

Antonín PAŘÍZEK*

**METODIKA PRŮZKUMU HLUBOKOMOŘSKÝCH SUROVINOVÝCH ZDROJŮ
A ÚČAST ČR V TĚCHTO AKTIVITÁCH
(aktuální stav a perspektivy do budoucnosti)**

EXPLORATION OF DEEP SEABED MINERAL RESOURCES AND CZECH REPUBLIC
PARTICIPATION IN THE ACTIVITIES
(up-to-date situation including future prospects)

Abstrakt

Polymetalické konkrece, kobaltonosné manganové kůry, polymetalické masivní sulfidy a kovonosné jíly jsou hlavními typy hlubokomořských rudních zdrojů. Význam prospekce oceánských ložisek těchto surovin, představujících potenciální zdroj řady kovů, jejichž pevninská ložiska v nejbližší budoucnosti mají omezenou životnost, byl již v praxi potvrzen. Rozšiřující se geologický průzkum a výzkum oceánského dna znamená počátek kvalitativně nové etapy v procesu získávání nerostných surovin – zejména novými metodami, technikami a komplexními technologiemi a vysoce efektivním průzkumem. Pokračování probíhajících prací na ložisku polymetalických konkrecí v zóně Clarion–Clipperton (CCZ) je považováno za vážný úkol do roku 2020, se zřetelem na pokrok ve vytvoření účinné těžební jednotky, aplikaci moderních zpracovatelských technologií pro extrakci hlavních kovů – manganu, niklu, kobaltu a mědi a začlenění doprovodných složek Mo, Zn, Ti a prvků vzácných zemin do využitelných kovů. Na počátku 21. století je zřejmé, že oceány jsou nezměrným zdrojem netradičních surovin. Předpokladem racionálního využívání oceánských zdrojů je ochrana přírodního oceánského prostředí.

Abstract

The polymetallic nodules, cobalt-rich manganese crust, polymetallic massive sulphides and metalliferous clays are the major types of deep-sea ore resources. The importance of prospecting for oceanic deposits of these raw materials, representing a potential source of numerous metals that are in short supply at the nearest future on the land-based deposits, has already been demonstrated in practice. Expanding geological survey and investigation to the deep ocean floor has meant onset of a qualitatively new stage in the process of mineral resource extraction – especially by new methods, techniques, and technologies of complex and highly efficient exploration. Continuation of the on-going work on management of polymetallic nodule deposits within Clarion-Clipperton Zone (CCZ) is regarded as a serious task to be undertaken over a period until the year 2020, with a due consideration to advance in designing of efficient mining unit, application of modern processing technologies for extraction of major metals - manganese, nickel, cobalt and copper, incorporation of Mo, Zn, Ti and REE into the array of extractable metals including utilization of nodules. On the threshold of the 21st century it is evident that oceans are an immeasurable source of nontraditional raw materials. A prerequisite of a rational management of oceanic resources is the preservation of natural oceanic environment.

Key words: Deep Seabed Mineral Resources, Polymetallic Nodules, Cobalt-rich Ferromanganese Crust, Massive Sulphides, Pacific Ocean, Clarion-Clipperton Zone, Ocean Environment.

* RNDr., Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky

Úvod

Dynamický rozvoj světové populace a nebývalý rozvoj průmyslu a tím i spotřeba nerostných surovin akceleruje zájem o využívání přírodních zdrojů na dně světových oceánů. Podle demografických studií dosáhne v r. 2050 světová populace kolem 10 miliard obyvatel, přičemž nerovnoměrná distribuce obyvatelstva a přírodních zdrojů na zemském povrchu bude mít vliv na sociálně-ekonomické faktory v globálním měřítku. Mezi faktory, které nejvíce ovlivní dnešní „status quo“, lze zařadit rozvoj nových technologií v zemědělství, exploataci nerostných zdrojů v netradičních a těžko přístupných lokalitách, rozvoj průmyslové infrastruktury, mezinárodní obchod a s ním korespondující hlavně námořní dopravu. V současnosti námořní transport surovin (nafta, uhlí, bauxit, fosfority a železné rudy) z místa jejich původu do míst se zpracovatelským průmyslem pokrývá ročně přepravu komodit s tonáží 2.5 bilionů tun na vzdálenost v průměru 5 000-5 500 námořních mil.

