

Ctirad SCHEJBAL *

LIDSKÁ SPOLEČNOST A NEROSTNÉ SUROVINY

HUMAN SOCIETY AND MINERAL RAW MATERIALS

Abstrakt

V článku jsou diskutovány determinanty dalšího vývoje lidstva a ukázána plná závislost na nerostných surovinách. Za rozhodující je obecně považováno zabezpečení energií. Predikovaný kritický nedostatek některých kovů a zejména energetických surovin a enormní nárůst cen nerostných surovin se nepotvrdil a zdá se, že nehrozí ani v příštích desetiletích. Vedle konvenčních zdrojů nerostných surovin se výzkum a průzkum zaměřuje na netradiční druhy a zdroje surovin. Pozornost se soustřeďuje zejména na suroviny moře a to kovanosné konkrece, recentní akumulace bohatých sulfidických rud a akumulace hydrátů metanu. Nerostný surovinový komplex se rychle adaptuje na uvedené tendence a technologické změny vedoucí k nové struktuře surovinových požadavků. Stejně tak reagují geologické vědy. V posledních desetiletích byly zásadním způsobem přeformulovány modely vývoje zemského korového obalu a koncepce tvorby a prostorové lokalizace ložiskových koncentrací. Hlavním cílem je rozpracování levného a účinného průzkumného procesu založeného na pokročilých technologiích a vývoj postupů osvojení velkých a dostatečně kvalitních ložisek s minimálními negativními vlivy na přírodní prostředí.

Abstract

Determinants of further development of mankind are analyzed and its full dependence on mineral raw materials is shown. The securing of energy is generally considered as a crucial one. The predicted critical lack of some metals, especially of energetic raw material, and enormous growth of raw material costs has not been confirmed and it seems to be improbable in the next few decades. Apart of conventional mineral resources the research and exploration activities are directed to non-traditional types/resources of mineral raw materials. The attention is concentrated above all to marine resources, namely metalliferous nodules, recent accumulations of rich sulphide ores and accumulations of methane hydrates. Mineral industry is adapted rapidly to these tendencies and to technological changes leading to a new structure of raw material demands. The geoscience responds in the same manner. Both the models of the evolution of the Earth mantle and crust, and the concepts of formation and spatial location of mineral accumulations were reshaped essentially during the last decades. The following principal aims are to be elaborated inexpensive and effective exploration process based on advanced technologies and methods of development of first-rate mineral deposits with minimum negative environmental impacts.

Key words: mankind development determinants, non-conventional mineral resources, seafloor polymetallic nodules, recent undersea sulphides accumulations, methane hydrates, Antarctic mineral resources, global exploration strategy, future objectives of exploration and mining.

Úvod

V posledních desetiletích probíhá v odborné i laické veřejnosti rozsáhlá diskuse zaměřená na koexistenci lidské společnosti s přírodními systémy a na využívání přírodních zdrojů. Zásadní otázkou se jeví problém *základní strategie rozvoje lidské společnosti*. Jejimi determinanty jsou z našeho hlediska následující skutečnosti:

* Dr.h.c. Prof. Ing. CSc., Institut geologického inženýrství, HGF VŠB-TU Ostrava

- ⇒ explozivní a nerovnoměrný růst lidstva;
- ⇒ plná závislost lidstva na nerostných surovinách a vodních zdrojích;
- ⇒ určující význam energetických zdrojů;
- ⇒ krajně nerovnoměrné prostorové rozmístění surovinových zdrojů, které vede k závislosti zemí na surovinovém obchodu;
- ⇒ neustále se urychlující technologický vývoj, který bezprostředně souvisí s péčí o životní prostředí;
- ⇒ podstatné změny spektra potřebných surovinových zdrojů v důsledku rozvoje technologií;
- ⇒ významný růst recyklace a bezodpadových technologií.

Samozřejmě by bylo možno uvést další determinanty, které zdánlivě přímo nesouvisí s nerostných surovinovým komplexem. Z nich je nutno na prvním místě zmínit jeden ze základních vývojových megatrendů definovaných pracovníky Worldwatch Institute (Washington, USA) a to *megatrend informatizace lidské společnosti*.

Lidská společnost prochází turbulentním demografickým vývojem, který se projeví nárůstem populace ze současných cca 6 miliard na více než 8 miliard v roce 2025. Podíl vyspělých zemí poklesne z 20.4 % v roce 1995 na 14.9 % v roce 2025; v případě rozvojových zemí tedy v daném období vzroste ze 79.6 % na 85.1 %. Přitom existuje obrovská nerovnováha ve stupni dosaženého ekonomického rozvoje ve vyspělých a rozvojových zemích. Např. v roce 1993 se o celosvětový průměrný HDP 4010 USD v podstatě zasloužilo 15.4 % obyvatelstva, přičemž více než 58 % patřilo do skupiny s nízkým příjmem, která podle dosavadních populačních trendů velmi významně poroste. Pokud se tyto trendy nebudou příliš měnit, lze předpokládat, že do roku 2025 vzroste oproti roku 2000 počet obyvatel v zemích s nízkými příjmy o 40.6 %, se středními příjmy o 37.1 % a s vysokými příjmy o 6.7 %.

Charakteristickým rysem rozvoje lidské populace v posledních desetiletích je *prudký nárůst počtu lidí žijících ve městech*. Jestliže v roce 1900 činil jejich podíl 14 %, pak v roce 1990 dosáhl celosvětově 43 %, přičemž tento podíl je větší v rozvojových zemích (tab. 1).

Tabulka 1: Příklady růstu megaměst

město	stát	1950	1960	1975	1990	1995	2015
Mexico City	Mexiko	3.1	4.9	11.2	15.3	16.6	26.0
Sao Paulo	Brazílie	2.3		10.0	14.8	16.5	21.0
Bogota	Bolívie		1.7	3.0	5.2	6.1	8.4
Velká Káhira	Egypt		3.7	6.0	7.7	9.7	14.4
Lagos	Nigérie		0.8	3.3	7.5	10.3	24.5
Shanghai	Čína	5.3	8.6	11.4	12.6	13.6	23.4
Velká Bombay	Indie	2.8	4.1	6.8	12.2	15.1	26.2
Karáčí	Pakistán		1.8	4.0		10.5	20.5
Dhaka	Bangladéš			1.9	6.7	8.6	19.5
Soul	Jižní Korea		2.4	6.8		11.6	13.0
Jakarta	Indonézie		2.7	4.8		8.6	13.9
Manila	Filipíny		2.2	5.0		9.3	14.7

Především velko a megaměsta nejsou z hlediska podpůrných systémů soběstačná (potravin, teplo, elektřina a voda). Obrovské problémy způsobuje vysoká produkce tuhých a tekutých odpadů (města jich produkují cca 80 %) a zpravidla velmi znečištěné ovzduší v důsledku dopravy. To vše vyžaduje budování rozsáhlých distribučních sítí a výrobních a likvidačních zařízení. Klasickým příkladem je Las Vegas ležící v polopouštní oblasti, které by bez vody a elektrické energie zabezpečené Hooverovou přehradou na řece Colorado nemohlo existovat.

Spotřeba nerostných surovin je obecně úměrná životní úrovni, tzn. ekonomické vyspělosti státu. S rozvojem industriální společnosti vzniklý rozsáhlý průmyslový komplex, který byl a je nezbytný pro zajištění potřeb lidské populace, vyžaduje surovinové a energetické zajištění. Požadavky na nerostné suroviny až do nedávné doby výrazně stoupaly, spotřeba energie stoupá stále. Každý obyvatel vyspělých zemí spotřebuje za rok 15 až 20 tun nerostných surovin při celosvětovém průměru cca 3 tuny (tab. 2).

