

Prof. RNDr. Jiří Pešek, DrSc.,¹⁾ Ing. Ivana Sýkorová, DrSc.,²⁾ RNDr. Jana Forstová,¹⁾ Mgr. Ondřej Michna,²⁾
 Mgr. Karel Martinek,¹⁾ Mgr. Michal Vašíček²⁾
¹⁾ Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta
²⁾ Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR

Síra, stopové prvky a chemicko-technologické charakteristiky v databázi evropských a světových černouhelných pánví – 3. část

Přijato: 25.10.2005, recenzováno: 16.11.2005

Afrika

Ložiska různě prouhelněného černého uhlí se vyskytují jednak na S kontinentu v Maroku, dále v Nigerii a především v řadě států na JV, z nichž největší zásoby i těžbu vykazuje Jihoafrická republika. Nejdůležitější černouhelná ložiska jsou svrchnopaleozoického stáří.

Jihoafrická republika

Jihoafrická republika je čtvrtým až pátým největším producentem černého uhlí na světě. Vzhledem k levné pracovní síle a poměrně nevelké vzdálenosti některých dolů od moře je i významným exportérem levného uhlí (obr. 8). Toto uhlí, jako většina gondwanských uhlí, vykazuje neobvykle vysoké zastoupení inertinitu, který může negativně ovlivňovat jeho koksovatelnost. Uhelne sloje jsou především permského stáří. Uhlí je většinou nízko sirnaté, středně popelnaté. V různých pánvích JAR se vyskytují slabě prouhelněná černá uhlí až antracity (na JV země). Jednou z nejdůležitějších pánví je pánev witbankská. Dvě z pěti jejích slojí jsou až 10 m mocné. Sedimentární výplň pánve není zvrásněná. JAR produkuje více energetického uhlí, méně uhlí lze využít k výrobě koksu. Některé pánve, jako např. pánev waterbergská při hranici s Botswanou nebo pánev sprinbokflatská, nejsou dosud významně exploátovány a lze je považovat za pánve budoucnosti.



Z dostupných analýz popelů uhlí je zřejmé, že žádný z prvků nepřekračuje maximální hodnoty známé z jiných pánví (tab. 19). Pouze Ce, Cr, F, Nd, Ni, Sr, V a Zn vykazují mírné zvýšení a La jen dosahuje nepatrně vyšších hodnot než udává Krejci-Graf (1972).

Obr. 8 Mapa významných uhelných ložisek na území Jihoafrické republiky a Nigérie. L. Thomas (2002), upraveno. Čísly jsou označena černouhelná ložiska citovaná v textu, bez čísel ostatní černouhelná a hnědouhelná ložiska bez rozlišení. 1-4 pánve: 1 – witbankská, 2 – waterbergská, 3 – sprinbokflatská, 4 – enugo-ezimská.

	Počet vzorků	Váž. průměr	Median	Minimum	Maximum
W _t %	63	2,76	2,03	2,03	6,1
C ^{daf} %	117	66,42	66,27	48,87	71,91
H ^{daf} %	117	3,68	3,67	2,74	4,78
N ^{daf} %	117	1,6	1,53	1,02	1,8
O ^{daf} %	117	7,4	8,65	4,87	10,33
V ^{daf} %	31	23,84	21,3	18,4	33,8
S _t ^d %	117	0,5	0,35	0,19	1,17
A ^d %	265	17,83	17,1	8,3	33,9
As ppm	336	20,3	8,05	0,27	52,26
B ppm	6	57,7		26	103
Ba ppm	275	762	358	64	1774,41
Be ppm	234	8,8	5,37	1,83	22,75
Bi ppm	2	1,3		1,3	1,3
Br ppm	21	0,8	0,9	0,7	0,9
Cd ppm	234	0,6	0,33	0,1	1,71
Ce ppm	18	47,0	49	40	52
Cl ppm	117	62,2	42,67	30	102,76
Co ppm	275	38,4	17,59	7	105,38
Cr ppm	275	84,9	28,93	23	288
Cs ppm	18	1,4	1,3	1,1	1,6
Cu ppm	275	36,5	12,95	7	81,44
Eu ppm	18	0,58	0,6	0,55	0,62
F ppm	123	138	117,32	20	240
Ga ppm	275	21,4	11	3	41,3
Ge ppm	271	23,9	8,13	2,1	68
Hf ppm	18	2,3	2,5	2,1	2,8
La ppm	18	26	29	22	33
Li ppm	234	120	56,83	4	285,96
Mn ppm	234	179	151,5	32	424
Nb ppm	41	7,9	8,3	7,5	8,6
Nd ppm	18	20	22	16	27
Ni ppm	275	71,4	23,33	17	165
Pb ppm	265	31,1	13,33	7	71
Rb ppm	41	7,5	7,4	7,2	7,7
Sb ppm	18	0,5	0,47	0,44	0,52
Sc ppm	41	6,5	6,7	6,1	6,9
Se ppm	29	0,9	1,1	0,7	1,3
Sm ppm	18	3,9	4	3,8	4,2
Sr ppm	275	1420	440,7	39	3218,66
Ta ppm	18	0,9	0,87	0,86	0,92
Tb ppm	18	0,55	0,57	0,53	0,59
Th ppm	41	15	15,5	14,1	15,9
Tl ppm	41	4	3,8	3,4	4,2
U ppm	275	91,4	29,49	26,33	614

