je příměs pyritu a markazitu. Průměrný podíl nespalitelné složky (jílové minerály, křemen, pyrit, markazit, kalcit, siderit a dolomit) je 22,5 hm. % (BOUŠKA *et al.* 2000). V nadloží uhlonosného souvrství vystupují žlutavé a načervenalé pískovce a arkózy padochovského souvrství s podřízenými polohami slepenců oslavské facie, břidlic a ojedinelými pelokarbonáty (MALÝ a UHROVÁ 1985, 1989, PEŠEK 2004).

3. Hořící odvaly v Rosicko-oslavanském revíru

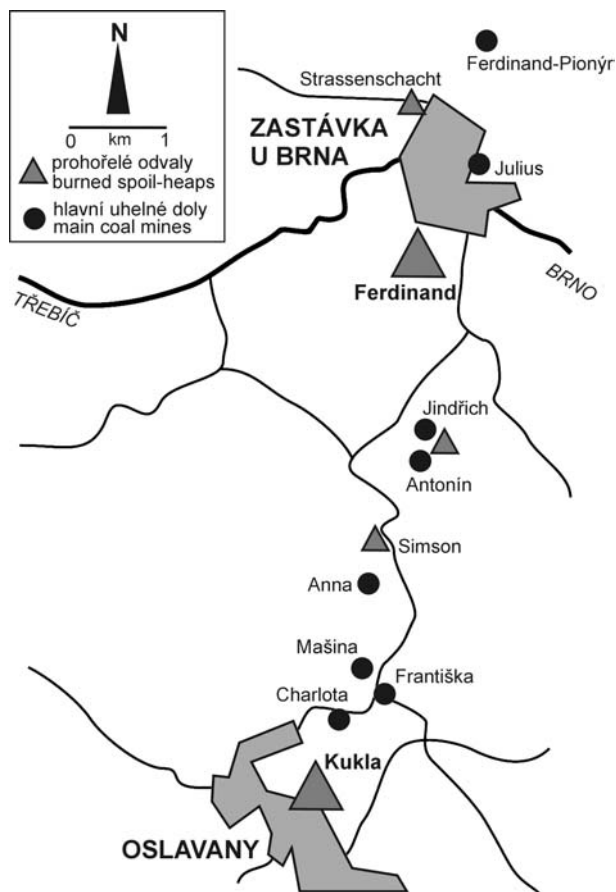
3. 1. Historický přehled

Počátky těžby černého uhlí v Rosicko-oslavanském revíru spadají do let 1755–1760. Těžba uhlí z přirozených výchozů koexistovala nejprve s těžbou zvětralých pyritonosných břidlic, z nichž byl získáván kamenec a kyselina sírová (PLCHOVÁ 2002). O něco pozdější byla těžba uhelných slojí štolami a zakrátko byla hloubena také vertikální důlní díla a zakládány odvaly hlušiny. Všechny hlavní doly byly založeny během 19. století a těžba probíhala až do roku 1992 (obr. 2). Na odvaly byl ukládán sedimentární materiál, doprovázející uhelné sloje, včetně materiálu z třídíren uhlí (převážně jílovce, často s uhelnou příměsí) a také materiál z jam a překopů (slepence, pískovce, břidlice). Objemově nepodstatné byly pelosiderity a jen zcela výjimečně se vyskytovaly sedimenty s podílem anhydritu a sádrovce různého původu (nepublikováno, vzorky ve sbírce Moravského zemského muzea; dále MZM).

Zprávy o prohořívání odvalů existují již od konce 19. století. Nejstarší údaje se týkají šachty Strassenschacht (v provozu 1836–1878) na sz. okraji Zastávky, odkud byla zaznamenána síra a salmiak (vzorky ve sbírce MZM). Nejvýznamnější lokalitou byl v Zastávce odval u dolu Ferdinand, kde těžba začala v r. 1862. Od roku 1910 bylo uhlí z tohoto dolu dopravováno do třídírny u dolu Julius (1877–1967). Později byla vytříděná hlšina vrácena zpět a ukládána spolu s dalším materiálem vytěženým z dolu Julius zpět na odval. Odval, ležící severně od dolu Ferdinand, vznikl spojením tří původně samostatných odvalů a hořel prokazatelně už před r. 1930 a ještě v letech 1972–1992 v jeho východní části vznikala při povrchu recentní síra, salmiak a řada dalších minerálů (HOUZAR a SEJKORA 1999). V roce 1997, kdy teplota při povrchu poklesla pod cca 50 °C se sublimáty už netvořily.

Chudší recentní mineralizaci se vyznačoval odval dolu Kukla (těžba v letech 1913–1973) v Oslavanech. Vrcholová část odvalu tu hořela už před druhou světovou válkou, později zejména v letech 1966–1990. V současnosti je materiál rozvážen a jen zcela výjimečně se objevila na trhlinách recentní ryzí síra (DOKOUPILOVÁ *et al.* 2007).

Prohořelý materiál byl rovněž pozorován u nejstarších spojených částí odvalů dolů ve Zbýšově – u dolů Jindřich I (v provozu 1857–1970), Antonín (1846–1992) a odvalu dolu Simson (1853–1925). Žádné údaje o jejich mineralizaci z doby aktivního hoření se však nezachovaly, až na zmínku o výskytu sublimované síry (PLCHOVÁ 2002).



Obr. 2. Hlavní doly a prohořelé odvaly v Rosicko-oslavanském revíru, aktivní v letech 1800-1990 (velké trojúhelníky = studované lokality).

Fig. 2. Main mines and burned spoil-heaps in Rosice-Oslavany Coalfield active between 1800-1990 (bigger triangles = localities studied).

Pozice všech dolů s prohořelými odvaly (PLCHOVÁ 2002) je zřejmá z obr. 2 (včetně obou nově studovaných lokalit): *Důl Kukla* (dříve Nosek) leží na SV okraji Oslavan v nadmořské výšce 270 m. Odvaly se rozprostírají západně od šachty na ploše 5,5 ha a obsahují 700 000 m³ materiálu. Průměrná výška odvalu je 30 m (DOKOUPILOVÁ *et al.* 2007). Odvaly v Zastávce pocházející z dolů *Ferdinand*, *Julius* a z *trídírny uhlí* jsou situovány asi 300 m na J od obce v nadmořské výšce 350 m. Obsahují ~ 1 000 000 m³ materiálu (asi z 50 % je prohořelý) na ploše 7 ha (NĚMEČEK 2007).

3. 2. Studium minerálních asociací

V hořících a vyhořelých odvalech je možné vyčlenit několik paragenetických typů a vývojových stadií mineralizace. Část minerálních fází krystalizuje přímo z plynů, působících na okolní horniny, nebo z taveniny v době aktivního hoření odvalu a nebo vzniká až v pozdějších stadiích při poklesu teploty. Existuje také mnoho minerálů krystalizujících z již chladných roztoků po vyhasnutí odvalu (např. ŽÁČEK 1988, 1997, 1998, SEJKORA 2002, GRAPES 2006, DOKOUPILOVÁ *et al.* 2007).

Také na studovaných odvalech bylo zjištěno několik hlavních vývojových stádií s odpovídajícími minerálními asociacemi (SEKANINA 1935, BURKART 1953). V době aktivního hoření hald však nebyl až na výjimky proveden mineralogický výzkum a většinou se z té doby nedochovaly ani vzorky ve sbírkách, vhodné pro studium. Jen lokálně se v nedávné době projevil náznak oživení hoření odvalu v Oslavanech – sublimace síry v r. 2005 (DOKOPILOVÁ *et al.* 2006). Nejstarší vysokoteplotní stadium reprezentovala hlavně α - a β -síra a salmiak. Síra krystalizovala přímo z horkých plynů a tvořila drobné jehlicovité krystaly a zrnité agregáty na trhlínách haldového materiálu na ploše až několika čtverečních metrů. *Salmiak*, hojný převážně v Zastávce, vytvářel na trhlínách s výrony plynů až 1 cm velké bezbarvé krystaly tvaru romboického dodekaedru, hojněji však jejich srůsty nasedaly na starší agregáty síry. V Oslavanech se vyskytovaly cca 3–5 mm velké bílé krystaly a drobné agregáty se sírou ve vrcholové části hořícího odvalu ještě v r. 1990. V asociaci se sublimovanou sírou se vyskytl také *letovicit* (rukopis P. SLAVÍČKA v MZM, HOUZAR a SEJKORA 1999). Produktům pyrometamorfózy hornin, jako jsou „porcelanity“, strusky nebo paralávy, nebyla v době aktivního hoření odvalů věnována žádná pozornost.

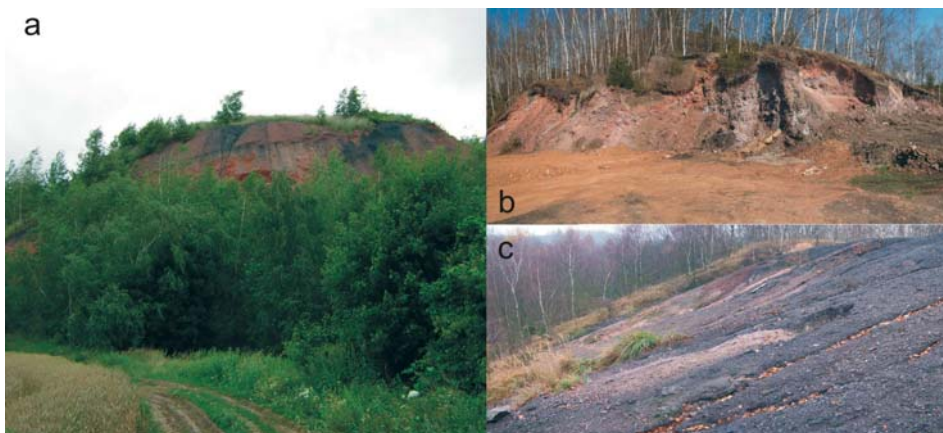
Genetické postavení ostatních minerálů (tschermigit, thenardit, mascagnin, metavoltin), udávaných v literatuře (zejména BURKART 1953) z doby hoření odvalu v Zastávce, není jasné, jde pravděpodobně o produkty rozkladu hornin horkými plyny, dotvořené postupně v pozdějším stadiu chladnutí. V dnešní době je tato asociace zachována pouze lokálně v reliktech a je postupně rozpouštěna povrchovými vodami. Nejhojnějším představitelem této asociace byl *tschermigit*. Ze Zastávky byl popsán SEKANINOU (1935). Vytvářel převážně vrstvy o mocnosti až 50 cm, tvořené čirými, bílými a šedými vláknitými agregáty, v dutinách s drobnými oktaedrickými krystaly velikosti cca 1 mm. V asociaci s *tschermigitem* a *salmiakem* se vyskytoval *mascagnin*, který tvořil bílé a nažloutlé krusty ledvinitého vzhledu. Společně se sublimovanou sírou, ale častěji samostatně jako našedlé práškovité agregáty na horké hornině, byl zjištěn *thenardit* (SEKANINA 1935). Ojedinělý *metavoltin* tvořil jen několik mm² velké kůry složené z drobných žlutohnědých tabulkovitých krystalů (NOVÁK *et al.* 1984). Určení těchto minerálů bylo potvrzeno rentgenometricky, dosud však nejsou známy žádné údaje o jejich chemickém složení.