Pro jakékoliv formy života je naprosto nezbytná voda. Z celkového množství vody v hydrosféře je cca 97 % soustředěno v oceánech a mořích a cca 2 % v ledovcích (tab. 3).

Pouze 2.5 % tvoří sladká voda, která je ale rozmístěna prostorově velmi nerovnoměrně. Roční světové obnovitelné zdroje činí 7 420 m³ na osobu, s rozptylem od desítek po statisíce m³ (tab. 4).

Tabulka 2: Spotřeba nerostných surovin na osobu

stát	rok	roční (t)			celoživotní (t)		
		celkem	z toho		celkem	z toho	
			stavební	energet.		stavební	energet.
Německo.	1987	16.86	8.53	6.55	1180	597	459
Česká rep.	1993	16.71	6.35	9.77	1220	463	713
USA	1987	17.82	9.05	7.65	1336	679	574
	1998	19.50			1482		

Tabulka 3: Rozdělení vody v hydrosféře (Montgomery, 1995)

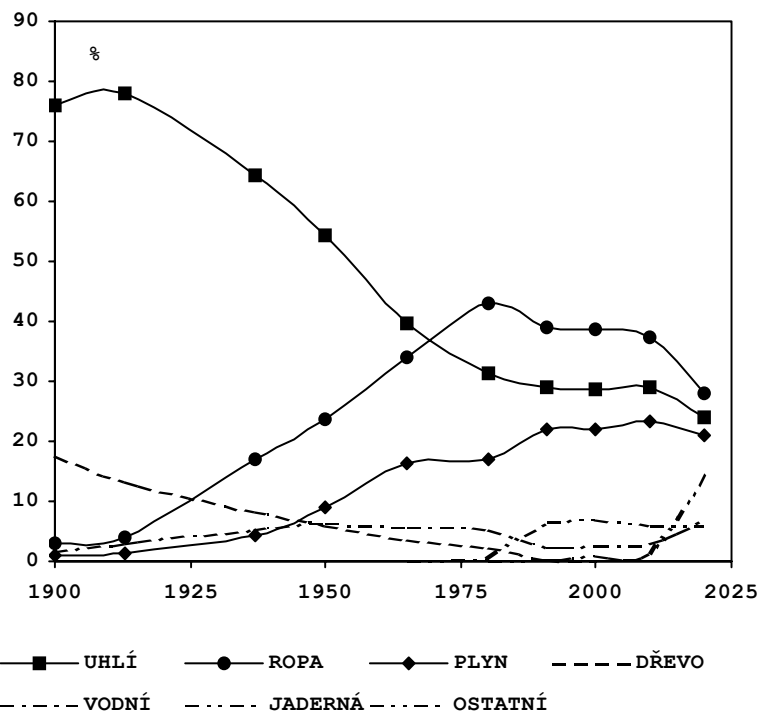
TYP AKUMULACE	% celkových zdrojů	% sladké vody	% nezmrzlé sladké vody
OCEÁNY	97.54	-	-
Ledovce	1.81	76.90	-
Spodní voda	0.63	25.70	98.4
Jezera a řeky	slané	0.007	-
	sladké	0.009	0.36
Atmosféra	0.001	0.04	0.2

Tabulka 4: Roční obnovitelné zdroje vody v m³ na osobu (Conte et al., 1997)

země	m ³	země	m ³
Egypt	50	BRAZÍLIE	33 680
Saudská Arábie	140	Kanada	106 000
Sjedn. arab. emiráty	180	Gabun	132 580
Mauretánie	190	Guyana	298 270
Jordánsko	240	Surinam	456 620
USA	9 710	Island	653 850

Vodní zdroje nabývají na stále větším významu. Stávají se předmětem mezistátních dohod (např. využívání energetického potenciálu řeky Paraná Brazílií a Paraguayí hydroelektrárnou Itaipu) nebo i sporů, jako v případě řeky Jordán v arabsko-izraelském konfliktu v roce 1967 nebo v současnosti v případě využití vod řeky Hasbani Izraelem, Libanem a Sýrií.

Snaha rozvojových zemí alespoň se přiblížit vyspělejším zemím vede k růstu surovinových a hlavně energetických potřeb. Jejich současná spotřeba je krajně nerovnoměrná. Situaci zhoršuje často velmi nízká účinnost využívání energetických surovin v rozvojových zemích (např. pálení dřeva na otevřených ohništích). V první polovině devadesátých let 24 % obyvatel průmyslově vyspělých zemí využívala 72 % světových energetických zdrojů. Právě zajištění lidské populace potřebnou energii je zcela jednoznačně nejvýznamnějším problémem v souvislosti s koncepcí udržitelného rozvoje. Problémy spojené se zajišťováním dostateku energie se dostaly do středu zájmu při vzniku energetické krize v sedmdesátých letech minulého století. Do té doby byl dostatek paliv a energie víceméně

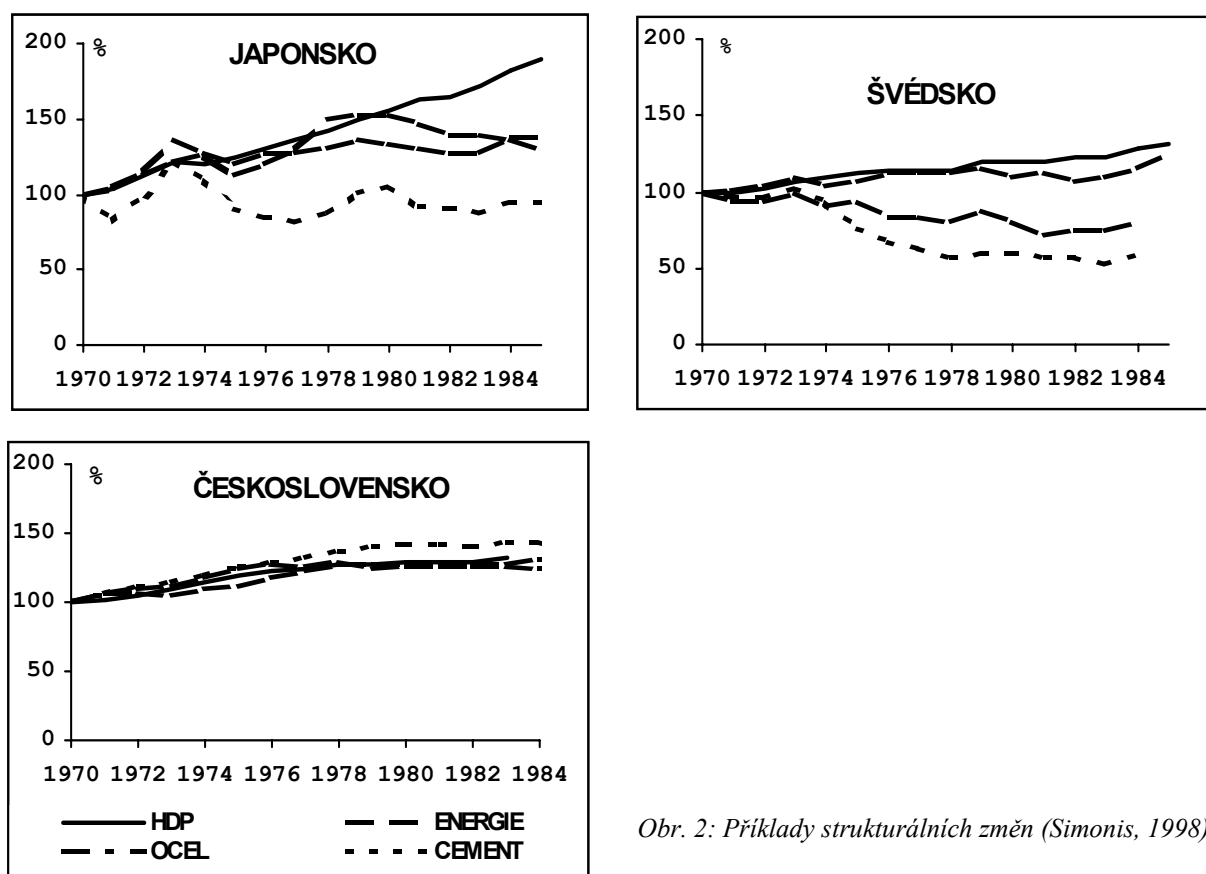


Obr. 1: Vývoj struktury palivo-energetických zdrojů

považován za samozřejmost. Podíl využití jednotlivých palivoenergetických zdrojů se mění s časem a je rozdílný v různých zemích v závislosti na struktuře jejich zdrojů (obr. 1).