Literatura

- Cairucrass R., Hart R. J., Willis J. P. (1990): Geochemistry and sedimentology of coal seams from the Permian Witbank coal field, South Africa, a means of identification. - Int. Journ. Coal Geol., 16, 309-325.
- Kunstmann F., Bodenstein L. (1961): The arsenic content of South African coals. - Journ. South Afric. Inst. Mining Metall., 234-244.
- Kunstmann F., Harris J. F., Bodenstein B. D., Van den Berg A. M. (1963): The occurrence of boron and fluorine in the South African coals and their behavior during combustion. - Fuel Rest. Inst. S. Afr. Bull., 63, 45 str.

Nigerie

Nigerie dobývá ročně pouze několik desítek tisíc tun černého uhlí. Uhlonosný komplex svrchnokřídového stáří je zčásti zakryt deltou řeky Niger. Nejznámější je pánev enugo-ezimská (obr. 8). Vyskytuje se v ní až pět dobytelných slojí o mocnosti 1-3 m. Uhlonosný komplex je slabě zvrásněný, sloje náležejí k černouhelným hemitypům. Z jediné neúplné analýzy (Hannan et al. 1982) nelze dělat jakékoliv závěry. Vyplývá z ní však zjištění,

V ppm	11	3,9	4,1	3,6	4,4
W ppm	41	17	17,5	15,8	19,1
Y ppm	275	46,5	17,17	10	261
Zr ppm	41	96	99,1	90,3	105,2

Tab. 19: Databáze chemicko-technologických analýz, zastoupení síry a převážně stopových prvků v popelech černých uhlí na území Jihoafrické republiky. Sestaveno s použitím prací Cairucrass R. et al. (1990), Kunstmann F., Bodenstein L. (1961), Kunstmann F. et al. (1963)

že tato uhlí mají patrně vyšší obsah Rb, než jsou maximální hodnoty udávané Krejci-Grafem (1972) a La v porovnání s údaji Swaina (1990). Za mírně zvýšené lze považovat hodnoty Sm a Ti (tab. 20).

	Poč. vzorků	ppm
Al ppm	1	28700
As ppm	1	3,0
Ba ppm	1	91
Br ppm	1	1,4
Ca ppm	1	477
Ce ppm	1	39
Cl ppm	1	106
Co ppm	1	8,5
Cr ppm	1	43
Cs ppm	1	3,2
Dy ppm	1	1,2
Eu ppm	1	0,38
Fe ppm	1	40600
Hf ppm	1	0,7
I ppm	1	4,5
K ppm	1	3320
La ppm	1	19
Mg ppm	1	1600
Mn ppm	1	25
Na ppm	1	624
Rb ppm	1	41
Sb ppm	1	0,6
Sc ppm	1	6,5
Si ppm	1	88600
Sm ppm	1	2
Sn ppm	1	98
Sr ppm	1	31
Ta ppm	1	0,8
Tb ppm	1	0,5
Ti ppm	1	1500
Th ppm	1	6,6
U ppm	1	0,9
V ppm	1	47