4. Metodika

Byl studován zejména odval dolu Kukla v Oslavanech, který byl v průběhu 4 let (2004–2008) v pravidelných (cca měsíčních) intervalech monitorován a byly zde odebírány vzorky pro studium (DOKOPILOVÁ 2008). Vzorky v Zastávce byly odebrány v letech 2006–2007 a to z východní a západní části odvalu (obr. 3).

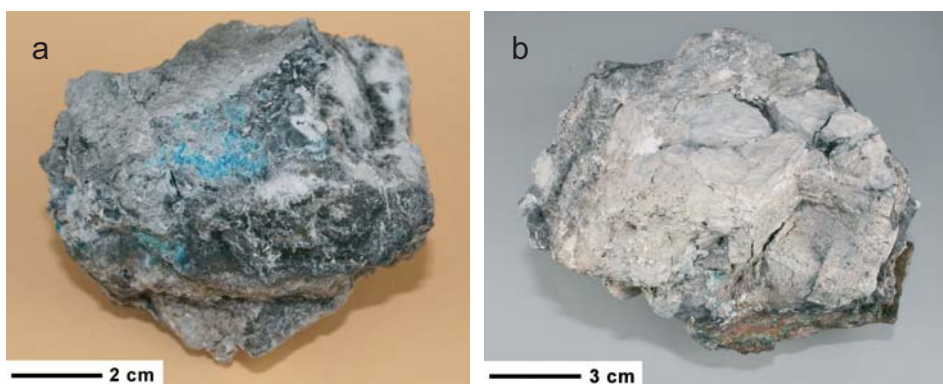
Výbrusy byly studovány pod mikroskopy JENALAB v optické laboratoři Ústavu geologických věd PřF MU v Brně. Pro získání rentgenových práškových dat byly separovány pod binokulárním mikroskopem a následně rozetřeny v achátové misce. Rentgenové práškové difrakční záznamy z preparátů byly naměřeny na přístroji STOE Stadi-P (40kV, 25 mA) na ÚGV PřF MU v Brně v transmisním módu za použití záření $\text{CoK}_{\alpha 1}$ ($1,788965 \times 10^{-10}$ m) za použití primárního monochromátoru Ge (111) a lineárního detektoru plněného směsí Ar-metan. Rentgenová prášková difrakční data (dále XPRD) byla vyhodnocena v programu Visual X^{POW}, vypřesnění parametrů základní cely provedli V. VÁVRA a J. CEMPÍREK.

Chemické složení minerálů bylo stanoveno pomocí elektronové mikroanalýzy na elektronové mikrosondě CAMECA SX 100 (Laboratoř elektronové mikroskopie a mikroanalýzy ÚGV PřF MU a ČGS Brno). Byly použity leštěné výbrusy z hornin a nábrusy z úlomků a volných zrn. Při všech analýzách bylo použito urychlovací napětí 15 kV a proud svazku 10–20 nA, šířka paprsku 0, X (oxidy) až 5 μm (sklo, sulfáty), načítací čas 10–30 s.



Obr. 3. Západní svah prohořelého odvalu dolu Kukla (a) a odvalu dolu Ferdinand, pohled od západu (b) a severu (c). Foto: P. Dokoupilová, P. Němeček.

Fig. 3. Western part of burned spoil-heaps of the Kukla (a) and pile of the Ferdinand mine, view from west (b) and north (c). Photo: P. Dokoupilová, P. Němeček.



Obr. 4. Ca-Mg bohatá pyrometamorfovaná hornina z dolu Kukla. (a) brucit-sádrovcový agregát bohatý blankytně modrým fluorellestaditem, (b) periklas-brucit-sádrovcový agregát (foto V. Hrazdil).

Fig. 4. Ca-Mg-rich pyrometamorphic rock from the Kukla mine (A) sky-blue fluorellestadite with brucite and gypsum and (B) periclase-brucite-gypsum aggregate (photo V. Hrazdil).

Jako standardy byly použity tyto minerály nebo sloučeniny: Na - albit, Fe - andradit, S a Ba - baryt, Ca, F a P - fluorapatit, Zn - gahnit, Cr - chromit, As - InAs, Mg - $MgAl_2O_4$, Mn - rhodonit, Ni - nikl, K a Si - sanidin, Ti - TiO , Cl - vanadinit, V - vanad. Získaná data byla korigována na absorpci, fluorescenci a atomové číslo programem PAP (POUCHOU a PICHOR 1985). Hodnoty v *apfu* = atomů na vzorcovou jednotku, $X_{Al} = Al/(Al + Fe)$.

5. Charakteristika studovaných minerálních asociací

Při studiu mineralizace prohořelých odvalů v rosicko-oslavanském revíru byla zjištěna 3 stádia vývoje:

I. progresivní vysokoteplotní stádium aktivního hoření odvalu, včetně produktů plyných exhalací; II. stádium chladnutí a III. stádium recentní evaporace.

Z prvního stadia se zachovaly pouze nepatrné reliktky sublimátů (viz. subkapitola 3. 2.) a naopak hojné pyrometamorfované horniny, z nichž byla v této práci pozornost věnována metamorfovaným pískovcům-arkózám a hlavně Si-Al nenasyčeným horninám, jejichž protolit byl složen ze směsi dolomitu, anhydritu a sádrovce.

5.1. Progresivní vysokoteplotní stadium

5.1.1. Protolit složení pískovec-arkóza, s nízkým podílem pelitické složky

Produkty pyrometamorfózy tohoto protolitu podle odhadu zaujímají přes 90 % objemu studovaných prohořelých odvalů. Při pyrometamorfóze materiálu, složeného převážně z křemene a draselného živce, s menším podílem plagioklasů, slíd a s pojivem tvořeným jílovými minerály, karbonáty a Fe-hydroxidy vznikla skla různého složení včetně sporadického lechatelieritu, dále cristobalit, hojný hematit, vzácněji i korund (tab. 1).

Tabulka 1. Reprezentativní WDX analýzy hematitu, korundu, magnesianoferritu a srebrodolskitu.

Table 1. Typical WDX analysis of hematite, corundum, magnesianoferrite and srebrodolskit.

	hematit	korund	magnesianoferrit	magnesianoferrit	srebrodolskit	srebrodolskit
SiO ₂	0,12	2,35	b.d.	b.d.	b.d.	0,90
TiO ₂	0,45	0,89	0,01	0,01	b.d.	b.d.
Al ₂ O ₃	4,92	86,70	3,20	0,91	0,06	1,13
Fe ₂ O ₃	95,24	8,07	59,10	74,97	50,22	35,66
Mn ₂ O ₃	b.d.	b.d.	14,67	3,39	7,77	16,89
MnO	0,50	b.d.	5,46	b.d.	b.d.	b.d.
MgO	0,34	0,08	16,44	20,69	0,62	0,12
CaO	0,17	0,03	0,51	0,25	40,60	39,92
Celkem	101,74	98,12	99,47	100,25	99,27	94,63
	3 O	3 O	4 O	4 O	5 O	5 O
Si ⁴⁺	0,003	0,042	-	-	-	0,042
Ti ⁴⁺	0,008	-	-	-	-	-
Al ³⁺	0,147	1,817	0,127	0,035	0,003	0,063
Fe ³⁺	1,814	0,011	1,496	1,861	1,716	1,265
Mn ³⁺	-	-	0,376	0,085	0,269	0,606
Mn ²⁺	0,011	-	0,156	-	-	-
Mg ²⁺	0,013	0,002	0,825	1,017	0,042	0,008
Ca ²⁺	0,005	0,001	0,018	0,009	1,976	2,016
Catsum	2,001	1,872	3,000	3,009	4,006	3,958

(b.d. - pod mezi detekce).

(b.d. - below detection limit).

Sklo

Skelná hmota na odvalu dolu Kukla je variabilního složení od sporadického křemenného skla přes SiO₂ relativně bohatá skla s nízkým obsahem Al, Ca, Fe, Na, K až k Al-bohatému sklu s obsahem Al₂O₃ okolo 39 hm. %. Pozoruhodná je tu přítomnost lechatelieritu o složení 98,49 SiO₂; 0,17 FeO a 0,10 Al₂O₃ (vše v hm. %), neboť toto křemenné sklo vzniká v přírodě tavením křemene většinou za extrémních podmínek při T > 1 700 °C. Lechatelierit v produktech hoření hald uvádí také GRAPES (2006).

Cristobalit SiO₂

Cristobalit je typický pro některé kyselé vulkanity, či kausticky metamorfované, křemenem bohaté horniny, v nichž vzniká za teplot 1000–1 470 °C (KÜHNEL *et al.* 1998, GRE-

GEROVÁ *et al.* 2002). Na odvalu dolu Kukla byl identifikován pomocí RTG-práškové difrakce i mikroskopicky.

Hematit $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$

Vyskytuje se běžně ve formě cihlově červeného pigmentu zbarvujícího prohořelý materiál nebo ve formě ocelově šedých lesklých povlaků na jeho trhlinách. Pozoruhodná je zvláště jedna z forem výskytu, kdy tvoří krápníkovité útvary až několik cm dlouhé, jejichž vnitřní část je tvořena mikroskopickými krystaly ($<10\ \mu\text{m}$) Al-bohatého hematitu, dispergovanými ve skle společně se spinelidy a korundem. Vnější část má sametový lesk a tvoří ji, až na nepatrný podíl skelné fáze a akcesorických spinelidů, pouze hematit (zrna velikosti $>100\ \mu\text{m}$). Složení hematitu ($X_{\text{Al}} - 0,12\text{-}0,08$; max. $0,240\ \text{apfu Al}$) odpovídá vzniku za $T \sim 1\ 100\ ^\circ\text{C}$ (FEENSTRA *et al.* 2005). Podobná teplota vyplývá i ze složení korundu, obsahujícího $<0,11\ \text{apfu Fe}^{3+}$ (DOKOUPILOVÁ *et al.* 2007).