Jednoznačně hlavními energetickými zdroji jsou v současnosti fosilní paliva. Vyjdeme-li ze současné úrovně těžeb a známých zdrojů, pak je průměrná životnost zdrojů uhlí cca 250 let, ropy cca 40 let a zemního plynu cca 70 let (statické indexy). V případě ropy a plynu je ovšem skutečností, že existují rozsáhlá teritoria v málo přístupných územích na pevninách a zejména v oblastech kontinentálních šelfů, která jsou velmi málo či zcela neprozkoumána. Rovněž známá ložisková pole nejsou často prozkoumána v plném rozsahu. Intenzívně se hledají možnosti využití dalších a to zejména obnovitelných energetických zdrojů, i když seriózní analýzy nejsou v tomto směru příliš optimistické. Dílčí význam se připisuje vodní a jaderné energetice a využití biomasy hlavně v kogeneraci. V případě větrné a vodní energie jsou limitující lokální a časové podmínky. Stále větší pozornost se upírá na přírodní hydráty metanu.

Za rozhodující je tedy obecně považováno zabezpečení energií. Je ale zřejmé, že od sedmdesátých let přestává zejména ve vyspělých zemích vysoká přímá korelace mezi spotřebou energie a hrubým domácím produktem platit, stejně tak jako v případě výroby železa či cementu (obr. 2). Jde o zásadní strukturální změny, které jsou charakterizovány miniaturizací technologií a výrobků (Simonis, 1998) a zkracováním výrobních cyklů.



Obr. 2: Příklady strukturálních změn (Simonis, 1998)

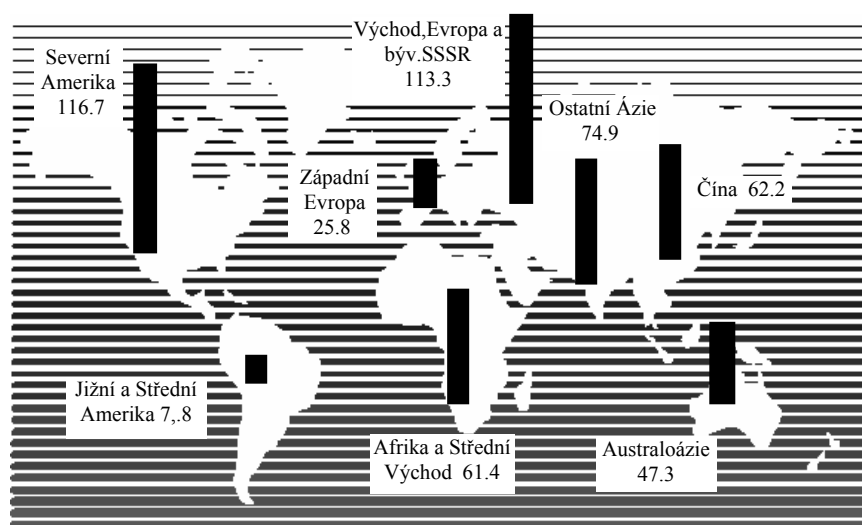
Vývoj zdrojů a spotřeby nerostných surovin

Faktorem, který zcela zásadním způsobem ovlivňuje spotřebu nerostných surovin, je technologický pokrok. Např. přechod k malopáněvní metalurgii a výrobě speciálních slitin a superslitin s vysokými užitnými vlastnostmi významně snižuje spotřebu kovů. Životnost uhelných zdrojů se prodlužuje zvyšováním účinnosti energetických zařízení ze současných 35 až 40 % na 45 až 50 % při současném snižování energetické náročnosti výrob. Je nutno zdůraznit, že nejde jen o množství surovin, ale také o jejich spektrum, které stále vzrůstá. Klasickým příkladem mohou být např. zdroje niobu, tantalu či vzácných zemin, perlit, zeolity apod. Soubor základních surovin, u kterých jsou v současné době průběžně sledovány světové ceny, zahrnuje zhruba 150 položek, přičemž v tom nejsou zahrnuty ceny běžných stavebních surovin. Vedle rozšiřování souboru surovin dochází k významným přesunům v jejich struktuře v důsledku změn technologií, vývoje materiálů s výhodnějšími užitnými vlastnostmi, změn cenových relací, vyčerpání zdrojů či přerušení dodávek, objevení

nových zdrojů atd. Typickým příkladem takovýchto změn je letecký průmysl. Vývoj průmyslových technologií respektuje obecný trend ekonomie zdrojů, který v důsledku základních ekonomických a v posledním období i environmentálních principů vede k vývoji a zavádění technologií se stále nižšími surovinovými a energetickými měrnými náklady.

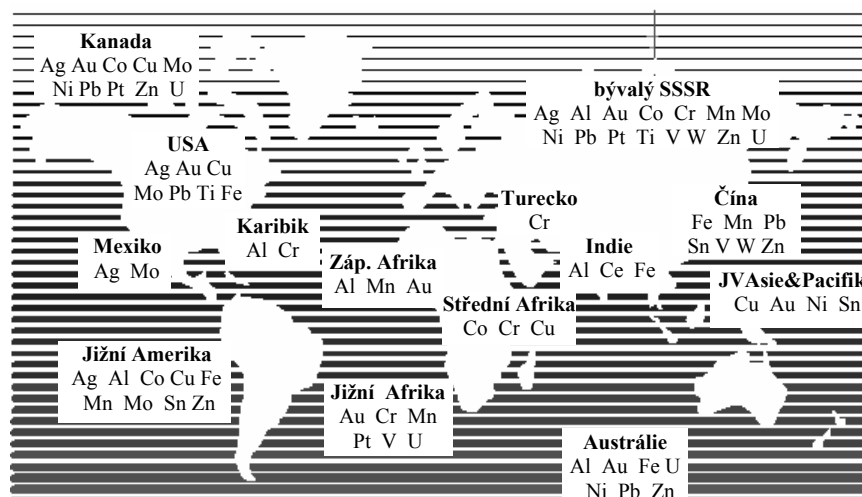
Nerostné surovinové zdroje jsou vlivem vývoje Země rozmístěny krajně nerovnoměrně a navíc často v oblastech politicky a ekonomicky nejistých (obr. 3 a 4).

Přirozená nerovnoměrnost prostorové distribuce nerostných surovinových zdrojů je umocněna prostorově velmi nestejným prozkoumáním a využíváním těchto zdrojů. Nelze porovnávat míru poznání a využití zdrojů v oblastech dlouhodobého lidského působení s oblastmi klimaticky nevhodnými nebo obtížně přístupnými. Ale právě tyto oblasti se spolu s mořskými pánvemi vyznačují značným nerostným potenciálem, a to zejména proto, že ložiskové akumulace stály v takovýchto oblastech z příčin technických, ekonomických a ekologických na okraji pozornosti.