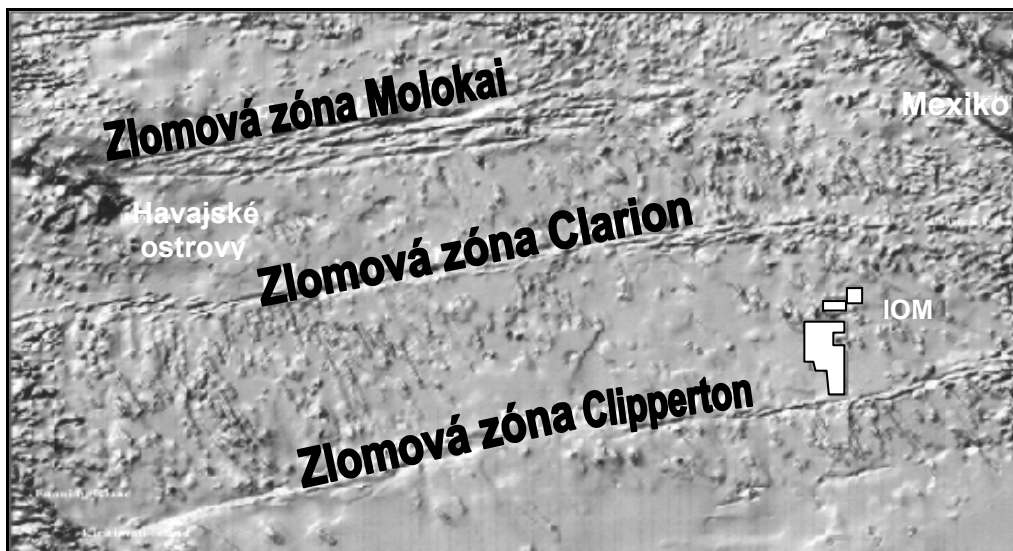
Světové oceány pokrývají přibližně 70% povrchu naší planety a jejich průměrná hloubka vykazuje 3800 m, přičemž většina z této plochy leží mimo jurisdikci jednotlivých států (t.zn. mimo exkluzivní ekonomickou oblast) a náleží dle mezinárodně-právní Konvence do oblasti „otevřených moří“ (Gladkowski, 1998), kterou do dnešního dne podepsalo již 134 zemí, včetně České republiky. Touto ratifikací se stala členským státem *International Seabed Authority (ISA)*, jež je součástí OSN jako autonomní mezinárodní organizace, která byla založena v r. 1982. Z tohoto pohledu je „otevřené moře“ („*high sea*“) označováno v mezinárodní odborné terminologii jako „Oblast“ (*Area*) a je limitováno hranicí 200 námořních mil od pobřeží, s výjimkou pro zonu kontinentálního šelfu, kde hranice nesmí překročit vzdálenost 350 mil nebo může být rozšířena o 100 milové pásmo s maximální hloubkou 2 500 m. Geologický průzkum hlubokomořských minerálních zdrojů v Oblasti situovaných jak na povrchu tak pod povrchem mořského dna je pod administrativním dozorem *ISA*.

V druhé polovině 20. století dochází k nebývalému zájmu o surovinové zdroje situované jak v oblasti kontinentálního šelfu, tak v oblasti otevřeného moře. Rozšířením geologicko-průzkumné činnosti do hlubinných oblastí oceánského dna dochází ke kvalitativním změnám současné fáze osvojování minerálních zdrojů. Tato etapa je počátkem aplikace nových metod a technologie v průzkumných aktivitách, které jsou charakterizovány vysokou efektivností a komplexností spojenou s monitoringem ekologických parametrů v zájmových oblastech. Obecná hodnota vytěžených surovin z dna světových moří se v r. 1970 pohybovala okolo 200 mld. USD, v 80. letech vzrostla trojnásobně a má stále vzestupný trend.