Korund Al_2O_3

Byl identifikován jako podřízená součást v krápníkovitých útvarech hematitu (viz výše) pouze pomocí mikrosondy jako zrna velikosti do $50\ \mu\text{m}$. Na základě chemických analýz ($\leq 8,07\ \text{hm. \% Fe}_2\text{O}_3$; $\leq 0,11\ \text{apfu Fe}$) se teplota jeho vzniku pohybuje stejně jako u hematitu, okolo $1\ 100\ ^\circ\text{C}$ (DOKOUPILOVÁ *et al.* 2007).

5.1.2. Protolit o složení dolomit-anhydrit-sádrovec

Poměrně vzácně byly na studovaných odvalech zjištěny Ca-Mg-S bohaté pyrometamorfované horniny. Protože je jejich minerální složení poměrně unikátní i ze světového hlediska, byla jim věnována detailní pozornost.

Jsou reprezentovány bílými až šedobílými nepravidelnými nodulemi velikosti $\sim 5\text{-}10\ \text{cm}$, složenými převážně ze sádrovce, s menším obsahem brucitu, periklasu a anhydritu. Nápadné jsou agregáty blankytně modrého minerálu ze skupiny ellestaditu. Póry horniny částečně vyplňují Mg-sulfáty epsomit-kieseritové skupiny a jehličkovitý sádrovec (obr. 4).

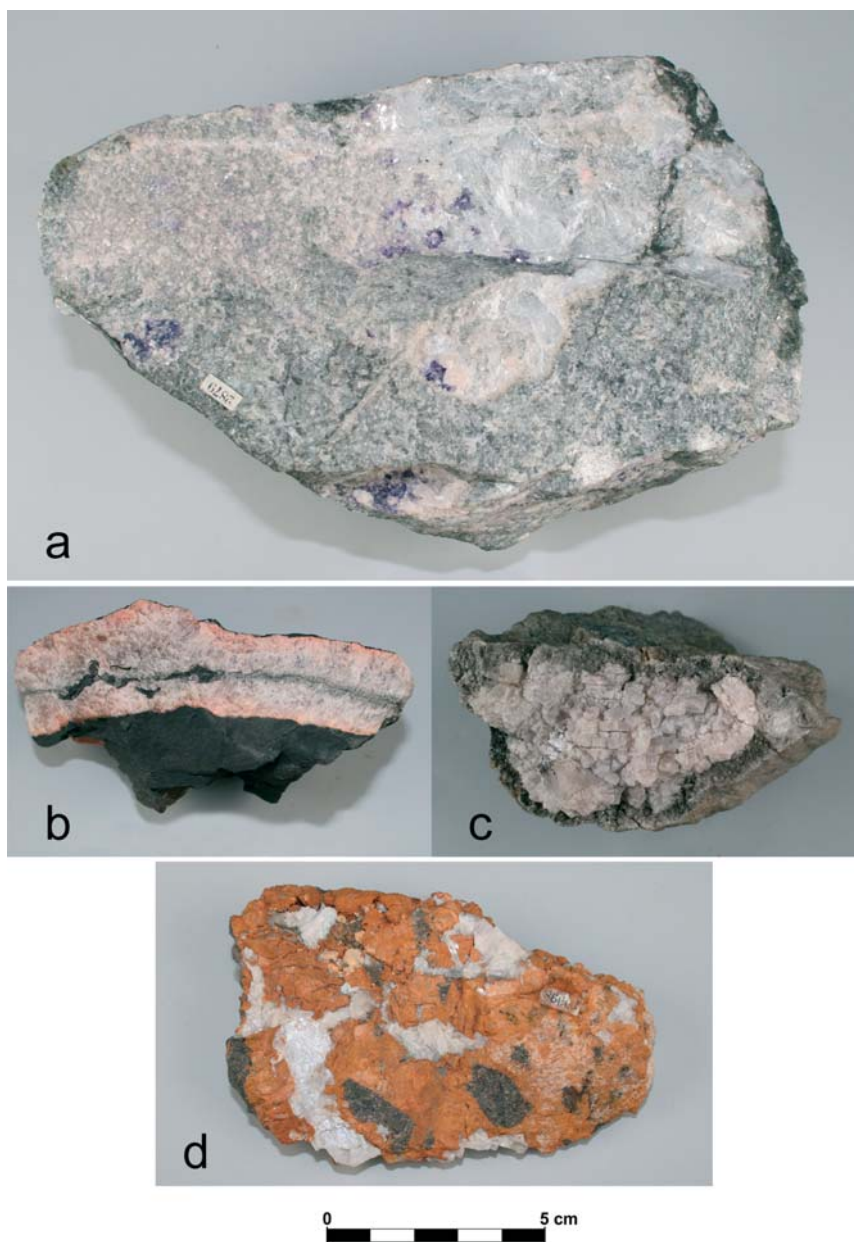
Z mikrosondových analýz vyplývá, že protolitem popisované minerální asociace byla zřejmě hornina, tvořená anhydritem a sádrovcem s menším podílem dolomitu ($\text{Fe} \leq 0,011\ \text{apfu}$; $\text{Mn} \leq 0,031\ \text{apfu}$) a železnatého dolomitu ($\text{Fe} 0,351\text{-}0,429\ \text{apfu}$; $\text{Mn} 0,023\text{-}0,047\ \text{apfu}$; $\text{Sr} \leq 0,001\ \text{apfu}$), příp. i pyritu a fluoritu. Uvedená asociace je v Rosicko-oslavanském uhelném revíru hojně zastoupena převážně v karbonát-jilovitých konkracích („pelosideritech“), tvoří však také žíly v podložních slepencích a tenké polohy v pískovcích a černých jílovcích uhlonosného souvrství (obr. 5).

Mikroskopicky je studovaná hornina značně nehomogenní, jemnozrná, s celistvou až pórovitou texturou. Masivní část je tvořena většími zrny sádrovce, méně i anhydritu zatlačovanými fluorellestaditem, který také tvoří až $1\ \text{mm}$ velké jehlicovité krystaly do dutin. Některé partie jsou relativně bohaté hypidiomorfními zrny periklasu, silně zatlačovaného brucitem. Typickým minerálem je magnesioferrit tvořící poikiloblasty velikosti $\leq 30\ \mu\text{m}$, vzácnější je srebrodolskit stejného charakteru a velikosti. Jen akcesoricky se objevují izolovaná zrna a drobné agregáty Ca-silikátů s podílem F a Cl, které chemicky odpovídají cuspidinu, rondorfitu, kumtyubeitu a podobným fázím.

Anhydrit CaSO_4

Sádrovec $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Převažujícím minerálem v asociaci je sádrovec, vzácně se vyskytuje anhydrit. Anhydrit tvoří šedé až růžové štěpné agregáty s periklasem a výjimečně i dolomitem, někdy bohatým Fe. Jemnozrný jehličkovitý sádrovec vznikl pravděpodobně až pozdní hydratací reliktního anhydritu. Obě fáze byly identifikovány rentgenometricky (DOKOUPILOVÁ 2008).



Obr. 5. Různé paragenetické typy anhydritu z permokarbonu Rosicko-oslavanského revíru a jeho podloží (foto V. Hrazdil).

a) Fluorit v anhydritu na trhlinách mramoru, moravikum, Zastávka; b) poloha anhydritu se sádrovcem v uhelném jílovcí; c) hrubozrnný anhydrit z trhliny v pískovci; d) anhydrit s dolomitem z pelosideritu.

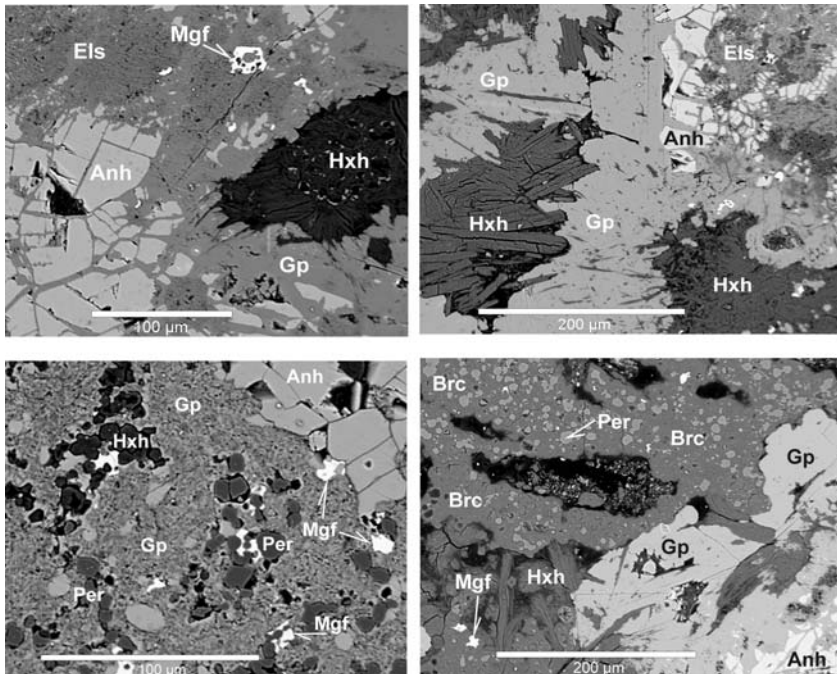
Fig. 5. Different paragenetic types of anhydrite from Rosice-Oslavany Coalfield and underbed (photo V. Hrazdil)
 a) Fluorite with anhydrite on the marble fissures, Moravicum, Zastávka; b) anhydrite layer with gypsum in coal claystone; c) coarse-grained anhydrite from sandstone crack; anhydrite with dolomite from pelosiderite.