Obr. 3:
Ověřené celkové zásoby černého uhlí v r.1998 v mlrd. tun podle WCI (2000)

Tato situace se ale mění, což dokládají výsledky geologického průzkumu. Např. v brazilské Amazonii ve státě Pará byla objevena jedna z největších rudních provincií na světě se zdroji železa, hliníku, mědi, zlata atd., s největším dnes těženým ložiskem železných rud Carajás, v džunglích Indonézie a Papuy-Nové Guinei velmi významná ložiska mědi a zlata, v Kanadě u Hudsonova zálivu rozsáhlé ložisko Voisey's Bay atd.

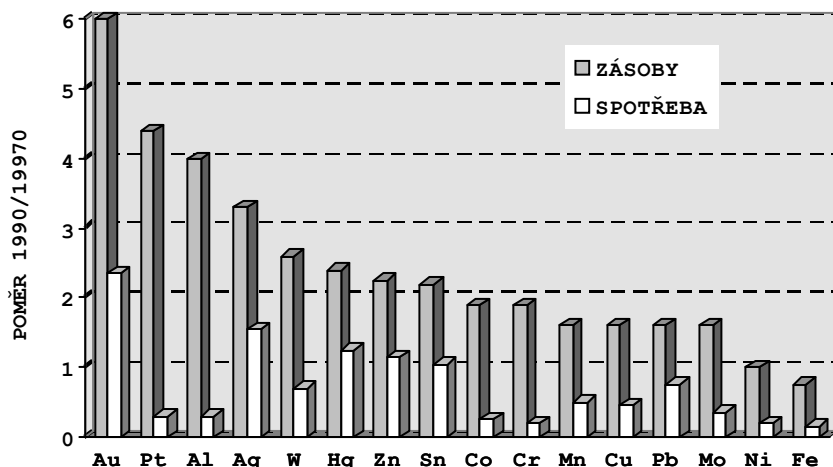


Obr. 4:
Hlavní oblasti těžby kovů (UNEP IE, 1997, doplněno)

Rozvoj prognostických technik a geotektonických a metalogenetických koncepcí umožnil vybudovat globální metodologii vyhledávání a hodnocení zdrojů a dosti spolehlivé prognózy jejich časové a prostorové distribuce nejen v rámci základních geotektonických jednotek, ale i v regionálním a lokálním měřítku. To umožňuje provádět dlouhodobé úvahy a predikce možností zajišťování surovinových zdrojů. V posledních desetiletích byly zásadním způsobem přeformulovány modely vývoje zemského korového obalu a koncepce

tvorby a prostorové lokalizace ložiskových koncentrací, což se projevilo ve změně filozofie jejich vyhledávání a ověřování a vedlo k objevení celé řady nových ložiskových oblastí a ložiskových koncentrací dosud neznámých ložiskových typů (Olympic Dam, Carlin, unconformity apod.).

Často je diskutován *problém konečnosti nerostných surovinových zdrojů*, který velmi ostře nastolil Římský klub, resp. výsledky jeho analýz zveřejněných v knize „Meze růstu“ v roce 1972. Hlavní zásluhou uvedené studie bylo, že obrátila pozornost odborníků i celé světové veřejnosti na otázky využívání surovinových zdrojů. Je ale skutečností, že výsledky těchto analýz neobstály.



Obr. 5: Porovnání přírůstku zásob a kumulativní spotřeby se stavem 1970 a 1990 (Takashi Nishiyama a Tsuyoshi Adachi, 1995)

Predikovaný kritický nedostatek některých kovů a enormní nárůst cen nerostných surovin se nepotvrdil. Očekávané životnosti zdrojů řady kovů se v posledních padesáti letech příliš neměnily, či dokonce vzrůstaly. Relativní vzrůst ověřených zásob a spotřeby v roce 1990 oproti roku 1970 pro 16 nejdůležitějších kovů ve všech případech vykazuje významný předstih ověřených zásob (obr. 5). Tento trend pokračuje. Obdobný obraz poskytuje vývoj životnosti průmyslových a geologických zásob uhlí a stavebních a nerudných nerostných surovin České republiky. Pro dynamiku vývoje surovinových zdrojů a jejich využívání jsou v principu určující dvě tendence a to jednak možnosti zajišťování zdrojů, jednak vývoj výrobních technologií. Při diskusi o životnosti surovinových zdrojů se musíme uvědomit, že nerostných zdrojů je na Zemi právě tolik, kolik je za ně ochotna nebo okolnostmi nucena lidská společnost zaplatit. Konečně je třeba uvážit, že s přechodem na čistší produkci, na recyklaci odpadů, resp. na uzavřené materiálové cykly dochází k zásadnímu zvratu v bilanci surovinových zdrojů, který velmi podstatně ovlivní jejich očekávané životnosti. Tento vývoj můžeme už dnes pozorovat u řady kovů (např. olova či zinku), ale i v případě nekovových surovin, stavebních a konstrukčních materiálů, výrobků z přírodních kaustobiolitů atd. Odpady se stávají hodnotnými surovinami, často cenově a především energeticky výhodnějšími, než primární suroviny (tab. 5). Proto také úložiště odpadů včetně vyhořelého jaderného paliva lze považovat za specifická antropogenní ložiska. V úvahách o významu recyklace obvykle uniká pozornosti surovina, u které se recyklace používá ve velmi významném měřítku po desetiletí. Jde o vodu, jejíž zdroje jsou v některých regionech významně omezeny (tab.4). Čistírenské technologie ale zvyšují a mohou dále dramaticky zvýšit vodárenské zdroje. Dobře to vystihuje výrok, že sklenice vody z vodovodního kohoutku v Rotterdamu byla už pětikrát vypita.

Tabulka 5: Porovnání spotřeby energie při výrobě kovů z primárních rud a z odpadů

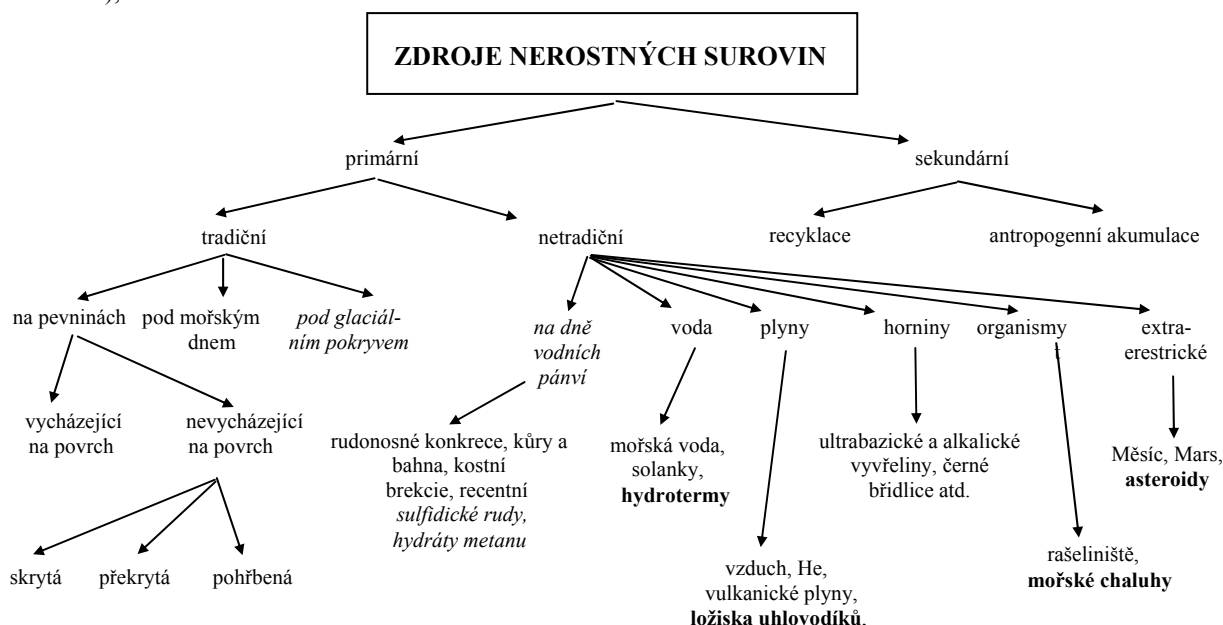
kov	z rudy (kWh/t)	z odpadů (kWh/t)	úspora %	kov	z rudy (kWh/t)	z odpadů (kWh/t)	úspora %
titan	126 000	52 000	59	měď	13 500	1 700	97
hořčík	90 000	2 000	98	zinek	10 000	500	95
hliník	65 000	2 000	97	cín	19 500	500	97
nikl	44 500	2 400	95	olovo	9 500	500	95
železo	16 000	7 500	53				