Jednou z největších akumulací suroviny na dně světového oceánu a tudíž i největšího zájmu mnoha zemí z ekonomického hlediska (Amann, 1992; Kotlinski, 1995) je ložisko polymetalických koncentrací obrovského rozsahu, situované v subekvatoriální části SV Pacifiku mezi tektonickými liniemi globálního řádu – Clarion/Clipperton (Clarion-Clipperton Zone - CCZ), kde jsou situovány území průkopnických investorů a Konsorcií (obr. 1) Podle *Resolution II of the Convention* mají tyto investoři exkluzivní práva provádět průzkumné operace v registrovaných územích v Oblasti. Statut průkopnického investora byl přidělen Francii, Japonsku, Rusku, Indii, Číně, Jižní Koreji a *Interoceanmetal (IOM)*. Členem této mezinárodní organizace je i Česká republika (r. 1993), která se ve světovém měřítku stala prvním vnitrozemským státem podílejícím se na hlubokomořském průzkumu oceánského dna. Tuto činnost provádí již od konce 80. let (v této době ještě jako Československo) v rámci zaregistrovaného (certifikátem OSN) území IOM ve východní části výše zmíněné tektonické zony o konečné rozloze 75 000 km² (Pařízek, Horniš, 2000). Tato aktivita je legislativně podpořena Zákonem o vyhledávání, průzkumu a těžbě nerostných surovin z mořského dna za hranicemi pravomoci států, který byl schválen parlamentem ČR v květnu 2000 (Sbírka zákonů, 49/158).

Kromě zaregistrovaných území průkopnických investorů mají v této části oceánu svá území rovněž potencionální investoři - *Konsorcia* mezi něž patří OMA (*Ocean Mining Association*), OMI (*Ocean Mining Incorporation*) a LMS (*Lockheed Martin System Co. Inc.*) v nichž mají kombinované kapitálové podíly USA, Británie, SRN, Holandsko, Belgie, Norsko, Austrálie and Kanada. Indie má registrované průkopnické území v Indickém oceánu. SRN má svoje území v Peruánském bazénu, ale rozhoduje se v budoucnu jej kompenzovat za území v rámci CCZ. Některé státy vykonávají kromě výše zmíněné suroviny také průzkum na polymetalická sulfidická ložiska a kobaltonosné manganové kůry v jiných částech světového oceánu (Japonsko, Čína, Korea, Rusko, USA) nebo na metalonosná bahna a jíly (SRN, Rudé moře) a radioaktivní bahna (Rusko, Černé moře).

Důležitost nerostných zdrojů na dně světových oceánů podtrhuje fakt globalizačních trendů a neustálého rozvoje světového průmyslu jak v tradičních tak i v netradičních či nově vznikajících průmyslových odvětvích s využíváním nových technologií. Organizace Spojených Národů vyhlásila r. 1998 za mezinárodní rok moří a oceánů pod heslem „Oceány – dědictví lidstva“ (Kotlinski, 2001). Z toho vyplývá, že světové oceány jsou nezměrným zdrojem množství strategických surovin, které zejména v začínajícím 21. století budou stále méně pokrývány z kontinentálních výskytů. Proto blízká budoucnost prokáže, že využívání zdrojů z mořského dna bude klíčem k dalšímu pokroku světového společenství.



Obr. 1: Území IOM v zóně Clarion/Clipperton

Ekonomické akumulace nerostných surovin moří a oceánů mohou být rozděleny s hlediska jejich pozice, geneze a složení následně:

- a) **mořská vodní masa** jako obecný zdroj substancí z ní získaných – t.zn. halit, KCl a případně kovového draslíku, MgO, uranu, bromidů a solí 26 dalších prvků; v nemalé míře je i zdrojem pitné vody a vody pro průmyslové využití a je rovněž hlavním zdrojem atmosférických srážek;
- b) **povrchové** – situované na mořském dně vznikající za přispění přínosu resistantních minerálů z kontinentů nebo z rozpuštěných komponent mořské vody, případně jako výsledek hydrotermální a vulkanické aktivity; takto jsou formována ložiska (nezpevněná a zpevněná), která mohou být dále rozdělena na rudní s příslušností k jednotlivým metalogenetickým provinciím a subprovinciím světového oceánu (Andreyev et al., 1998; Kotlinski, 1999) a nerudní. S hlediska pozice můžeme vydělit oblasti :
 - příbřežní a šelfové – především rozsypy těžkých minerálů, ložiska diamantu, barytu, fosforitu, glaukonitu, kamenné soli a draselno-hořečnatých solí, průmyslové materiály, písky a štěrky, aragonit, saliny a akumulace jantaru a korálu
 - hlubokomořská – polymetalické konkrce, , kobaltonosné Fe/Mn kury, masivní sulfidické rudy, metalonosná a radioaktivní bahna
- c) **podpovrchové** – obvykle situována mělce pod povrchem mořského dna, především zdroje energetických surovin – ropa, zemní plyn a uhlí (v oblasti kontinentálního šelfu), horizonty pitné vody (příbřežní zóna), solné pně, fosfority, hydrotermální žíly, a stratiformní či masivní ložiska sulfidů v oblasti oceánských bazénů (Cruickshank, 1996).