Skupina ellestaditu

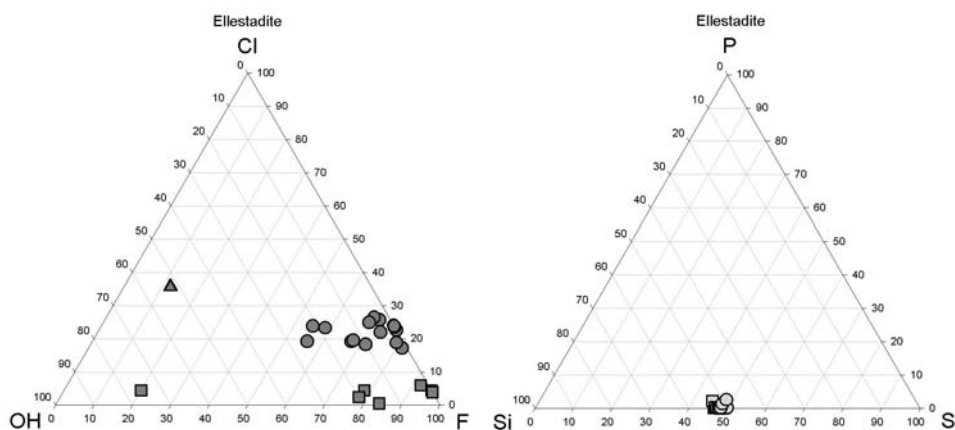
V Rosicko-oslavanském revíru se vyskytly dva samostatné minerály této skupiny. Ze Zastávky byl již dříve popsán chlorem bohatý hydroxylellestadit $\text{Ca}_{10}(\text{SiO}_4)_3(\text{SO}_4)_3(\text{OH}, \text{Cl})_2$ (SEJKORA *et al.* 1999); který zde mohl vzniknout retrográdní přeměnou chlorellestaditu $\text{Ca}_{10}(\text{SiO}_4)_3(\text{SO}_4)_3(\text{Cl})_2$.

Nově byl na obou studovaných odvalech nalezen fluorellestadit, chemicky blízký koncovému fluorovému členu $\text{Ca}_{10}(\text{SiO}_4)_3(\text{SO}_4)_3(\text{F})_2$. Tvoří blankytně modré agregáty, makroskopicky celistvého vzhledu, složené z krátce sloupcovitých hypidiomorfních zrn a dlouze jehličkovitých krystalů v dutinách periklas-anhydrit-sádrovcové horniny (obr. 4, 6, 7). V Zastávce bylo zjištěno, že v pozici A obsahuje hlavně Ca (9,941–9,997 *apfu*), jiné kationty (Mn, Mg, Fe) jsou <0,05 *apfu*. V pozici X vystupuje Si^{4+} (2,918–3,011 *apfu*), S^{6+} (2,659–2,937 *apfu*) a jen v minimálním množství i P^{5+} (0,003–0,074 *apfu*). V Z pozici vzorce je dominantní F (1,100–1,6572 *apfu*), relativně vyšší je Cl (0,344–0,514 *apfu*), obsah hydroxylové složky kolísá, relativně vyšší je v případě Cl-bohatších fluorellestaditů. Průměrný empirický vzorec fluorellestaditu ze Zastávky je možno na bázi 10 (Ca + Mg + Mn + Fe) vyjádřit jako $(\text{Ca}_{9,97}\text{Mg}_{0,02}\text{Mn}_{0,01})[(\text{SiO}_4)_{2,99}(\text{SO}_4)_{2,74}(\text{PO}_4)_{0,01}](\text{F}_{1,43}\text{Cl}_{0,44}\text{OH}_{0,01})$.

Pro fluorellestadit z Oslavan byly v pozici A vedle dominantního Ca (9,930–9,973 *apfu*) stanoveny minoritní Mg, Mn, Na, Fe (vše <0,05 *apfu*). Pozice X je obsazována Si^{4+} (2,886–2,961 *apfu*) a S^{6+} (2,468–2,599 *apfu*) a jen minimálně P^{5+} (0,007–0,119 *apfu*). V pozici Z je většinou dominantní F (1,554–1,920 *apfu*), podíl Cl je relativně nízký (0,011–0,119 *apfu*), obsah OH zanedbatelný. Průměrný empirický vzorec fluorellestaditu z Oslavan je možno na bázi 10 (Ca + Mg + Mn + Fe + Na) vyjádřit jako $(\text{Ca}_{9,96}\text{Na}_{0,03}\text{Mg}_{0,01})[(\text{SiO}_4)_{2,92}(\text{SO}_4)_{2,55}(\text{PO}_4)_{0,03}](\text{F}_{1,88}\text{Cl}_{0,08})$.



Obr. 6. Pyrometamorfovaná hornina tvořená anhydritem (Anh), fluorellestaditem (Els), magnesioferitem (Mgf), brucitem (Brc), sádrovcem (Gp), hexahydritem (Hxh) a periklasem (Per); BSE foto, P. Gadas.
Fig. 6. Pyrometamorphic rock composed of anhydrite (Anh), fluorellestadite (Els), magnesioferrite (Mgf), brucite (Brc), gypsum (Gp), hexahydrate (Hxh) and periclase (Per); BSE image, photo P. Gadas.



Obr. 7. Složení minerálů skupiny ellestaditu.

Čtverce - Oslavany, kolečka - Zastávka, trojúhelník - Zastávka podle SEJKORA *et al.* (1999).

Fig. 7. Compositional diagrams for minerals of ellestadite group.

Squares - Oslavany, dots - Zastávka, triangle - Zastávka after SEJKORA *et al.* (1999).

Rentgenometrický výzkum potvrdil chlorem bohatý hydroxylellestadit v Zastávce (SEJKORA *et al.* 1999) i fluorellestadit v Oslavanech (DOKOUPILOVÁ 2008). Mřížkové parametry byly vypřesněny pomocí programu GSAS/EXPGUI (LARSON A VON DREELE 2000; TOBY 2001). Počáteční strukturní parametry byly převzaty z práce PAJARES *et al.* (2002). Vypřesněné mřížkové parametry pro oslavanský ellestadit jsou $a = 9.4511(3)$, $c = 6.944(2)$, $V = 537.16(4)$ se shodují s publikovanými údaji pro tento minerál (CHESNOKOV *et al.* 1987) $a = 9.485$, $c = 6.916$, $Z = 2$; $V = 538.84$.

Periklas MgO

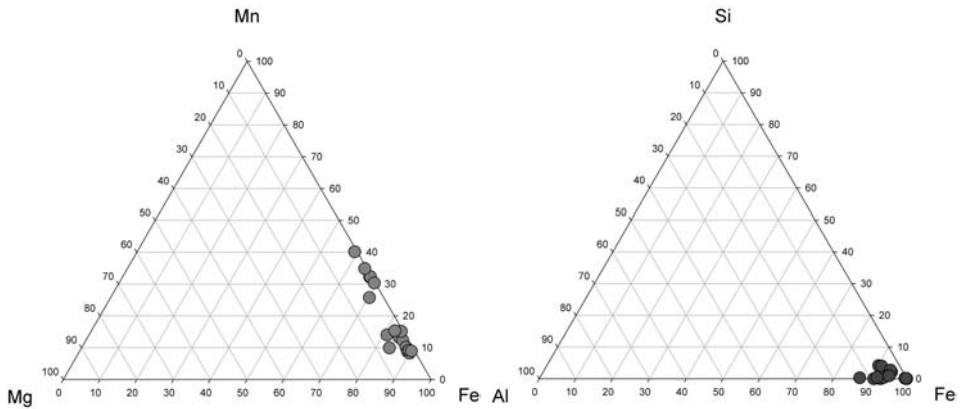
Periklas se vyskytuje jako podstatná součást Ca-Mg bohatých hornin na obou lokalitách, tvoří hypidiomorfní izometrické krystaly o velikosti ~ 10-20 μm . Chemicky odpovídá teoretickému MgO (<0,01 *apfu* Fe a Mn). Vznikl rozkladem dolomitu a úniku CO_2 za $T > 550^\circ\text{C}$. Periklas nejčastěji tvoří jen relikty v převažujícím brucitu.

Srebrodolskit $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$

Srebrodolskit se vyskytl v periklas-brucitové hornině v Zastávce, kde tvoří zrna nepravidelného tvaru do velikosti $\leq 30 \mu\text{m}$. Vedle Ca a Fe je často významnou složkou Mn ($\leq 0,806 \text{ apfu}$) a variabilní je podíl Al (0,002-0,179 *apfu*), Mg (0,006-0,120 *apfu*) a méně též Si (0-0,083 *apfu*). V porovnání se srebrodolskitem z fosilních buchitů a paraláv ze Želének v severních Čechách (ŽÁČEK *et al.* 2005) má nízký obsah Si a Ti. Reprezentativní analýzy uvádí tab. 1. Průměrný empirický vzorec srebrodolskitu ze Zastávky přepočtený na bázi 5 kyslíků odpovídá: $\text{Ca}_{2,01}(\text{Fe}_{1,49}\text{Mn}_{0,39}\text{Al}_{0,07}\text{Mg}_{0,03}\text{Si}_{0,02})\text{O}_5$.

Magnesioferrit MgFe_2O_4

Na obou studovaných lokalitách (Zastávka, Oslavany) tvoří spinelidy, které časť srůstají s hematitem, xenomorfní zrna velikosti 10-30 μm v periklasem bohaté sádrovcové hornině. Chemické složení magnesioferritu, lokálně bohatého Mn, poněkud kolísá (hodnoty v *apfu*): $\text{Fe}^{3+} = 1,353-1,909$; $\text{Mg}^{2+} = 1,017-1,157$; $\text{Al}^{3+} = 0,027-0,127$; $\text{Mn}^{3+} = 0,064-0,459$; $\text{Mn}^{2+} = 0,000-0,156$; a $\text{Ca}^{2+} = 0,009-0,032$; Cr, Ni, Ti, V, a Zn jsou pod mezí detekce (tab. 1). Průměrný empirický vzorec magnesioferritu z Oslavan je možno na bázi 4 kyslíků vyjádřit jako $(\text{Mg}_{0,92}\text{Mn}_{0,08}\text{Ca}_{0,01})(\text{Fe}_{1,68}\text{Al}_{0,08}\text{Mn}_{0,23})\text{O}_4$. Magnesioferrit a vzácnější magnetit byly identifikovány i rentgenometricky.



Obr. 8. Složení srebrodolskitu z Rosicko-oslavanského revíru.

Fig. 8. Compositional diagrams of srebrodolskite from Rosice-Oslavany Coalfield.

Cuspidin $\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{F}, \text{OH})_2$

Byl zjištěn pouze v Zastávce jako ojedinělá izolovaná xenomorfní zrna velikosti $<15 \mu\text{m}$ v asociaci s rondorfitem. Je relativně bohatý F (3,561–3,593 *apfu*) a chudý Mg (0,018 *apfu*) a Mn ($\leq 0,003$ *apfu*), obsahy P a Cl jsou pod limitem detekce. Průměrný empirický vzorec cuspidinu ze Zastávky je možno na bázi 12 kationtů vyjádřit jako $(\text{Ca}_{8,10}\text{Mg}_{0,02})\text{Si}_{3,88}\text{O}_7(\text{F}_{3,56}\text{OH}_{0,42})$.