Vývoj známých zdrojů a očekávané spotřeby nesignalizuje žádný vážný problém a to i při současných technologických znalostech. Tezí o zhroutilí lidské civilizace v důsledku vyčerpání surovinových zdrojů

odmítla i Světová komise pro životní prostředí a rozvoj v knize „Naše společná budoucnost“ vydané v roce 1987. Jediný problém se možná projeví v případě zdrojů ropy a plynu, kde ovšem narážíme na současnou nedostatečnou prozkoumanost jak známých, tak perspektivních pánví.

Nové zdroje nerostných surovin

V současnosti se už využívají nebo se uvažuje o možnostech využití nových nekonvenčních surovinových zdrojů (obr. 6). Patří sem získávání některých surovin z mořské vody (solí, v budoucnu snad i U, Au apod.), z mořského dna (rudonosné konkrece, kůry a bahna, metanové hydráty, recentní sulfidické rudy), z rap slaných jezer a hydroterm (Na a Mg sírany a karbonáty, boráty, chloridy atd.), z plynů, tj. ze vzduchu, podzemních zdrojů uhlovodíků či helia a z vulkanických emisí (N, O₂, He, Ne, Ar, Kr, F, Cl, CO₂, CH₄, SO₂, H₂S atd.), z hornin (např. Mg, Ni, Co a Cr z ultrabazik, TR, Zr, Nb a Ta z alkalických hornin a karbonátů, U z granitů, celá řada těžkých kovů z černých břidlic), z organismů (potaš z popela stromů a chaluh, U a Co z rašelin), či v budoucnu z blízkého vesmíru.



Obr. 6: Současné a budoucí zdroje nerostných surovin

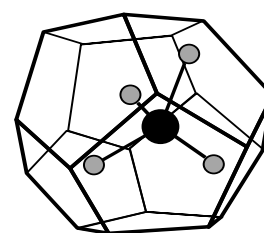
Od 60. let minulého století se věnuje značná pozornost výzkumu manganových konkrecí, které byly objeveny před více než 100 lety. Konkrece vytvářejí v jistých oblastech mořského dna významné akumulace manganu a barevných a vzácných kovů. Jejich ložisková charakteristika a problematika využití je diskutována ve sborníku A. Pařízkem. Zdá se, že tento surovinový zdroj se dostane do praktického využití za dvacet či více let a to především z důvodů dořešení technologie dobývání a nezbytné environmentální ochrany mořského prostředí (Wiltshire, 2001). Zajímavé jsou rovněž železomanganové kůry obohacené kobaltem, které podle Úřadu pro mořské dno mohou sehrát významnou úlohu v budoucí bilanci spotřeby tohoto kovu.

V posledních desetiletích se soustřeďuje pozornost na bohaté akumulace sulfidických rud vznikajících vysrážením z podmořských hydrotermálních výronů zvaných „black smokers“, které se nalézají ve středooceánských riftových zónách a pánvích ostrovních oblouků a kterých je známo několik set (Hannington, 1994). Nejzajímavější je oblast v sousedství státu Papua Nová Guinea v Bismarckově moři v pánvi Manus objevená v roce 1985, která obsahuje tři aktivní hydrotermální zóny PACMANUS, SuSu Knolls a DESMOS. Zjištěné akumulace recentních sulfidických rud obsahují běžně více než 15 % Cu, přes 20 % Zn a významná množství Au (do 15 g/t) a Ag (do 200 g/t). V některých zprávách se v této souvislosti píše o „nové zlaté horečce“. V pánvi Woodlark bylo nalezeno velké ložisko železo-barytových usazenin s výraznými koncentracemi slata a stříbra. V Bismarckově moři je známo asi 140 lokalit aktivních podmořských hydroterm. Atraktivnost oblasti vznikajících akumulací podstatně zvyšuje vedle vysoké kvality rud jednak uložení v menších hloubkách v porovnání s manganovými konkrecemi (cca 2 km oproti 4-5 km), jednak jasné právní postavení v exkluzivní ekonomické zóně uvedeného státu. Např. společnost Nautilus Minerals Corporation už získala licenci na oblast o více než 5000 km² mořského dna. Další známá oblast výskytu je v pánvi Severního

Fidži a mezi Fidži a Tonga, na Galapágském riftu, ve střední části Středoatlantického hřbetu apod. Od podmořských hydroterm typu „black smokers“ se odlišuje typ „white smokers“, který vytváří akumulace amorfního křemene nebo karbonátů s obsahem Pb, Zn, Cu, Hg a Fe sulfidů a barytu (např. při pobřeží ostrova Lihir, který je znám rozsáhlým ložiskem zlata Ladolam).

Studium podmořských hydroterm má význam pro osvětlení geneze některých typů sulfidických ložisek. Vulkanogenní kyzová ložiska kyperského typu jsou považována za analogy současných sulfidických akumulací vzniklých činností podmořských hydroterm typu „black smokers“, které souvisejí s bazickým vulkanismem východopacifického stupně. Polymetalická sulfidická ložiska typu Kuroko v kyselých vulkanosedimentárních souvrstvích mají své analogy ve vulkanismu současných pánví ostrovních oblouků s aktivními vývěry „black smokers“ v jihozápadním Pacifiku. Podobná úvaha se může týkat i kyzových polymetalických ložisek jesenické subprovincie. Kyzová ložiska typu Besshi vznikala v poměrech podobných současným zaobloukovým pánvím, jako je např. Japonské moře, či oceánským riftům u kontinentálních okrajů (např. Middle Valley v nejsevernější části pásma Juan de Fuca), kde se ve spojení s vulkanickou činností tvoří akumulace sulfidů v usazeninách mořského dna. Vedle ložiska Besshi v Japonsku sem náleží např. ložiska Windy Craggy v Kanadě či Greens Creek na Aljašce. Typ Besshi náleží v obecném pojetí k sedimentárně-exhalačním sulfidickým ložiskům, jako jsou např. ložiska Rammelsberg a Meggen v SRN, Sullivan v Britské Kolumbii či Mount Isa a Broken Hill v Austrálii.

V těsné asociaci s podmořskými hydrotermami se vyskytují bizarní společenstva organismů, které byly objeveny vědeckou ponorkou Alvin v roce 1977 u Galapág. Jejich existence je založena na chemosyntéze. Nejprimitivnější organismy (barofilní a termofylní bakterie, archaebakterie) využívají síru, vodík, metan a další složky přinášené hydrotermami k životu a vytvářejí podmínku pro život vyšších organismů, jako jsou gigantičtí trubkovití červi, mlži, garnáti, krabi či chobotnice. V této souvislosti stojí za zmínku úvaha o vzniku a vývoji života na Zemi. Hypotetické vývojové stupně popisuje řada: protoatmosféra → jednoduché organické sloučeniny (aminokyseliny) → primitivní polymery (proteinoidy) → váčky s abiogenní membránou → koacerváty-mikrosféry s jednoduchou aktivitou enzymů → protobionta s primitivní látkovou výměnou → eobionta → prokaryota → eukaryota (Paturi 1996). Prebiotická a protobiotická část této vývojové řady je předmětem diskusí po dlouhou dobu (viz např. Millerovy pokusy v padesátých letech minulého století). Stále častěji se objevují názory, že právě podmořské hydrotermální výrony vytvořily podmínky pro vznik života (Holland 2002). Mechanismus vývoje organických polymerů jako základních složek primitivních živých organismů na membránách koloidních sulfidů železa a vznik prvních buněk v prostředí mísení mořské vody a sirných hydrotermálních roztoků popisují např. Russell a Hull (1997). Dosud provedené experimenty tyto představy zatím příliš nepotvrzují (Sarfati 1999).