Tab. 20: Databáze vybraných stopových prvků v popelech nigerijských černých uhlí. Sestaveno s použitím práce Hannan A. H. M. A. (1982)

Literatura

- Hannan A. H. M. A., Nehinde L. O., Olnevole A. F., Borishade A. B., Oshin O., Aladekomo J. B., Jeris R. E. (1982): Determination trace elements in Nigerian coals by neutron activation analysis. - Radiochem. Radioanal. Letters, 53, 155-162.
- Krejci-Graf K. (1972): Trace elements sediments, oils, and allied substances. - In: R. W. Fairbridge: The Encyclopedia of geochemistry and environmental sciences, 1201-1209. New York.
- Swaine D. J. (1990): Trace elements in coal. - Butterworths, 278 str. London.

Austrálie a Nový Zéland

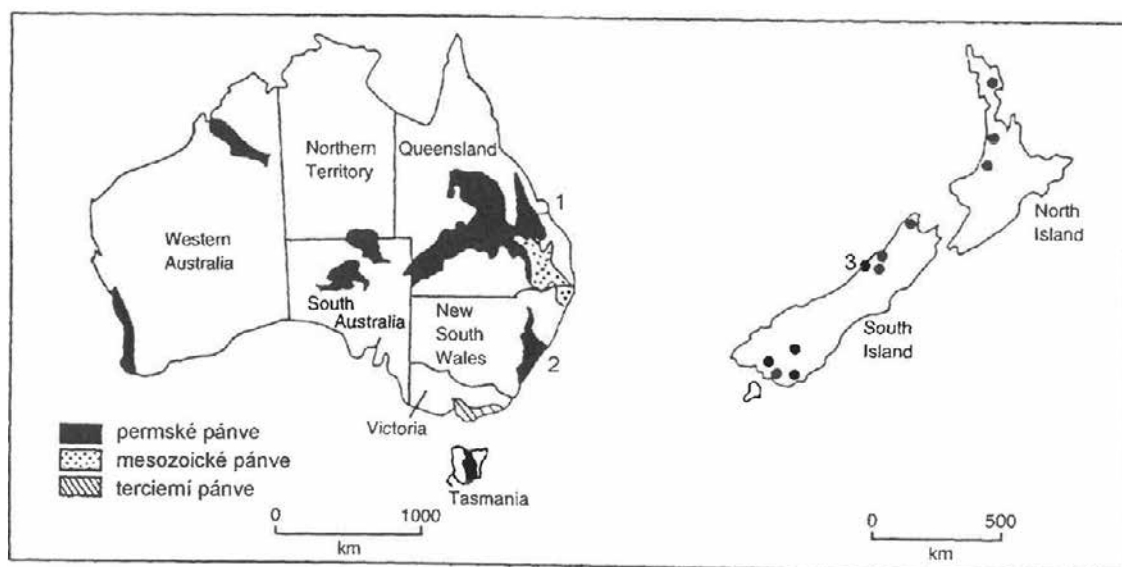
Permská uhlí těchto států vznikala na gondwanském kontinentu. Většina uhlí proto vzhledem k vysokému podílu inertinitu je využívána pouze pro energetické účely.

Austrálie

Austrálie je čtvrtým nebo pátým největším těžařem černého uhlí na světě. Současně je i jeho největším exportérem. Vzhledem k tomu, že některé pánve leží v těsné blízkosti moře, resp. zasahují až na pobřeží, je obtížné nízké ceně australského uhlí konkurovat. Významná černouhelná ložiska se nacházejí na V a na J země. K nejdůležitějším pánvím náleží pánve bowenská a především sydneyjská (obr. 9). Sedimenty sydneyjské pánve obsahují téměř padesát slabě prouhelných

černouhelných slojí. Nejmocnější z nich dosahuje mocnosti až 10 m. Uhlí jsou variabilní kvality, zpravidla nízko sirnatá s proměnlivou příměsí popelovin. Část této suroviny lze využívat i k výrobě koksu. Sedimentární výplň je místy poměrně silně tektonicky porušena. Navíc uhlonosnými depozity pronikají četné vulkanity. Část zásob této pánve pokračuje k JV a je uložena i pod mořem. Několik desítek slojí, z nichž jedna dosahuje až 30 m, se vyskytuje i v bowenské pánvi. Také v této pánvi se exploatuje převážně černouhelný hemityp. Z části uhlí lze vyrábět poměrně kvalitní koks. Uhlonosné jednotky této pánve jsou více méně uloženy subhorizontálně.