Kumtyubeit $\text{Ca}_5(\text{SiO}_4)_2\text{F}_2$

Vzácně byla v materiálu ze Zastávky identifikována fáze, jejíž chemické složení odpovídá kumtyubeitu (tab. 2), novému F-dominantnímu analogonu vzácného reinhardbraunsite (GALUSKINA *et al* 2009). Kumtyubeit ze Zastávky se vyskytuje ve směsi s periklasem, anhydritem a rondorfitem jako zrna o velikosti $<15 \mu\text{m}$, nepravidelného tvaru. Je značně bohatý F (8,42–8,89 hm. % F; 1,902–1,998 *apfu*) a má nízký obsah Cl (0,010–0,016 *apfu* Cl). Kromě hlavních prvků obsahuje také Mg (0,005–0,018 *apfu*), Mn (0,001–0,002 *apfu*) a Fe (0,000–0,005 *apfu*). Obsahy Ti ($\leq 0,001$ *apfu*) a P ($\leq 0,001$ *apfu*) jsou na hranici detekčního limitu (tab. 2). Průměrný empirický vzorec kumtyubeitu ze Zastávky je možno vyjádřit jako $(\text{Ca}_{4,99}\text{Mg}_{0,01})(\text{SiO}_4)_{1,97}(\text{F}_{1,95}\text{Cl}_{0,01})$.

Rondorfit $\text{Ca}_8\text{Mg}(\text{SiO}_4)_4\text{Cl}_2$

Rondorfit ze Zastávky tvoří nenápadná xenomorfní zrna velikosti $<15 \mu\text{m}$. Má jednoduché chemické složení blízké teoretickému vzorci. Kromě nízkého zastoupení Fe (0,024–0,030 *apfu*) jsou obsahy Ti, Al, Mn a P na hranici detekce. Obsah Mg (4,68–4,81 hm. % MgO; 0,912–0,941 *apfu*) je ve srovnání s teoretickým vzorcem rondorfitu (5,14 hm. % MgO) o něco nižší, avšak vyšší ve srovnání s originální chemickou analýzou (4,43–4,50; průměrně 4,52 hm. % MgO); předpokládána je substituce Al za Mg (MIHALOVIĆ *et al.* 2004). Podíl S a F leží blízko hranice detekce ($\leq 0,06$ hm. % SO_2) a $\leq 0,15$ hm. % F). Průměrný empirický vzorec rondorfitu ze Zastávky je možno na bázi 8 Ca vyjádřit jako $\text{Ca}_{8,00}(\text{Mg}_{0,93}\text{Fe}_{0,03})(\text{Si}_{3,95}\text{Al}_{0,04}\text{O}_{16})(\text{Cl}_{1,84}\text{F}_{0,05})$.

5. 2. Stádium chladnutí odvalu

Typickými minerály tohoto stadia jsou zejména aragonit, kalcit, anhydrit a sádrovec. Na odvalech jsou zonálně uspořádány. Zatímco aragonit a kalcit se nacházejí hlouběji pod povrchem ($>1 \text{ dm}$), na povrchu do hloubky několika cm nacházíme sádrovec a sekundární anhydrit. K tomuto stadiu pravděpodobně náleží i vznik brucitu po periklasu.

Tabulka 2. Reprezentativní WDX analýzy fluorellestaditů, cuspidinu, kumtyubeitu a rondorfitu (b.d. – pod mezi detekce).

Table 2. Typical WDX analysis of fluorellestadites, cuspidine, kumtyubeite and rondorfit (b.d. – below detection limit).

	fluorellestadit		cuspidin	kumtyubeit	rondorfit
SiO ₂	18,28	17,86	31,79	28,14	30,28
FeO	0,01	b.d.	b.d.	0,02	0,27
MnO	0,01	0,11	0,03	0,03	b.d.
MgO	0,04	b.d.	0,10	0,02	4,77
CaO	58,23	56,41	62,14	65,80	56,76
Na ₂ O	0,05	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
SO ₃	21,39	22,46	b.d.	b.d.	b.d.
P ₂ O ₅	0,22	0,07	b.d.	b.d.	b.d.
H ₂ O	-0,07	0,19	0,50	0,02	0,10
CL	0,44	1,37	b.d.	0,10	8,29
F	3,64	2,58	9,33	8,81	0,15
O=CL	-0,10	-0,31		-0,02	-1,87
O=F	-1,53	-1,09	-3,93	-3,71	-0,06
CELKEM	101,06	99,66	99,96	99,21	98,73
Si ⁴⁺	2,922	2,950	3,871	1,997	3,983
Fe ²⁺	0,001	-	-	0,001	0,030
Mn ²⁺	0,001	0,154	0,003	0,002	-
Mg ²⁺	0,009	0,000	0,018	0,002	0,935
Ca ²⁺	9,972	9,985	8,108	5,002	8,000
Na ⁺	0,015	-	-	-	-
S ⁶⁺	2,566	2,785	-	-	-
P ⁵⁺	0,030	0,010	-	-	-
H ⁺	0,040	0,268	0,407	0,011	0,089
Cl ⁻	0,119	0,384	-	0,012	1,848
F ⁻	1,840	1,348	3,593	1,977	0,062
O ²⁻	22,649	22,98	14,278	8,011	16,031
CATSUM	15,518	16,152	12,000	7,003	12,953
AN SUM	24,608	24,712	17,871	10,000	17,942
(b.d. - pod mezi detekce).					
(b.d. – below detection limit).					

Kalcit CaCO₃

Aragonit CaCO₃

Sekundárně vzniklé karbonáty tohoto stadia dominují v Oslavanech, zatímco v Zastávce zjištěny nikdy nebyly. Běžně se vyskytují ve směsi a to ve formě agregátů nodulárních tvarů („pecek“) o velikosti do 20 cm ve stabilní pozici – vždy několik decimetrů pod povrchem odvalu. Barva je v případě převažujícího kalcitu bílá, jinak světle hnědá (převažuje aragonit).

Anhydrit CaSO_4

Sádrovec $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Tyto dva minerály se často vyskytují rovněž ve směsi, navíc část anhydritu mohla vzniknout už v I. vývojovém stádiu. Nejčastěji tvoří bílé až nažloutlé agregáty složené ze zrn až krystalů velikosti do 0,5 cm. Zatímco v Oslavanech jsou oba minerály běžné (DOKOUPILOVÁ *et al.* 2007), v Zastávce byl určen pouze jehličkovitý sádrovec (NĚMEČEK 2007).

Brucit $\text{Mg}(\text{OH})_2$

Drobně lupenitý brucit je vedle sádrovce, příp. anhydritu převažujícím minerálem v pyrometamorfovaných horninách evaporitického složení. Vznikl po poklesu teploty hydratací periklasu podle známého vztahu $\text{MgO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2$.

5.3. Evaporace na vychlazeném odvalu

Tato asociace minerálů vznikla z chladných roztoků a částečně i dehydratačními procesy již vykrystalizovaných minerálních fází a je z chemického hlediska značně jednoduchá. Byly zjištěny především minerály odpovídající s výjimkou sádrovce a jarositu systému $\text{Mg}-\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}$ ($\pm \text{K}, \text{Na}$). Dominujícím sulfátem je hexahydrit, zatímco epsomit, pentahydrit, starkeyit, kieserit, pikromerit a ostatní jsou velmi vzácné a závislé především na sezónních změnách vlhkosti a teploty.

Hořečnaté sulfáty $\text{MgSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (epsomit, hexahydrit, pentahydrit, starkeyit a kieserit)

Všechny zmíněné minerály jsou na povrchu obou studovaných odvalů hojně, jejich výskyt a hlavně vzájemný poměr jsou však silně závislé na klimatických podmínkách. Vyskytují se ve formě kulovitých agregátů nebo jako bílé práškové či jehličkovité výkvěty na povrchu. Nejstabilnější a dominující fází je **hexahydrit** ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Makroskopické rozlišování mezi jednotlivými fázemi je obtížné, neboť po odběru vzorků probíhá navíc relativně rychlá (de)hydratace.

Draselný kamenc $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Tato fáze se nalézá na obou studovaných odvalech, přičemž v Zastávce se vyskytuje ve větším množství v asociaci s tschermigitem. Od něj byl odlišen RTG-difrakcí a také WDX analýzami, které stanovily podstatné množství K (NĚMEČEK 2007). V Oslavanech je poměrně vzácný, tvoří tam ojedinělé číré až bílé krystaly kubického habitu.

Pikromerit $\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Jako bílé jemnozrné agregáty byl identifikován pouze v Oslavanech, kde se vyskytuje ve směsi s ostatními rozpustnými sulfáty.

Konyait $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Tento minerál byl poprvé v ČR popsán právě z oslavanského odvalu (DOKOUPILOVÁ *et al.* 2006). Tvoří číré až bílé kuličkovité agregáty, často i směsi s ostatními rozpustnými sulfáty (s epsomittem a hexahydritem) ve vrcholové části odvalu.

Tamarugit $\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Magnesiocopiapit $\text{MgFe}^{3+}_4(\text{OH})_2(\text{SO}_4)_6 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$

Oba byly nalezeny a popsány na odvalu v Oslavanech pouze jako velmi vzácné a sezónní minerály. Tvoří žluté povlaky na vrcholu haldy pouze v teplých obdobích roku.

Sádrovec $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Recentní sádrovec je na obou odvalech velmi rozšířený. Typický je pro nejvyšší partie odvalů, kde tvoří drobné černé jehličkovité agregáty a povlaky na povrchu klastů, případně tenké tabulkovité bezbarvé a bílé krystaly velikosti < 5 mm, lokálně s jarositem.

Jarosit $\text{KFe}^{3+}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$

Jako žluté práškovité agregáty se vyskytuje hojně společně s recentním sádrovcem v Zastávce na přepálených červených klastech hornin mimo vrstvy Mg- a NH_4 -síranů. Byl určen rentgenometricky.

Taranakit $K_3(Al, Fe)_5(HPO_4)_6 \cdot 18H_2O$

Tento vzácný minerál tvoří sněhově bílé pupencovité agregáty o objemu $<2 \text{ mm}^3$ narůstající na jehlicovité krystaly recentního sádrovce ve směsi siranů s převahou tschermigitu ze Zastávky. Byl identifikován rentgenometricky, jeho výzkum pokračuje.

Ammoniojarosit $NH_4Fe^{3+}_3(SO_4)_2(OH)_6$

Sírově žluté jemnozrnné agregáty v asociaci s tschermigitem a sádrovcem ze Zastávky by podle RTG určení mohly odpovídat ammoniojarositu.