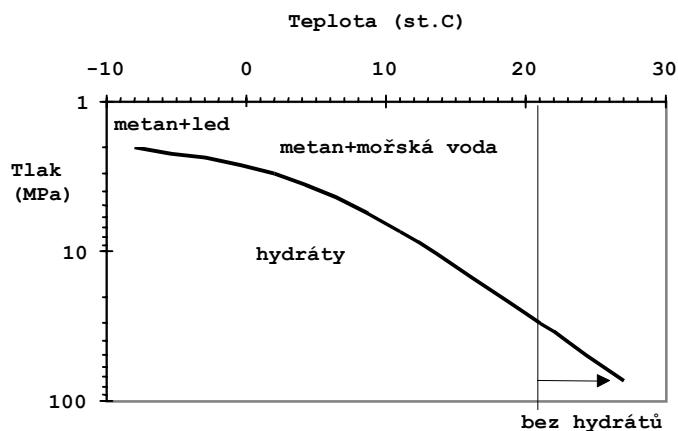


Obr. 7: Struktura hydrátu metanu

Za velmi perspektivní nerostnou surovinu nejen moře lze zřejmě považovat *metanové hydráty* patřící mezi klatráty. Hydráty objevil v roce 1811 Humphrey Davy. V 30. letech minulého století se staly značným problémem provozu ropovodů. V roce 1948 byly nalezeny v sibiřském permafrostu a v roce 1970 navrtány jejich akumulace v oceánech. Od té doby se začalo uvažovat o jejich energetickém potenciálu.

Plynové hydráty jsou pevné látky podobné ledu, ve kterých molekuly vody budují jakousi „klec“ kolem molekul metanu, etanu, propanu atd. Nejčastějším typem je struktura $[(CH_4)_{5,75}(H_2O)]$ tvořená 46 molekulami vody a až 8 molekulami metanu (obr. 7). V přírodních podmínkách 1 m^3 hydrátu obsahuje až 164 m^3 metanu, který vzniká převážně anaerobní bakteriální degradací organické hmoty, nebo termální degradací organické hmoty na ropu (Kvenvolden 1998).

Vyskytují se tam, kde v sedimentárním prostředí obsahujícím metan existuje metan-hydrátová stabilita, tj. vhodné

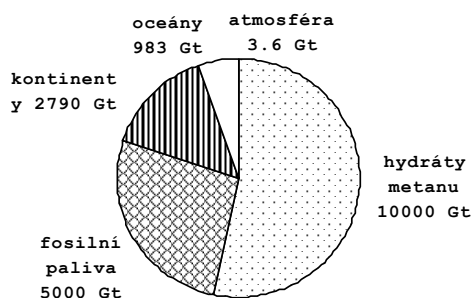


Obr. 8: Závislost stability hydrátů na teplotních a tlakových poměrech (Dickens et al. 1995)

teplotní a tlakové podmínky (obr. 8). Jsou to oblasti jednak vysokých zeměpisných šířek (např. západosibiřská pánev, Kamčatka, východosibiřský kraton, severní oblasti Kanady a Aljašky), jednak kontinentální okraje oceánů v hloubkách pod 300–500 m.

Množství metanu obsaženého v hydrátových akumulacích se odhaduje na $1,4 \times 10^{13}$ až $3,4 \times 10^{16}$ m³ v permafrostu a $3,1 \times 10^{15}$ až $7,6 \times 10^{18}$ m³ v oceánech. Průměrný odhad 20 tisíc trilionů m³ převyšuje o dva řády ocenění konvenčních zdrojů metanu 250 trilionů m³. Možný význam metanových hydrátů v budoucích energetických bilancích dokumentuje obr. 9.

Lze předpokládat, že za 30 až 50 let se stanou významným energetickým zdrojem a v některých oblastech za jistých podmínek snad už v příštích 5 až 10 letech (Collet 2000). Výzkumu a průzkumu hydrátů věnují značnou pozornost zejména státy chudé na ropné zdroje jako Japonsko, Indie, Jižní Korea, ale i USA. Analyzuje se také úloha hydrátů metanu v možné iniciaci klimatických změn a vln tsunami (Mielke, 2000). Velmi perspektivním se jeví využití hydrátů při uskladňování a přepravě plynů, resp. i při jejich čistění a separaci (Mooijer-van den Heubel a Peters 2001, Gudmundsson a Borrehaug 1996).



Obr. 9: Distribuce organického uhlíku v různých prostředích (Dillon 1992)

Patrně mnohem důležitější, než vyhledávání nerostných akumulací v oceánech, je výzkum *biotechnologického potenciálu mořských organismů*. V mořích a oceánech se odehrává přibližně 40 % veškeré primární energetické produkce. Do mořské biomasy je podle odhadů vázáno ročně 35 Gt uhlíku z CO₂. Korálové útesy a mikroorganismy obsahují neobvyklé chemické sloučeniny, které lze podle některých úvah využít v boji s rakovinou, AIDS, cukrovkou atd. Organismy a zejména mikroorganismy žijící v extrémním prostředí podmořských hydrotermálních výronů (extremofily) s unikátními strukturami, metabolickými cestami, reprodukčními systémy či senzorickými a obrannými mechanismy jsou příslibem pro vývoj geneticky založených materiálů, průmyslových chemikálií (např. pro detergenty, biopesticidy apod.) a procesů (využití katalytických a termálních vlastností či schopnosti environmentálního monitoringu a degradace organopolutantů). Na jejich enzymy s unikátními vlastnostmi se soustřeďuje i intenzivní výzkum průmyslu léčiv (Covicchioli a Thomas, 2000). Mimo jiné se uvažuje o jejich využití při těžbě a zpracování chudých rudních ložisek.

Mezi nekonvenční zemské zdroje nerostných surovin lze řadit Antarktidu. Přes velmi omezené možnosti průzkumu (98 % kontinentu pokrývá většinou přes 2.5 km mocný pevninský ledovec, který sám o sobě představuje nejvýznamnější surovinový zdroj sladké vody) je známa celá řada ložisek a výskytů nerostných surovin: rozsáhlá ložiska uhlí v Transantarktickým pohoří a Pohoří prince Karla, výskyt páskovaných železných rud v okolí Mt. Ruker v Pohoří prince Karla, možné zdroje chromu, platiny, niklu a dalších rud ve stratifikovaném ultrabazickém masivu Dufek v pohoří Pensacola, příznaky výskytu Cu-porfyrových masivů na Antarktickým poloostrově (Craddock, 1990), dále možné výskyt manganových kongrecí, zemního plynu a ropy v přilehlých šelfových mořích. Vzhledem k dosud velmi nízkému stupni prozkoumání jsou úvahy o nerostném potenciálu Antarktidy založeny hlavně na extrapolaci geologických informací z dobře známých regionů. Praktické využití těchto a případně i dalších dosud neznámých výskytů nerostných surovin – pokud k němu vůbec dojde - je ale v příštích minimálně 30 letech vyloučeno z důvodů technických, ekonomických, klimatických, environmentálních a politických (Quilty, 2000). Připomeňme také, že podle článku 7 madridského protokolu ke smlouvě o Antarktidě je jakýkoliv ložiskový průzkum zakázán minimálně do roku 2049.