Pokud jde o zastoupení prvků, v žádné analýze nepřevýšily zjištěné hodnoty nejvyšší známé obsahy. Poměrně velmi významně je zastoupeno Ge. Pouze Co, Cr, Cu, F, P, Pb, Sr, Ti, Zn a Zr vykazují v některých analýzách určité, ne příliš významné zvýšení (tab. 21). Maximální hodnoty u La (až 150 ppm) a Nb (až 4,9 ppm) jsou vyšší než nejvyšší obsahy udávané Krejci-Grafem (1972).



Obr. 9: Mapa významných uhelných ložisek na území Austrálie a Nového Zélandu. L. Thomas (2002), upraveno. Čísly jsou označena černouhelná ložiska citovaná v textu, bez čísel ostatní černouhelná a hnědouhelná ložiska bez rozlišení. 1-3 pánve: 1 – bowenská, 2 – sydneyjská, 3 – greymouthská

	Poč. vzorků	Váž. průměr	Median	Minimum	Maximum
C ^{daf} %	1	74,1			
H ^{daf} %	1	5,1			
N ^{daf} %	1	2,2			
R ₀ %	1	0,8			
S _t ^d %	1	0,58			
A ^d %	251	13,8	10,96	5,6	38
Ag ppm	11	3,2	3	2	6
Al ppm	3	62100		10700	154000
As ppm	2	3,0		0,69	5,3
B ppm	2	65,0		30	100
Ba ppm	3	1040		116,9	2000
Be ppm	35	19,3	19	1	88
Br ppm	2	1,7		0,9	2,55

Literatura

- Brown H. R., Swaine D. J. F.R.A.C.I. (1964): Inorganic constituents of Australian coals, Part I., Nature and mode occurrence. - Journ. Inst., Fuel, 422-440.
- Godbeer W. C., Swaine D. J. (1987): Fluorine in Australian

Ca ppm	2	12400		7700	17000
Cd ppm	27	6,8	9	1	13
Ce ppm	2	18,7		10,3	27
Cl ppm	1	164			
Co ppm	50	33,9	22,5	1	322
Cr ppm	41	114	139	2,64	300
Cs ppm	2	0,6		0,4	0,8
Cu ppm	46	207	205	16,4	624
Eu ppm	1	0,26			
F ppm	116	103	92	15	465
Fe ppm	3	16400		3760	34000
Ga ppm	3	38,9		16,6	60
Gd ppm	1	16,7			
Ge ppm	185	324	300	40	500
Hf ppm	2	2,97		0,93	5
In ppm	1	0,1			
K ppm	3	2410		530	4100
La ppm	3	55,9		5,96	150
Lu ppm	1	0,09			
Mg ppm	2	5750		3500	8000
Mn ppm	40	406	230	19	2807
Mo ppm	47	77,3	86	2,7	198
Na ppm	3	1250		460	2000
Nb ppm	1	4,9			
Nd ppm	1	10,7			
Ni ppm	38	94,4	72	3	270
P ppm	3	2060		164,2	4000
Pb ppm	44	182	187	9,4	610
Pr ppm	1	1,7			
Rb ppm	1	13,4			
Sb ppm	29	62,8	33	0,351	164
Sc ppm	2	21,2		2,4	40
Se ppm	1	0,5			
Si ppm	2	167000		67700	266800
Sm ppm	2	5,2		1,36	9
Sn ppm	2	31,0		1,9	60
Sr ppm	4	901		92,5	2500
Ta ppm	2	0,31		0,11	0,5
Tb ppm	1	0,17			
Te ppm	1	0,1			
Ti ppm	34	7360	4561,5	0,88	17594
Th ppm	2	3,8		1,64	5,9
Tl ppm	1	0,3			
U ppm	2	1,8		0,57	3
V ppm	4	101		22,5	153,2
W ppm	3	39,8		0,44	60
Y ppm	3	75,1		30	150
Yb ppm	2	0,6		0,4	0,751
Zn ppm	45	269	280	7	610
Zr ppm	3	450		250	800

Tab. 21: Databáze chemicko-technologických analýz, zastoupení síry a převážně stopových prvků v popelech australských černých uhlí. Sestaveno s použitím prací Brown H. R., Swaine D. J. (1964), Godbeer W. C., Swaine D. J. (1987), Lyons P. C. et al. (1989), Sappal K. K., Santoso B. (1999), Ward C. R. et al. (1999).

coals. - Fuel, 66, 794-798.