6. Diskuse a podmínky vzniku minerálních asociací

Studium vybraných minerálních asociací prohořelých odvalů v Rosicko-oslavanském revíru poskytlo nové informace, které rozšiřují stávající poznatky o podobných mineralizacích u nás (srov. např. ŽÁČEK 1988, 1997, 1999, SEJKORA 2002; a literatura v těchto pracích citovaná) o popis nově nalezených, vzácných až velmi vzácných minerálů.

Minerály skupiny ellestaditu - $A_{10}(XO_4)_6Z_2$ (ROUSE a DUNN 1982) jsou typické fáze pro hořící odvaly i když jsou rovněž známy z některých mramorů, skarnů a jeskynních guaň (HARADA *et al.* 1971, ONAC *et al.* 2007, ZATEEVA *et al.* 2007). Fluorellestadit byl poprvé popsán z hořících odvalů u Kopejska (Rusko) jako modré a modrozelené agregáty ve vypálených petrifikovaných dřevěch v asociaci s periklasem, CaO, srebrodolskitem, anhydritem aj. (CHESNOKOV *et al.* 1987) a minerály ellestaditové skupiny jsou známy i z dalších lokalit oblasti Čeljabinska (CHESNOKOV a SHERBAKOVA 1991). Chemické složení fluorellestaditu z obou studovaných lokalit je velmi blízké, v Zastávce je patrný mírně vyšší obsah S, a vyšší podíl Cl, případně OH. V porovnání s chemickým složením minerálů skupiny ellestaditu z různých světových lokalit a paragenezí, které soustředili ve svém přehledu ZATEEVA *et al.* (2007) je patrné, že studované fáze mají poměr Si/S blízký 1 a nízký obsah P (obr. 7).

Srebrodolskit - orthorombický Ca-Fe oxid ze skupiny brownmilleritu, nalezený v Zastávce, byl donedávna znám jen z několika málo lokalit na světě. Jeho výskyt je vázán na Ca-bohaté, Si-chudé pyrometamorfované horniny hořících uhelných slojí (ŽÁČEK *et al.* 2005) i hořících odvalů (CHESNOKOV a SHERBAKOVA 1991), vzácně byl také nalezen např. v xenolitech mramorů uzavřených v lávách (ZATEEVA *et al.* 2007). Vysoký podíl Mn v našich vzorcích, odpovídající homovalentní substituci $FeMn_{-1}$ indikuje možnost, že ve skupině brownmilleritu existuje dosud nepopsaná $Ca_2Mn_2O_5$ fáze (obr. 8).

Další tři minerály - cuspidin, kumtyubeit a rondorfit, byly zjištěny velmi vzácně a jsou nepatrných rozměrů, identifikované dosud pouze elektronovou mikroanalýzou.

Cuspidin je minerál známý ze silně metamorfovaných mramorů, fluorem bohatých skarnů a vápencových xenolitů uzavřených ve vulkanitech (např. REVERDATTO 1970, PASCAL *et al.* 2001). Vyskytuje se rovněž v Ca-F bohatých pyrometamorfovaných horninách hořících uhelných odvalů, kde bývá doprovázen minerály skupiny humitu, fluorellestaditem, fluor-amfiboly a fluorfosfáty (SOKOL *et al.* 2002).

Kumtyubeit byl identifikován pouze v „karbonát-evaporitickém“ materiálu ze Zastávky jako na druhé lokalitě na světě. Jde o F-dominantní analog reinhardbraunsitu, který byl popsán z hornin bývalého vulkánu Bellerberg, 2 km S od Mayenu, v oblasti Eifel v Německu (HAMM a HENTSCHEL 1983) a který je rovněž znám, a to včetně členu s převahou $F > OH$, z hořících odvalů oblasti Kopejska (Rusko) a z produktů hořících bituminózních hornin, např. z formace Hatrurim, Negev, Izrael (BARKER a NIXON 1989, VAPNIK *et al.* 2006, ZADOV *et al.* 2008). Primární asociace kumtyubeitu-reinhardbraunsitu zahrnují periklas, ellestadit, calcioolivin, cuspidin, brownmillerit, gehlenit, kilchoanit, larnit, mayenit, rondorfit, spurrit, tilleyit, wadalit, lakargit a další (HAMM a HENTSCHEL 1983, GALUSKINA *et al.* 2009). Kumtyubeit byl znám dosud jen z jediné lokality na světě - a to ze skarnů

v ignimbritech Věrchnechegemské vulkanické oblasti (Kabardino-Balkaria, Severní Kavkaz). Vyskytuje se tam v asociaci se spurritem, reinhardbraunitem, As- a P-ellestaditem, wadalitem, srebrodolskitem, magnezioferritem a dalšími minerály (GALUSKIN *et al.* 2008, GALUSKINA *et al.* 2009). Dvě publikované analýzy reinhardbraunsitu vykazují obsah F 3,93–4,58 (hm. %), poměr OH/F ~ 1 (HAM a HENTSCHEL 1983), kumtyubeit popsán GALUSKINOU *et al.* (2009) má obsahy 5,54–6,73 hm. % F, průměrně 6,22 hm. %.

Rondorfit je velmi vzácný, ale charakteristický minerál vysokoteplotní metamorfózy a metasomatózy vápencových xenolitů uzavřených v bazických vulkanitech (ZADOV *et al.* 2008, GALUSKINA *et al.* 2009). Byl původně popsán ve vápencových xenolitech na vulkánu Bellerberg v Německu. Typový materiál je složen z anhedrálních zrn rondorfitu (<0,3 mm) srůstajících s ternesitem, uzavřených v karbonát-křemenné matrix obsahující hematit a magnetit (MIHAJLOVIĆ *et al.* 2004). Chemické složení studovaného minerálu se podobá rondorfitu z inkluze v kumtyubeitu ze spurritového skarnu v ignimbritu ze severního Kavkazu (GALUSKINA *et al.* 2009). Dalšími minerály v asociaci jsou např. ellestadit, calcioolivín, cuspidin, tobermorit, ettringit/thaumasit, mayenit, aj (ZADOV *et al.* 2008, GALUSKINA *et al.* 2009). Zastávka představuje jednu z mála jeho lokalit na světě.

Podmínky vzniku minerálních asociací vyplývají ze stability jednotlivých minerálů a odlišují se v jednotlivých stádiích. V progresivním stadiu I nejvyšší teploty dokládá výskyt čistého křemenného skla (lechatelieritu), které je známé z přírody prakticky pouze z tektitů a fulguritů, v nichž vzniká tavením křemene nad cca 1 720 °C (BOUŠKA *et al.* 1987). Ojedinelé výskyty ve vulkanických horninách však naznačují možnost výskytu i za nižších T (~ 800–1 200 °C), patrně interakcí krátkodobě existujících tavenin různého složení (CÍLEK a BAZILEVSKIJ 1986). Také složení skelné fáze (srov. DOKOUPILOVÁ 2008) odpovídá teplotám 800 až 1 500 °C (KÜHNEL *et al.* 1998) a dokládá relativně vysokoteplotní krátkodobé tavení nehomogenního protolitu s obsahem křemene, živců a slíd, jen lokálně s vyšším podílem Ca. V průběhu pyrometamorfózy vzniká za značně vysokých teplot ~ 850–1 100 °C také magnesioferrit reakcí: hematit + periklas = magnesioferrit (SOKOL *et al.* 2002), stejně jako kumtyubeit, tvořící se na typové lokalitě v raném stadiu zatlačování larnitu (GALUSKINA *et al.* 2009), který však na našich vzorcích zjištěn nebyl. Rovněž chemismus analyzovaných hematitů a korundu naznačuje poměrně vysoké teploty vzniku okolo 1 100 °C. Převaha hematitu a jen sporadický výskyt magnetitu dokazuje též méně obvyklou vysokou fugacitu O₂ během hoření odvalu (srov. GRAPES 2006). Vzniklé asociace jsou silně závislé na složení protolitu. Za zmínku stojí nepřítomnost krystalických fází bohatých Si-Al, např. mullitu, melilitu nebo cordieritu, běžně vznikajících při pyrometamorfóze pískovcového protolitu s pelitickou příměsí, přestože odvaly jsou z 90 % tímto materiálem tvořeny a obsahují všechny potřebné prvky. Nejspíš došlo k rychlému zchlazení, vzniku a zachování skla. Tyto fáze nevznikly však ani při experimentálním výpalu nepřepáleného materiálu z oslavanského odvalu, kdy živce a křemen zůstaly stabilní ještě při T > 800 °C a nad 1 000 °C vznikalo již sklo (DOKOUPILOVÁ *et al.* 2007, DOKOUPILOVÁ 2008).

Relativně nižší teploty jsou indikovány v periklas-ellestadit-sádrovcové asociaci. V produktech rozkladu chybí texturně rovnovážná asociace kalcit+periklas, zůstává proto nejasné, zda proběhla nejprve reakce $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{MgO} + \text{CO}_2$ (~ nad 550 °C, za atmosférického tlaku; REVERDATTO 1970 aj.) a nebo zda docházelo spíše k rozkladu dolomitu reakcí: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{MgO} + 2\text{CO}_2$, tedy k přímé produkci CaO (>700–800 °C; CULTRONE *et al.* 2001). Hlavní primární minerál, anhydrit, je v podmínkách hoření odvalů stabilní do 1 060 °C, kdy se rozkládá na CaO + oxidy S (CHINCHÓN *et al.* 1991, QUEROL *et al.* 1994).

Některé minerály ve studované asociaci jsou bohaté F (fluorellestadit a akcesorické Ca-fáze) a lokálně i Cl (SEJKORA *et al.* 1999). Zdrojem fluoru mohly být vedle pravděpodobně dominantního uvolnění z uhelné hmoty i slídy z hojných klastů metapelitů, pochá-

zejících z podložního krystalinika. Zdrojem Cl byly jeho minoritní obsahy v uhelné hmotě (srov. např. YUDOVICH a KETRIS 2006), což předpokládal již BURKART (1953); bohužel jakékoliv publikované nebo nepublikované údaje o obsazích F a Cl v uhlí Rosicko-oslavanského revíru nejsou známy. Na další zdroj F může ukazovat i ojedinělý výskyt fluorit-anhydritových žil, vyplňujících trhliny v mramorech (kalcit + flogopit ± dolomit), které tvoří vzácné vložky v bitešské jednotce moravika v bezprostředním podloží svrchnostefanských sedimentů (důl Julius, Zastávka; BURKART 1953) a rozšířený výskyt mladé puklinové fluoritové mineralizace v této části Českého masivu.