Je skutečností, že v současnosti a v blízké budoucnosti je a bude prakticky každá země více či méně závislá na dovozu nerostných surovin. To se týká i zemí tak surovinově bohatých, jako jsou nepochybně USA, Kanada, JAR a další země. V případě našeho státu je importní závislost velmi vysoká, neboť celá řada typů akumulací nerostných surovin se s ohledem na geologickou stavbu a vývoj na našem státním území vyskytovat nemůže, zdroje jiných jsou pak v důsledku dlouhodobé těžby sahající v řadě případů do středověku nebo až do starověku prakticky vyčerpaný. Je nesporné, že náš stát je téměř čistý importér nerostných surovin, což jasně dokládá saldo surovinového obchodu. Proto je nezbytnou podmínkou dalšího vývoje volný obchod nerostnými surovinami, samozřejmě v rámci reálných možností a zvoleného scénáře hospodářské orientace našeho státu.

Perspektivy a úkoly nerostného surovinového komplexu

Nerostný surovinový komplex se musí rychle adaptovat na všechny uvedené tendence a technologické změny vedoucí k nové struktuře surovinových požadavků. Stejně tak musí reagovat geologické vědy.

Podle U.S. National Mining Association (1998) jsou hlavní cíle geologického průzkumu následující:

- * *levný a účinný průzkumný proces založený na pokročilých technologiích;*
- * *vývoj postupů objevení a ohodnocení velkých vysokokvalitních zásob s minimálními negativními vlivy na přírodní prostředí.*

Objevení ložiska světové třídy je složitý úkol. Průzkumné organizace našly vedle takovýchto objektů řadu málo významných či komplikovaných ložisek, nebo ložisek lokalizovaných v blízkosti sídlišť či v environmentálně citlivých oblastech. Současné hornické a úpravnické technologie jsou schopny se se vznikajícími problémy vyrovnat. Hydrometalurgické a biologické procesy s návazným chemickým či elektrolytickým zpracováním umožňují získávat měď, zlato, uran a jiné kovy bez zhutňování. Tyto stále zdokonalované technologie jsou v porovnání s klasickými báňskými a hutními postupy environmentálně a ekonomicky efektivnější. Např. na významném Cu-porfýrovém ložisku Cerro Verde u města Arequipa (Peru) náhrada klasického úpravnického a hutního zpracování bio/hydrometalurgií a elektrolytickým zpracováním vzniklých roztoků vedla k pětinasobnému zvýšení roční produkce čisté mědi při trojnásobném snížení počtu zaměstnanců.

V celém cyklu vyhledávacích, průzkumných a těžebních prací hrají stále větší úlohu informační technologie. Počítačové zpracování multispektrálního skenování s vysokým počtem kanálů v kombinaci s GPS umožňuje velmi detailní mapování s rozlišením minerálního složení objektů metrových rozměrů. Nové technologické možnosti přinášejí systémy dálkového řízení průzkumných a těžebních mechanismů, jako např. systém CAES (Caterpillar Computer-aided Earth moving System).

V posledních desetiletích velmi zesílil tlak na péči o životní prostředí, speciálně ve sféře hornictví, metalurgie a energetiky. Známý odborník na rekultivaci severočeské pohornické krajiny Stanislav Štýs v roce 2000 napsal: „*Civilizační úroveň každé společenské etapy bude v budoucnu hodnocena nejen podle toho, co poskytovala přítomným generacím, ale hlavně podle toho, co zanechala potomkům, a to nejen ve sféře hmotných statků, ale především v komplexní oblasti životního prostředí.*“

Geologické poměry a procesy ve značné míře podmiňují charakter antroposféry, ve které se projevují vlivy vzájemného působení geosféry, hydrosféry, atmosféry a biosféry s lidskými aktivitami. Proto se už po řadu let sledují a formou speciálních map hodnotí tzv. *geofaktory životního prostředí*, mezi které se řadí ložiska nerostných surovin, zdroje podzemních vod včetně vod pro léčebné účely, geotechnická a geochemická charakteristika prostředí, půdní poměry, geodynamické jevy atd., tedy faktory, které mají význam při zajišťování materiálních potřeb lidstva a při tvorbě životního prostředí. Geologický průzkum má v tomto směru funkci poznávací, hodnotící a informační. Ložiskový průzkum a zejména návazná těžba a úprava objevených ložisek nerostných surovin může mít řadu dopadů na přírodní, sociální a ekonomické prostředí. V oblasti přírodního prostředí ovlivňuje především horninové prostředí, ale i ostatní složky životního prostředí (hydrosféru, atmosféru a biosféru). Proto se sledování a hodnocení environmentálních dopadů činnosti průmyslu nerostných surovin věnuje velká pozornost.

Je však třeba zdůraznit, že dopad činnosti důlního podniku má pouze lokální či maximálně regionální charakter a z hlediska ovlivněné plochy např. regionu nebo státu je prakticky nevýznamný (tab. 6). Např. v období let 1930 - 1980 bylo využito pro povrchové dobývání, odvaly povrchových a hlubinných dolů a skládky odpadů z úpraven nerostů pouze 0.25 % celkové plochy USA. Všechny doly na neželezné kovy zabírají pouze 0.02 % plochy. Přitom cca 47 % plochy ovlivněné hornictvím a skládkami odpadů bylo ke konci uvedeného období rekultivováno (Johnson a Paone in Ostensson 1997). V Austrálii činí plocha dotčená hornickými aktivitami pouze 0.001 %. Podíl pokut za porušování environmentálních norem českými hornickými podniky činil v roce 1995 pouze 0.003 %. *Nepochybně existují jiné aktivity s mnohem rozsáhlejšími a vážnějšími dopady, např. energetika, automobilová doprava, zemědělství či těžba dřeva v tropických pralesech.*

Diskuse, které probíhají v současné době, mají tedy jiný charakter. Jádrem není dostupnost surovin, ale jejich kvalifikovanější využívání a důsledky spjaté s využíváním. Jde o proces, který bychom mohli označit jako *reengineering materiálových a energetických toků v lidské společnosti*. Je zřejmé, že právě efektivní materiálové toky (jak primárních i sekundárních neobnovitelných, tak obnovitelných surovin) jsou důležitým faktorem dalšího rozvoje, samozřejmě při respektování všech environmentálních omezení (obr. 10).