Metodika hlubokomořského průzkumu

Metodika a použití široké škály průzkumných přístrojů a vybavení palubních laboratoří na výzkumných plavidlech závisí především na pozici suroviny (příbřežní oblast, otevřená moře), jejím typu a situaci. Obecně lze prospekční metody rozdělit na **nepřímé** (geofyzikální a geochemické) a **přímé** (vzorkování, vrtání a vizuální). Vizuální pozorování prostřednictvím potápěčů jsou však využívána sporadicky, pouze pro prospekci rozsypů, písků, štěrku a diamantonosných konglomerátů v mělkých vodách.

Pro výzkum světového oceánu se v poslední době v neustále širším měřítku rovněž využívá **telemetrických metod** prostřednictvím satelitů. Tato činnost je prováděna v rámci programu NASA od druhé poloviny 60. let a jsou především určeny pro fotografické snímkování naší planety systémem „Landsat“ s digitálním přenosem, což umožňuje rychlé a mnohostranné použití při počítačovém zpracování dat. Výsledky satelitního pozorování usnadňují registraci podmořské vulkanické činnosti, dokumentují abrazi mořského pobřeží, znečišťování mořského prostředí a začínají být nezbytné pro vyhledávání podmořských surovinových zdrojů.

V neposlední řadě se satelitů využívá k přesnému situování stanic pro vzorkování a sítí profilů (*transect grids*), a rovněž k předpovědi počasí a včasnému varování před blížícími se bouřemi a hurikány do oblastí průzkumných prací.

Základní význam pro studium a poznání stavby dna mají **metody geofyzikální**, především **seismo-akustické mapování**. V regionálním průzkumu se hlavně využívá metody odrazu za účelem získání informací o plošném výskytu skalních výchozů a oblastí oceánských bazénů s nezaplněným sedimentárním pokryvem, rozlišení forem naftonosných a plynonosných struktur. V přímé závislosti na frekvenci vybuze seismické vlny je hloubka penetrace a tím i rozlišovací schopnost metody. Z tohoto důvodu se používá t. zv. vícekanalových systémů, od 120 do 1000 a více kanálů. V průběhu těchto prací, s ohledem na ochranu přírodního mořského prostředí jsou aplikované neexplozivní zdroje seismických vln, nejčastěji pneumatické (*air-gun system*). Registrace odražených vln probíhá kontinuálně při pomalém pohybu plavidla v pravidelné síti předem vyznačených profilů a je okamžitě vyhodnocována v palubním centru.

Za účelem stanovení vertikálního profilu sedimentárního pokryvu oceánského dna je využívána další metoda - **akustické profilování**. Vyznačuje se širokým rozsahem užívaných frekvencí a poměrně malou hloubkou penetrace, maximálně několik set metrů a zároveň vysokou rozlišovací schopností při vydělení nehomogenních vrstev dna – do několika desítek centimetrů. Jako konkrétní příklad lze uvést výsledky těchto prací v pionýrském území IOM, které ukázaly, že celková mocnost sedimentárního pokryvu se zde pohybuje od 80 do 200 m, přičemž na vrcholech podmořských elevací se mocnost snižuje na 20 - 30m.

Další často používanou prospekční metodou je mapování **sonarem širokého bočního rozsahu** (*side-scan sonar survey*), která poskytuje doplňkové informace pro geomorfologickou a litologickou analýzu. V závislosti od hodnoty úhlu emitovaných akustických signálů se registruje charakter tvarů a forem na povrchu oceánského dna v pruhu o nastavitelné šířce od 2 x 250 m do 2 x 1000 m.