Minerální asociace spadající do stadia chladnutí odvalu (stadium II) vznikala za poklesu teploty pod 100 °C z roztoků bohatých Ca, H₂O a SO₄ pronikajících odvalovým materiálem. Pozorovaný zonální vznik aragonitu, kalcitu, anhydritu a sádrovce odpovídá postupné krystalizaci výše uvedených minerálů z mineralizovaných roztoků (DOKOUPILOVÁ *et al.* 2007). Do této etapy můžeme pravděpodobně zařadit i hydrataci periklasu na hojný brucit, vznik Ca(OH)₂ a podobných fází po CaO a možný vznik hydroxylelestaditu po fluor- a chlor(?)-ellestaditech popisovaných v rámci minerálních asociací prvního stadia. Je pravděpodobné, že v tomto stadiu začalo docházet také k destrukci sublimované síry podle reakce: S⁰ + 1,5O₂ + H₂O → SO₄²⁻ + 2H⁺; a reakci síranového anionu s okolím. Vznikající sírany pak migrovaly do různých částí odvalu – názorným příkladem je vznik jehličkovitého sádrovce v šedočerné mourovité vrstvě se sírou při povrchu odvalu v Zastávce.

Nejmladší minerální asociace III. stadia vznikající na vyhořelých odvalech vznikly evaporací z chladných roztoků (T < 25 °C). Jejich množství a stabilita jsou silně závislé hlavně na chemickém složení haldového materiálu a klimatických podmínkách. Na studovaných odvalech se projevilo odlišné chování Fe. Zatímco jediným dosud zjištěným Fe-síranem v Oslavanech je velmi vzácný magnesiociopiapit, v Zastávce je relativně hojný jarosit v asociaci se sádrovcem. Pravděpodobným důvodem je stabilní vazba Fe v primárních minerálech progresivního stadia (I), zejména v hematitu, který je v oxidačním prostředí (běžných povrchových podmínkách) velmi stabilní fází (LANGMUIR 1997). Nositeli Al jsou pouze sírany. V Zastávce hlavně tschermigit a K-kamenec ve vrstvách až několik dm mocných (HOUZAR a SEJKORA 1999, NĚMEČEK 2007). V Oslavanech se jedná o relativně vzácné výskyty, ojediněle se tam nalézají také tamarugit.

7. Závěr

Na prohořelých odvalech Rosicko-oslavanského revíru (Ferdinand-Julius v Zastávce a důl Kukla v Oslavanech) byla na základě minerálních asociací vyčleněna tři hlavní vývojová stadia: (1) vysokoteplotní stadium (plynné exhalace a pyrometamorfóza); (2) stadium chladnutí; (3) stadium recentní evaporace. Pro všechna stadia jsou charakterizovány jednotlivé minerály i jejich vzájemné vztahy a diskutovány podmínky jejich vzniku.

V období hoření haldy se pestřejší minerální asociace, zejména produkty sublimace a minerály vzniklé účinky plynných exhalací na haldový materiál, vyskytovaly v Zastávce, kde se objevovaly vedle síry též minerály bohaté NH₄ a Cl, převážně salmiak a tschermigit, vzácněji i mascagnin a thenardit. V Oslavanech byl mimo síru určen pouze lokálně hojný salmiak. Tento rozdíl mohl být způsoben kontaminací přírodního materiálu antropogenním odpadem (zejména třídírna uhlí v Zastávce).

Hlušínový materiál ukládaný na odvaly, dominantně složený z hornin Boskovické brázdy – s převahou pískovců, prachovců a jílovců, představoval protolit pro skla různého složení (včetně lechatelieritu), cristobalit, hematit, korund, příp. další (nestudované) akcesorie. Při pyrometamorfóze došlo k tvorbě novotvořeného hematitu z přítomných slíd a Fe-hydroxidů. S narůstající teplotou se materiál kompletně taval a jako výsledný produkt

vznikla škvára s převahou skla. Nepřítomnost mullitu a cordieritu se dá vysvětlit nejspíše rychlým zchlazením roztaveného materiálu.

Pozoruhodné minerální složení má Ca-SO₄-F-Cl bohatá, naopak Si-Al nenasycená, periklas-ellestadit-brucit-sádrovcová hornina sporadicky zastoupená na obou studovaných lokalitách. Vyznačuje se masivní až pórovitou texturou a kromě převažujícího sádrovce, periklasu a minerálů skupiny ellestaditu obsahuje různé další minerální fáze (anhydrit, magnesioferrit, srebrodolskit, cuspidin), z nichž některé jsou vzácné i ve světovém měřítku (rondorfit, kumtyubeit). Vznikala při vysoké aktivitě S, F a lokálně i Cl za T ~ 800–1 000 °C. V retrográdním stadiu vznikl na úkor periklasu brucit, vzrostl podíl hydroxylové složky v ellestaditu a anhydrit byl zatlačen sádrovcem. Protolitem byly patrně dolomit-sádrovec-anhydritové agregáty a žíly, známé ze slepenců, pískovců a pelosideritů rosicko-oslavanské pánve, příp. z jejího bezprostředního krystalinického podloží.

Po dohoření odvalů nastalo období chladnutí materiálu, zvětrávání a loužení odvalu infiltrující srážkovou vodou. Následně došlo k evaporaci takto mineralizované vody, která odpovídá evaporačnímu modelu HARDIEHO a EUGSTERA (1970). Jako první se z relativně málo koncentrovaných roztoků začínají srážet karbonáty aragonit s kalcitem, následují sádrovec s anhydritem. Hlavním faktorem tohoto stadia jsou klimatické podmínky, velkou roli hraje také chemické složení původního materiálu, stabilita dříve vzniklých fází a vazba jednotlivých prvků v odvalovém materiálu. Dochází k tvorbě dominantně hořečnatých, rozpustných a vesměs málo stabilních recentních sulfátů (epsomit, hexahydrit, penta-hydrit, starkeyit a kieserit), ojediněle s dalšími chemicky podobnými fázemi jako např. konyait, pikromerit, atd. V Oslavanech, oproti Zastávce, nedošlo ke srážení Fe sulfátů. To je pravděpodobně způsobeno vazbou železa do relativně stabilních fází (např. hematit). Vliv na vzniklou mineralizaci má i čas, po který probíhalo prohořívání a chladnutí odvalů.

Poděkování

Publikace vznikla s finanční podporou v rámci výzkumných záměrů MSM 0021622412 (PD), MK00009486201 (SH) a MK00002327201 (JS). Autoři děkují operátorům společného pracoviště elektronové mikrosondy ÚGV MU v Brně a České geologické služby za spolupráci při identifikaci minerálů a studiu jejich chemismu a rovněž dvěma anonymním recenzentům za připomínky k rukopisu.

LITERATURA

- BARKER, D. S., NIXON, P. H., 1989: High-Ca, low-alkali carbonatite volcanism at Fort Portal, Uganda. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 103, 166–177.
- BOUŠKA, V., BOROVEC, Z., CIMBÁLNÍKOVÁ, A., KRAUS, I., LAJČÁKOVÁ, A., PAČESOVÁ, M., 1987: Přírodní skla. - *Nakl. Academia Praha*, 264 p.
- BOUŠKA, V., PEŠEK, J. AND SÝKOROVÁ, I., 2000: Probable modes of occurrence of chemical elements in coal. - *Acta Montana*, Ser. B, 10: 117 pp.
- BURKART, E., 1953: Moravské nerosty a jejich literatura. Mährens Minerale und ihre Literatur. - *Nakl. ČASV*, 1 008 p.
- CILEK, V., BAZILEVSKII, A.T., 1986: Lechatelierit v některých přírodních sklech. - *Acta Montana*, 72, 89–99.
- COSCA, M. A., AND PEACOR, D. R., 1987: Chemistry and structure of esseneite (CaFe³⁺AlSiO₆), a new pyroxene produced by pyrometamorphism. - *Amer. Mineral.*, 72, 148–156.
- COSCA, M. A., ESSENE, E. J., GEISSMAN, J. W., SIMMONS, W. B. AND COATES, D. A., 1989: Pyrometamorphic rocks associated with naturally occurring burned coal beds, Powder River Basin, Wyoming. - *Amer. Mineral.*, 74, 85–100.
- CULTRONE, G., RODRIGUEZ-NAVARRO, SEBASTIAN, E., CAZALLA, O., DE LA TORRE, M. J., 2001: Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing. - *Eur. J. Mineral.*, 13, 621–634.