Literatura

- [1] Ballough, S. et al.: Methane hydrate. *Group Omaryaghi*.
http://www.personal.umich.edu/~lkomjath/methane_hydrate.htm.
- [2] Cavicchioli, R. - Thomas, T.: Extremophiles. In *Encyclopedia of Microbiology, second edition (J.Ledergerg edit.)*, vol.2, 317-337, Academic Press, San Diego, 2000.
- [3] Collett, T. S.: Natural gas hydrates: resource of the 21th century? 2000,
http://www.emdaapg.org/natural_gas_hydrates_key.htm.
- [4] Conte, D. J. et al.: Earth science: an integrated perspective. *WCB Publishers, Dubuque, IA, 1997*.
- [5] Craddock, C.: Mineral resources of Gondwanaland. In „*Mineral potential of Antarctica*“, edit. J.F. Spletstoesser a G.A.M. Dreschhoff, vol.51, 1990, American Geophysical union, Washington D.C., 1-6.
- [6] Dickens, G. R. et al.: Dissociation of organic methane hydrate as a cause of the carbon isotope excursion at the end of the Paleocene. *Paleoceanography*, 10, 1995, 965-971 .
- [7] Dillon, W.: Gas (methane) hydrates - a new frontier. 1992, USGS. <http://marine.usgs.gov/fact-sheets/gas-hydrates/title.html>.
- [8] Gudmundsson, J. S., Borrehaug, A.: Natural gas hydrate an alternative to liquified natural gas. 1996, <http://www.ntnu.no/~ngh/library/paper.html>.
- [9] Hannington, M. D. et al.: Hydrothermal activity and associated mineral deposits on the seafloor. In „*Generalised geological map of the world*“. –*Geol. Survey of Canada, Open file report 2915C, 1994*.
- [10] Hayes, D. E.: An overview of the geological history of Antarctica with regard to mineral resource potential. In „*Antarctic politics and marine resources*“. – *Critical choices for the 1980's, Center for ocean management Studies, Kingston, 1984*.
- [11] Holland, M.: Deep sea ventw (aka hydrothermal vents). *Final outline/mini-report*. [http://jrscience.wep.muohio.edu\(Field_Courses99/M.../DeepSeaVentsakaHydrotherm.htm](http://jrscience.wep.muohio.edu(Field_Courses99/M.../DeepSeaVentsakaHydrotherm.htm).
- [12] Jones, D.: UnderWater Magazine: Marine minerals mining: Entering a new age of feasibility? *UnderWater Magazine, Spring 1998, Doyle Publishing company*.
<http://www.diveweb.com/uw/archives/arch/uw-sp98.01.htm>.
- [13] Meadows, D. H. et al.: The limits of growth. *Universe Books, London, 1972*.
- [14] Merkel, A. (1998): Nastavení výhybky pro politiku životního prostředí zaměřenou na budoucnost. In „*Ochrana životního prostředí a tržní hospodářství*“, *Středoevropské perspektivy 11*, 7 – 25, Konrad Adenauer Stiftung, Praha.
- [15] Mielke, J. E.: Methane hydrates: energy prospect or natural hazard? *CRS report RS 20050, National Council for Science and the Environment, Washington, 2000*.
- [16] Montgomery, C. W.: Environmental geology. *WCB Publishers, Dubuque, IA, 1995*.
- [17] Mooijer-van den Heuvel, M. M., Peters, C. J.: Gas hydrates. 2001.
<http://www.det.tudelft.nl/tf/hydrate.htm>.
- [18] Ostensson, O.: Mining and the environment: the economic agenda. *Mining and suistanable development. Industry and environment, UNEP IE, 1997, vol.20, No.4, 29-31*.
- [19] Quilty, P. G.: Is mining worthwhile in Antarctica? *Information on Antarctica, Australian Antarctic Division*. http://www.aad.gov.au/information/more_res/mining.asp.
- [20] Paturi, F. R.: Kronika Země. *Fortuna Print, Praha, 1996*.
- [21] Russell, M. J. and Hall, A. J.: The emergence of life from iron monosulphide bubbles at a submarine hydrothermal redox and pH front. *Journal of Geological Society, London. 154, 1997, pt 3, 377-402*.
- [22] Sarfati, J.: Hydrothermal origin of life? *Creation ex nihilo technical journal, vol.13, No.3, 1999*
- [23] Simonis, U. E.: Ekologická změna orientace průmyslové společnosti. In „*Ochrana životního prostředí a tržní hospodářství*“, *Středoevropské perspektivy 11*, 33 – 53, Konrad Adenauer Stiftung, Praha, 1998.
- [24] Štýs, S.: Proměny měsíční krajiny v srdci Evropy. *Ecoconsult Pons, PC Grafík, Jilové u Děčína, 2000*.

- [25] Takashi Nishiyama, Tsuyoshi Adachi: Resource depletion calculated by the ratio of the reserve plus cumulative consumption to the crustal abundance for gold. *Nonrenewable resources*, 1995, 253-261.
- [26] Wiltshire, J.: Future prospects for the marine mineral industry. *UnderWater Magazine*, Article reprint, May/June 2001. Doyle Publishing company.
<http://www.underwater.com/archives/arcg/mayjun01.05.shtml>.
- [27] sine: The future begins with mining. A vision of the Mining industry of the future. *The National Mining Association*, 1998.
- [28] sine: Minig - facts and figures. Mining and sustainable development. *Industry and environment, UNEP IE*, vol. 20, No.4, October - December 1997, 4-9.
- [29] sine: Livable cities for the 21th century. *World Bank*, Washington, 1996.
- [30] sine: Materials. *A report of the U.S. Interagency working group on industrial ecology, material and energy flows*. Washington, D.C., 1999.
- [31] sine: WMC Ltd Annual Report 1999, *Financial Report*.
- [32] Sine: Our common future. World Commission on Environment and Development. *Oxford Univ. Press*, 1997.
- [33] sine: Biotechnology for the 21st century: new horizons. <http://www.nal.usda.gov/bic/bio21/aqua.html>.
- [34] sine: volcanic islands: hydrothermal systems and oceanic volcanism.
http://www.odp.usyd.edu.au/odp_CD/volcis/viindex.html.
- [35] sine: Russians eye Antarctica's forbidden minerals. *Environment News Service (ENS)* 2001.
<http://www.rense.com/general10/russianseye.htm>.

Summary

In view of mineral resources the problems of further development of human society which is full depending on mineral raw materials and water resources consist in explosive and non-uniform growth of human population, in extreme non-uniform raw material dislocation bringing many countries to a dependence on raw material trade as well as in decisive importance of energy resources, in ever accelerating technological development focused on environmental care, in substantial changes in the necessary raw material spectrum, and in important increase in recycling and wasteless technology. The energy supply is being considered as the most significant, and all countries pay an extraordinary attention to this aspect. However, it is obvious that since seventies of the last century the direct high correlation between the energy consumption and the GDP has expired especially in highly developed countries. The same statement is valid for the iron and cement production. These are principal structural changes accompanied by technology and product miniaturisation as well as shortenings in production cycles.

The predicted crucial shortage of some metals, and namely energetic raw materials, together with an enormous increase of raw material prices has not been confirmed. The expected lifetimes of many metal resources have not changed much during the last fifty years, some of them have been even prolonged. The widely published possibility that the natural hydrocarbon resources will have been exhausted within a short time period will not be so crucial when taking in account the insufficient prospecting of both the already known and the promising basins. The conversion to cleaner technologies, to waste recycling, and to closed material cycles is bringing a principal reversal of raw material balance. The major issue in present discussion is not the raw materials availability, but their more qualified utilisation.

Besides conventional mineral resources the major target of the present research is represented by non-traditional raw material types and resources. The attention is focused on oceanic raw materials, especially metal bearing concretions, recent accumulations of rich sulphide ores in middle-oceanic rift zones and basins in insular arcs as well as on the accumulations of methane hydrates in permafrost and in marginal parts of oceans. The estimation of the methane contents bound in hydrates exceeds the estimation of the conventional gas resources by two orders. Apparently, of an even higher importance can be the research of biotechnological potential of sea organisms, mainly extremophiles being able to play an important role in production of industrial chemicals and medicines. To unconventional mineral resources can be assigned also accumulations located on antarctic continent. The feasibility that their practical application could come to life within several future decades is of a very low probability.

The mineral resources complex is adapting itself very quickly to all above-shown trends and to technological changes leading to a new structure of raw material demand. Geological science reacts in the same way. The development in forecasting techniques and in geotectonic and metallogenic concepts leads to a new global methodology of how to search for and how to evaluate resources as well as to reliable forecasts including spatial and time distributions. During the last decades, models applied for the development of earth crust-mantle and the concepts applied for detection of origin and spatial localisation of deposit concentrations have been reformed substantially. This has led to discoveries of a high number of new deposit areas and of new type deposits.

The main aims of the mineral resources complex are to elaborate a cheap and effective prospecting process based on advanced technologies as well as to develop assumption procedures for large and high quality deposits with minimum negative impacts on environment.

Recenzenti: Prof. Ing. Vítězslav Zamarský, CSc., VŠB-TU Ostrava,
Prof. Ing. Pavol Rybár, CSc., Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií TU Košice.