Magnetometrií se zkoumají změny anomálií magnetického zemského pole. K měřením jsou využívány protonové magnetometry vlečené plavidly. Cílem těchto metod je studium strukturně-tektonické různorodosti oceánského dna a stanovení rozsahu podložních hornin vůči sedimentárnímu pokryvu s přibližným určením jejich mocnosti. Magnetometrie je rovněž aplikována při prospekci titano-magnetitových rozsypů. Bylo prokázáno, že hydrotermální aktivita narušuje magnetické pole na středoocéánských hřbetech. Podrobná studia ukázala, že tyto anomálie výrazného pásemného charakteru je možno sledovat i na okrajích abysálních pánví a potvrzují hypotézu rozšiřování (*spreading*) oceánského dna. Zdrojem anomálií jsou tholeiitické bazalty situované na svazích hřbetů a intruze serpentinizovaných peridotitů v spodních částech oceánské kůry.

Elektromagnetické a radiometrické metody jsou převážně používány v oblastech šelfů. Na oceánských hřbetech se uplatňují při mapování a lokalizaci masivních polymetalických rud.

Geofyzikální metody jsou prováděny většinou komplexně, což umožňuje snižování nákladů pro jejich realizaci a prostřednictvím počítačového zpracování dat usnadňuje geologickou interpretaci takto získaných informací a tím zvyšuje efektivnost těchto vysoce ekonomicky náročných operací. Značný postup při zpracování výsledků geofyzikálního průzkumu je přesná lokalizace těchto prací díky využití současných integrovaných globálních satelitních navigačních systémů (*GPS – Global Position System*) v kombinaci s navigací pomocí majáků (*transponders*) rozmístěných na dně v operačním prostoru na kotvách dálkově ovládaných z paluby lodi. Moderní výzkumná plavidla jsou navíc vybavena autopiloty a systémy dynamické kontroly pozice (eliminují se účinky větru a povrchových proudů – *vessel drifting*), což efektivně zajišťuje jednak precizní lokalizaci lodí a aparátů nad dnem a vedení plavidla na profilech ale rovněž v zadaném místě při odběrech vzorků z mořského dna.

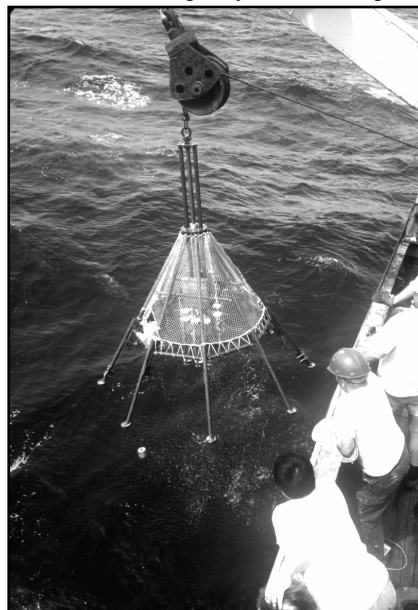
V poslední době mají stále širší využití integrované **multifrekvenční echosondy** typu „*Multi-Beam*“ (mimo jiné SB-2112, MB-Hydrosweep, EM 120, norské, americké či britské produkce) umožňující v automatickém systému konstrukci precizních batymetrických map a z nich odvozených map sklonu dna (1-3°, 4-6°, 6-10° a více), které jsou nezbytné pro přesnou rajonizaci rudních polí za účelem výpočtu zásob a vymezení ochranných pilířů pro budoucí těžbu, zejména v případě plošných akumulací polymetalických koncentrací.

Geochemické metody mohou být využívány při hlubokomořských operacích ve velmi omezené míře při měření „*in situ*“ na mořském dně. Geochemické metody jsou v širokém měřítku především aplikovány při studiu odebraných geologických vzorků v palubních a stacionárních laboratořích při zachování unifikace použitých metod a mezinárodních standardů z důvodů porovnávání výsledků.