- DOKOUPILOVÁ, P., LOSOS, Z., VÁVRA, V., 2006: Sekundární mineralizace na haldě uhelného dolu Kukla v Oslavanech. – *Acta Mus. Morav., Sci. geol.*, 91, 97–104.
- DOKOUPILOVÁ, P., ŠRÁČEK, O., LOSOS, Z., 2007: Geochemical behaviour and mineralogical transformations during spontaneous combustion of a coal waste pile in Oslavany, Czech Republic. – *Mineral. Mag.*, 71, 443–460.
- DOKOUPILOVÁ, P., 2008: Mineralizace s procesy přeměn haldového materiálu odvalu dolu Kukla v Oslavanech. – *MS, Doktorská disertační práce, Ústav geologických věd MU, Brno*, 117 p.
- FEENSTRA, A., SÁMANN, S., WUNDER, B., 2005: An Experimental Study of Fe-Al Solubility in the System Corundum-Hematite up to 40 kbar and 1300 °C. – *J. Petrol.*, 46, 9, 1881–1892.
- GALUSKIN, E. V., GALUSKINA, I. O., GAZEEV V. M., PERTSEV, N. N., ARMBRUSTER, T. A LAZIC, B., 2008: New calcium analogues of humite-group minerals: a polysomatic comparison. – *Abstr. Fedorov Ses. Rus. Mineral. Soc.*, 161–162.
- GALUSKINA, I. O., LAZIC, B., ARMBRUSTER, T., GALUSKIN, V., GAZEEV, V. M., ZADOV, A. E., PERTSEV, N. N., LEŽAK, L., WRZALIK, R., GURBANOV, A. G., 2009: Kumtyubeite $\text{Ca}_5(\text{SiO}_4)_2\text{F}_2$ – a new calcium mineral of the humite group from Northern Caucasus, Kabardino-Balkaria, Russia. – *Amer. Mineral.*, 94, 1361–1370.
- GRAPES, R., 2006: Pyrometamorphism. – Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, Germany, 276 p.
- GREGEROVÁ, M., VÁVRA, V., FOJT, B., 2002: Mikroskopie horninotvorných minerálů a technických minerálů. – *Moravské zemské muzeum a Přír. fak. Masarykova univerzita Brno*.
- HAMM, H-M., HENTSCHER, G., 1983: Reinhardbraunsite, $\text{Ca}_5(\text{SiO}_4)_2(\text{OH}, \text{F})_2$, a new mineral – the natural equivalent of synthetic „calcio-chondrodite“. – *N. Jb. Miner. Mh.*, 3: 119–129.
- HARADA, K., NAGASHIMA, K., NAKAO, K., KATO, A., 1971: Hydroxyllestadite, a new apatite from Chichibu mine, Saitama prefecture, Japan. – *Amer. Mineral.*, 56, 1507–1518.
- HARDIE, L. A., EUGSTER, H. P., 1970: The evolution of closed basin brines In: Drever, J. I., 1997: The Geochemistry of Natural Waters, Surface and Groundwater Environments, 3rd Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458.
- HOUZAR, S., SEJKORA, J., 1999: Minerály z horčicích hald v Zastávce u Brna v Oslavanech – přehled současného stavu výzkumu – *Minerál.*, 7, 410–414.
- CHESNOKOV, B. V., SHERBAKOVA, E. P., 1991: The mineralogy of burned coal heaps in the Chelyabinsk coal basin. – *Nauka, Moscow* (in Russian).
- CHESNOKOV, B. V., BAŽENOVA, L. F., BUŠMAKIN, A. F., 1987: Fljuoroellestadit $\text{Ca}_{10}(\text{SO}_4)(\text{SiO}_4)_6\text{F}_2$ – novýj mineral. – *Zapisky Vsesojuz. mineral. Obšč.*, 6, 743–746.
- CHINCHÓN, J. S., QUEROL, X., FERNÁNDEZ TURIEL, J. L., LÓPEZ SOLER, A., 1991: Environmental impact of mineral transformation undergone during cola combustion. – *Environ. Geol. Water Sci.*, 18, 11–15.
- JAROS, J., MALÝ, L., 2001: Boskovická brázda. In: J. PEŠEK (Ed): Geologie a ložiska svrchnopaleozoických limnických pánví České republiky. – *Český geologický ústav*, Praha, 208–223.
- KÜHNEL, R. A., MCCARTHY, G. J., EYLANDS, K. E., SCHMIT, C. R., WATNE-SHUSTER, T. M., 1998: Atlas of minerals and related phases in unaltered and thermally altered materials from the Rocky Mountain 1 underground coal gasification field site. – *Gas Research Institute Topical Report GRI-97/0067*, 209 p.
- LANGMUIR, D., 1997: Aqueous Environmental Geochemistry, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 07458. 600 p.
- LARSON, A. C., VON DREELE, R. B., 2000: General Structure Analysis System (GSAS). – *Los Alamos National Laboratory Report LAUR*, 86–748.
- MALÝ, L., 1962: Podloží permokarbonu Boskovické brázdy v oblasti rosicko-oslavanské pánve. – *Čas. Morav. muzea, Vědy přír.*, 47, 59–64.
- MALÝ, L., 1972: Vývoj permokarbonu v oblasti rosicko-oslavanské pánve a hlubinná stavba boskovické brázdy. – *Sbor. 1. uhel. geol. konf.*, 195–209.
- MALÝ, L., 1979: Hlubinná geologická stavba v rosicko-oslavanské pánvi. – *Sbor. konfer. „Problematika geol. stavby uhelných ložisek ve velkých hloubkách“*, Zbýšov u Brna, 37–50.
- MALÝ, L., 1993: Formování sedimentační pánve permokarbonu boskovické brázdy a vývoj svrchnostefanské sedimentace v rosicko-oslavanské pánvi. – In: PRICHYSTAL A. et al., Geologie Moravy a Slezska. – *PF MU Brno*, 87–98.
- MALÝ, L., UHROVÁ, J., 1985: K paleogeografii permokarbonu jižní části boskovické brázdy. – *Čas. Morav. Mus., Vědy přír.*, 70, 55–59.
- MALÝ, L., UHROVÁ, J., 1989: Rosicko-oslavanská pánve ve světle nových geologických poznatků. – *Čas. Morav. Mus., Vědy přír.*, 74, 69–73.
- MIHAJLOVIĆ, T., LENGAUER, CH. L., NTAFLLOS, T., KOLITSCH, U., TILLMANN, E., 2004: Two new minerals, rondonfite, $\text{Ca}_8\text{Mg}(\text{SiO}_4)_4\text{Cl}_2$, and almarudite, $\text{K}(\text{□}, \text{Na})_2(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Mg})_2(\text{Be}, \text{Al})_3 [\text{Si}_{12}\text{O}_{30}]$, and a study of iron-

- rich wadalite $\text{Ca}_{12}[(\text{Al}_8\text{Si}_4\text{Fe}_2)\text{O}_{32}]\text{C}_{16}$ from the Bellerberg (Bellberg) volcano, Eifel, Germany. - *N. Jb. Mineral. Abh.*, 179, 3, 265-294.
- NĚMEČEK, P., 2007: Antropogenní mineralizace na starých uhelných haldách v okolí Zastávky u Brna. - *MS, Diplomová práce, Ústav geologických věd, Masarykova univerzita, Brno*, 53 p.
- NOVÁK, M., PELZ, J., SLAVÍČEK, P., 1984: Metavoltín ze Zastávky u Brna. - *Acta Mus. Moraviae, Sci. nat.*, 69, 209-210.
- ONAC, B. P., EFFENGERGER, H. S., BREBAN, R. C., 2007: High-temperature and "exotic" minerals from the Cioclovina Cave, Romania: a review. - *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Geologia*, 52, 2, 3-10.
- PASCAL, M-L., FONTEILLES, M., VERKAER, J., PIRET, R., MARINCEA, S., 2001: The mellilite-bearing high-temperature skarns of the Apusenii Mountains, Carpathians, Romania. - *Canad. Mineral.*, 39, 1 405-1 434.
- PAJARES, I., DE LA TORRE, A. G., MARTINEZ-RAMIREZ, S., PUERTAS, F., BLANCO-VARELA, M. T., ARANDA, M. A. G., 2002: Auantitative analysis of mineralized white Portland clinkers: The structure of fluorellestadite. - *Powder Diffraction*, 17, 281-286.
- PEŠEK, J., 2004: Late Paleozoic limnic basins and coal deposits of the Czech Republic. - *Folia Mus. Rer. natur. Bohem. occid.*, Geologica, 188 p.
- PLCHOVÁ, J., 2002: Rosicko-oslavanská černouhelná pánev v datech. - *Vlastiv. spolek Rosicko-Oslavanska*, 239 p.
- POUCHOU, J. L., PICHOR, F., 1985: "PAP" (φρΖ) procedure for improved quantitative microanalysis. - In: *Microbeam Analysis* (J. T. ARMSTRONG, ed.). San Francisco Press, San Francisco, pp 104-106.
- QUEROL, X., FERNANDEZ TURIEL, J. L., LOPEZ SOLER, A., 1994: The behaviour of mineral matter during combustion of Spanish subbituminous and brown coals. - *Mineral. Mag.*, 58, 119-133.
- REVERDATTO, V. V., 1970: Facies of contact metamorphism. - *Nědra, Moscow*, 270 p. (in Russian).
- ROUSE, R. C., DUNN, P. J., 1982: A contribution to the crystal chemistry of ellestadite and the silicate sulfate apatites. - *Amer. Mineral.*, 67, 90-96.
- SEJKORA, J., 2002: Minerální asociace hořícího odvalu dolu Kateřina v Radvanicích u Trutnova a procesy jejího vzniku. - *MS, Doktorská disertační práce, PpF MU, Brno*, 144 p.
- SEJKORA, J., HOUZAR, S., ŠREIN, V., 1999: Chlorem bohatý hydroxylellestadit ze Zastávky u Brna. - *Acta Mus. Morav., Sci. geol.*, 84, 49-59.
- SEKANINA, J., 1935: Moravská síra, její původ a nerosty s ní sdružené. - *Zpr. Komise přírodověd. Výzk. Mor. Slez., Odd. mineral.*, 6, 1-29.
- SOKOL, E. V., VOLKOVA, N. I., LEPEZIN, G., 1998: Mineralogy of pyrometamorphic rocks associated with naturally burned coal-bearing spoil-heaps of the Chelyabinsk coal basin, Russia. - *Eur. J. Mineral.*, 10, 1003-1014.
- SOKOL, E. V., NIGMATULINA, E. N., VOLKOVA, N. I., 2002: Fluorine mineralization from burning coal-bearing spoil-heaps in the Russian Urals. - *Miner. Petrol.*, 75, 23-40.
- SUESS, F. E., 1907: Die Tektonik des Steinkohlengebietes von Rossitz und der Ostrand des böhmischen Grundgebirges. - *Jb. k. k. geol. Reichsanst.*, 57, 4, 793-834.
- TOBY, B. H., 2001: EXPGUI, a graphical user interface for GSAS. - *J. Appl. Cryst.*, 34, 210-213.
- VAPNIK, Y., SOKOL, E. V., MURASHKO, M., SHARYGIN, V., 2006: The enigma of Hatrurim. *Mineralog. Almanach*, 10: 69-77.
- YUDOVICH, Y. E., KETRIS, M. P., 2006: Chlorine in coal: A review. - *Inter. J. Coal Geol.*, 67: 127-144.
- ZADOV, A. E., GAZEYEV, V. M., PERTSEV, N. N., GURBANOV, A. G., GOBECHIYA E. R., YAMNOVA, N. A., CHUKANOV, N. V., 2008: Calcioolivine $\gamma\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ - an old and new mineral species. - *Proced. Russ. Mineral. Soc.*, 142, 6, 46-57 (in Russian).
- ZATEEVA, S. N., SOKOL, E. V., SHARYGIN, V. V., 2007: Specificity of pyrometamorphic minerals of ellestadite group. - *Proced. Russ. Mineral. Soc.*, 3, 19-35, (in Russian).
- ŽÁČEK, V., 1988: Zonální asociace druhotných minerálů z kladenských hořících hald. - *Acta Univ. Carol., Geol.*, 3, 315-341.
- ŽÁČEK, V., 1997: Makroskopické silikáty jako produkt kaustické přeměny haldového materiálu na dole Kladno (Schoeller). - *Bull. min.-petr. Odd. Nár. Muz. v Praze*, 4-5, 214-218.
- ŽÁČEK, V., 1998: Recentní druhotná mineralizace na haldách a v dolech kladenského revíru. - *Bull. min.-petr. Odd. Nár. Muz. v Praze*, 6, 161-175.
- ŽÁČEK, V., SKÁLA, R., CHLUPÁČOVÁ, M., DVOŘÁK, Z., 2005: Ca-Fe³⁺-rich, Si undersaturated buchite from Želénky, North-Bohemian Brown Coal Basin, Czech Republic. - *Eur. J. Mineral.*, 17, 623-633.