- Lyons P. C., Palmer C. A., Bostick N. H., Fletcher J. D., Dulong F. T., Brown F. W., Brown Z. A., Krasnow M., R., Romankiw A. A. (1989): Chemistry and origin of minor and trace elements in vitrinite concentrates from a rang series from the Eastern United States, England and Australia. - Int. Journ. Coal. Geol., 13, 481-527.
- Sappal K. K., Santoso B. (1999): Trace elements in Permian coal, Western Australia. - In: E. Nakoman (ed): European coal geology. - Proc. of the 3rd European coal Conference, 421-425. Izmir.
- Ward C. R., Spears D. A., Booth C. A., Staton I., Gurba L. W. (1999): Mineral matter and trace elements in coals of the Gunnedah Basin, New South Wales, Australia. - Int. Journ. Coal Geol., 40, 281-308.

Nový Zéland

Na severozápadě jižního ostrova leží několik křídových pánví (obr. 9). Nejdůležitější z nich je pánev greymouthská se třemi dobytelnými slojemi o mocnosti do 1,8 m. Jedná se převážně o černo-uhelné ortotypy. Uhlí jsou slabě popelnatá, avšak středně až vysoce sirnatá.

Z několika desítek analýz (ale pouze několika málo prvků) lze upozornit na poněkud

	Poč. vzorků	Váž. průměr	Median	Minimum	Maximum
C ^{daf} %	40	70,24	70,3	67,7	72,85
H ^{daf} %	40	4,98	5,01	4,84	5,27
N ^{daf} %	40	1,09	1,08	0,95	1,21
O ^{daf} %	40	18,91	18,25	16,95	22,19
V ^{daf} %	42	44,63	44,7	41,5	47,5
S _t ^d %	40	2,32	2,54	1,25	3,39
A ^d %	42	5,45	5,2	3,6	7,1
Al ppm	40	2000	1800	1100	3600
B ppm	40	426	430	350	520
Ba ppm	40	400	400	400	400
Ca ppm	40	11800	12800	7200	13700
Cl ppm	40	110	100	100	200
Fe ppm	39	3740	4000	300	10500
Mg ppm	40	3200	3200	1700	4400
Na ppm	40	1800	1700	600	3600
P ppm	31	174	200	100	300
Sr ppm	40	600	600	600	600
Ti ppm	32	166	100	100	500

Tab. 22: Databáze chemicko-technologických analýz, zastoupení síry a převážně stopových prvků v popelech novozélandských černých uhlí. Sestaveno s použitím práce Grey V. R. (1986).

(tab.23). Z těchto analýz vyplývá neobyčejně vysoké zastoupení La (až 31 ppm) v porovnání s Krejci-Grafem 1972) a poněkud zvýšené obsahy B, Co, Cr, Cu, Ge (velmi výrazné), Ni, Pb, Sr, Ti, V, Y a Zr.

	Poč. vzorků	Váž. průměr	Minimum	Maximum
W _t ^f %	7	5,2	0,3	8
C ^{daf} %	7	72,7	64,7	79,8
H ^{daf} %	7	1	0,2	1,6
N ^{daf} %	7	0,87	0,2	1,4
O ^{daf} %	7	4	1	6,3
V ^{daf} %	7	6,1	1,4	9,3
S _t ^d %	7	0,23	0,04	0,42
S _p ^d %	4	0,03	0,01	0,05
S _{SO4} ^d %	7	0,03	0,01	0,04
S _o ^d %	6	0,22	0,03	0,37
A ^d %	7	15,9	9,6	25,4
B ppm	7	181	20	250
Ba ppm	3	1330	1000	2000
Be ppm	3	26,7	20	30
Co ppm	5	262	60	400
Cr ppm	7	95,7	30	200
Cu ppm	7	119	30	200

zvýšené hodnoty B, Cl, P a Ti (tab. 22).