Velice široké uplatnění pro studium geochemického pozadí v různých hloubkových horizontech oceánské vodní masy našla speciální hydrosonda *CTD (Conductivity-Temperature-Density)* mimo jiné typu „*Neil Brown Instrumental System*“, „*Sea-Bird*“ a další. Hydrosondy bývají vybaveny akustickým majákem (*pinger*) stabilizovaným na závěsném laně, který registruje vzdálenost aparátu od dna. Sondy snímají teplotu mořské vody, salinitu (odvozenou z el. vodivosti), hustotu a úroveň rozpuštěného kyslíku do hloubek více než 5000 m.

Nejrozšířenější **přímou metodou** je **vzorkování** hornin, nerostů a minerálů mořského dna s celou škálou speciálního přístrojového vybavení – jako jsou samovolně padající vzorkovnice (*free fall grabs*) a gravitační

trubky (*gravity corers*) zapouštěné do nezpevněných sedimentů s možností odběru 1–10 m vertikálního profilu dna. Těžší vzorkovací mechanismy se spouštějí na ocelových lanech. Mezi ně patří *multicorer* (sada 8 průzračných válců o průměru 10-12 cm a délce 1m s přítlačným zařízením, pro odběry nejsvrchnější části sedimentárního pokryvu a části přídonní vody za účelem studia meiobentické fauny v rámci ekologického



monitoringu a pro biologické nebo geochemické výzkumy, *maxicorer* (obr.2), tj. sada 3-4 válců o průměru 30-50 cm a délce 2 m pro odběry minimálně porušeného materiálu za účelem geotechnických zkoušek a vyhodnocení fyzikálně-mechanických parametrů hornin, jejichž výsledky budou zohledněny při vývoji těžebních komplexů, *piston corer* pro vzorkování sedimentů do hloubky až 12 m pro geologická studia a *boxcorer* (plocha odběru 0.25-0.50 m²) pro odběry svrchní části sedimentů dna a polymetalických kongrecí pro studia petrologická, mineralogicko-geochemická a také speciální inženýrsko-geologická měření pomocí spec. přístrojů (na př. síla odtrhu kongrecí z povrchu sedimentu, penetrační a stříhové zkoušky, granulometrii atd.). Velkokapacitní odběry kongrecí se provádí speciálními odběrnými systémy ukotvenými na ocelovém laně (*dredging systems*) a vlečenými po dně s kapacitou odběru 800-1000 kg za účelem technologických a metalurgických zkoušek suroviny.

Obr.2: Multicorer Barnett FRG pro odběr vzorků hornin z mořského dna (foto A. Pařízek)

V rámci komplexních výzkumů jsou rovněž využívány „lapače“ sedimentárních částic (*sediment traps*) zavěšených na bojích v různých vertikálních úrovních nad dnem (*mooring system*) pro vyhodnocení a statistické zpracování obsahu těžkých kovů ve zvládnutých sedimentárních částicích v rámci ekologických výzkumů a přístroje pro měření fyzikálně-chemických vlastností mořské vody - průzračnoměry (*transmissiometers*) a parametry mořských proudů (Couper, 1989) jsou dlouhodobě registrovány proudoměry (*current meters*).

Vizuální metody mají široké uplatnění v hlubokomořském průzkumu při kontinuálním TV záznamu a fotografickém snímání dna vlečenými komplexy CDC (*Continuous Deepsea Camera Survey*) v síti profilů ve vzdálenosti 1.5-10 m nad povrchem dna (rozsah snímané plochy 3-25 m²) za účelem dokumentace plošného rozmístění polymetalických kongrecí a následného procentuálního ocenění rudonosti území. Zdrojem energie jsou vestavěné velkokapacitní baterie nebo je energie zajišťována prostřednictvím speciálního elektrického, případně optického kabelu (*armored cables*) z paluby plavidla. Filmový materiál ve starších typech kamer bývá uložen ve 2 zásobnících s možností více než 7000 negativů v rámci jedné operace s intervalem mezi 10-20 sec/1 snímek, při rychlosti plavidla maximálně 1.5 uzlu (cca 3 km/hod.), do hloubek až 6000 m. V současnosti se stále více využívají digitální kamery s přímým přenosem dat přes optický kabel do počítačového palubního centra, kde se data synchronně vyhodnocují a procentuální pokrytí dna se ihned vynáší do map. Operační čas není v tomto případě limitován a tím, že se eliminují prostoje při často opakovaném spuštění (*deployment*) a zvedání (*recovery*) TV-komplexu se značně zefektivnily i náklady. Fotodokumentace se dále uplatňuje při studiu t.zv. „černých komínů“ („*black smokers*“) v riftových údolích, při prospekci fosforitů, distribuci těžkých minerálů, při sledování erozních vlivů vlnění a turbiditních proudů, a v současnosti při dokumentaci a vlivu antropogenní činnosti na mořské dno (*BIE -Bentic Impact Experiment*). Fotokamerami jsou rovněž vybaveny vzorkovací aparáty pro odběr dokumentačního materiálu na geologických stanicích.