Literatura

- Grey V. R. (1986): The chemical prospecties and composition of Mokau coal. - N. Zeel. Journ. Geol. Geoph., 29, 447-461.

Antarktida

Různě kvalitní křídové černouhelné sloje se vyskytují na ostrově Jamese Rosse a v Transantarktickém pohoří. Na základě mezinárodní úmluvy je jakákoliv těžba surovin v Antarktidě zakázána.

Z publikace Browna a Taylora (1961) je známo zastoupení některých prvků v popelu uhlí zdejších slojí

Literatura

- Brown H. R., Taylor G. H. (1961): Some remarkable Antarctic coals. - Fuel, 40, 211-224.
- Swaine D. J. (1990): Trace elements in coal. - Butterworths, 278 str. London.

Závěry

V letech 2001 až 2004 jsme shromažďovali publikované údaje o chemicko-technolog. analýzách, zastoupení síry a převážně stopových prvků v popelech černých uhlí

Ga ppm	7	41,4	30	60
Ge ppm	7	124	10	600
La ppm	7	221	100	400
Mn ppm	7	264	200	400
Mo ppm	4	17,5	4	30
Ni ppm	7	310	30	600
Pb ppm	7	227	30	600
Sn ppm	3	30,0	20	40
Sr ppm	7	1160	400	2000
Ti ppm	7	4000	4000	4000
V ppm	7	826	60	2500
Y ppm	7	85,7	30	200
Zr ppm	7	1640	400	4000

Tab. 23: Databáze chemicko-technologických analýz, zastoupení síry a převážně stopových prvků v popelech černých uhlí na území Antarktidy. Sestaveno s použitím práce Brown H. R., Taylor G. H. (1961)

a antracitů z významných pánví všech kontinentů včetně Antarktidy. Vzniklá databáze 22 států je velmi různorodá, jak co do množství a úplnosti podkladů, tak co do vyvíjející se metodiky stanovení jednotlivých prvků v průběhu ca posledních padesáti let. Nejúplnější analýzy vesměs s dostatečným počtem dat jsme získali z Belgie, Číny, Jihoafrické republiky, Kanady, Velké Británie, Spojených států amerických a částečně též z Austrálie. Nekompletní data, tj. převážně široké spektrum prvků, ale s malým počtem

analýz, pochází z Antarktidy a dále z brazilských, bulharských, chilských, indických, íránských, německých, nigerijských, novozélandských, polských, švýcarských, taiwanských a ukrajinských černouhelných pánví.

Z databází jednotlivých států je zřejmé, že některé prvky mnohdy výrazně převyšují jak svými průměrnými, tak maximálními obsahy nejvyšší hodnoty uváděné Krejci-Grafem (1972). Jedná se zejména o Ag (Německo, USA), As (Čína, Kanada), Au (Čína, Írán), Ce (USA), Co (Kanada), Cr a Cs (USA), Hg (Írán, Kanada), La (Antarktida, Austrálie, Belgie, Čína, Írán, Jihoafrická republika), Nb (Austrálie, Írán, Kanada), Nd (Čína), Pb (Německo), Rb (Čína, Írán, Kanada, Nigérie, Švýcarsko, USA, Velká Británie), Ta (Írán, USA), U (Čína, Polsko) a Zn (USA). Řada dalších prvků vykazuje více či méně zvýšené hodnoty. Ve většině států, pokud byly analyzovány prvky vzácných zemin a Pt-kovů, byly zjištěny jejich vysoké obsahy, které mnohdy převyšují maximální hodnoty uváděné Swainem (1990). Pouze kvalitu jihoamerických uhlí negativně neovlivňují ani zvýšené obsahy S ani stopových a dalších prvků.

Literatura

- Krejci-Graf K. (1972): Trace elements sediments, oils, and allied substances. - In: R. W. Fairbridge: The Encyclopedia of geochemistry and environmental sciences, 1201-1209. New York.
- Swaine D. J. (1990): Trace elements in coal. - Butterworths, 278 str. London.