Hlubinné vrty jsou prováděny za účelem stratigrafických studií sedimentů mořského dna a vyhledávání nerostných surovin. Prvním z velkých projektů, započatých již v polovině 50. let byl vědecký výzkumný program *MOHOLE*, několikrát aktualizovaný, jehož cílem mělo být dosažení nejsvrchnější části Mohorovičičovy hranice diskontinuity, která vystupuje pod oceánským dnem v hloubkách 5-12 km. Tohoto cíle však dosaženo nebylo. Největší význam pro geologii oceánů měla realizace programu *DSDP (Deep Sea Drilling Project)* v letech 1968-1975 a jeho pokračování v rámci programu *IPOD (International Programme of Ocean Drilling)* v letech 1975-1983 z palub lodí „Glomar Challenger“ a „Glomar Explorer“. Maximální hloubka vrtů se pohybovala okolo 1740 m a celková délka vrtných jader překročila 90 km. Jeden z vrtů byl situován v přímém sousedství zaregistrovaného území IOM. Publikované výsledky jsou unikátním faktografickým materiálem.

Nejstaršími horninami dna Tichého oceánu jsou jurské sedimenty (157 mln. let), avšak největší plošné rozšíření mají sedimenty křídového stáří (144-66 mln let). Předpokládá se, že před 65 mln. let nastala výrazná změna podmínek sedimentace včetně cirkulace oceánských vod a biologické produktivity, na druhé straně před

38 mln. let vzrostla teplota oceánských vod a jejich chemické složení se stabilizovalo v rozmezí posledních 10-5 mln. let (Gramberg, 1989).

S rozvojem průzkumu mořských nerostných zdrojů, a z povinnosti průkopnických investorů a potencionálních žadatelů (konsorcia) před ISBA vykonávat souběžně **ekologický výzkum** bylo od konce 70. let uskutečněno několik studií a programů týkající se bezprostředního dopadu předpokládané těžby polymetalických konkréci na hlubokomořské prostředí. Mezi ně patří *DOMES* (USA), *DISCOL* (Germany) a mezinárodní program *BIE* (USA, Russia, Japan, IOM, India). Program *DOMES*, financován a realizován *NOAA* (*National Ocean and Atmosphere Association*, USA) byl prováděn v letech 1975-80 v rajonech potencionálních investorů - konsorcií *OMI* a *OMA* v oblasti *CCZ* jako poloprovozní zkouška (*polymetallic nodules pilot mining test*) s kombinovanou mechanickou a pneumaticko-hydraulickou technologií velkokapacitního odběru konkréci na speciálně modifikovaném plavidle.

Program *DISCOL* zahrnoval pětileté období (1988-1993) v pionýrském rajonu Spolkové republiky Německo v Peruánském bazéně (Thiel, 1997; Schriever et al., 1997; Thiel et al., 1991; 1997). V průběhu pěti let probíhal i mezinárodní program *BIE* (*Benthic Impact Experiment*, 1994-1999) v zaregistrovaných územích shora jmenovaných průkopnických investorů (byl opět sponzorován *NOAA*) v oblasti *CCZ* s prioritním studiem a stanovením ukazatelů ekologického pozadí a posouzení zranitelnosti hlubokomořského prostředí. Cílem *IOM/BIE* bylo imitovat dopad těžební aktivity na hlubokomořské prostředí použitím speciálního zařízení *DSSRS-2* (*Disturber*) za tím účelem vyvinutým firmou *SOSI* (*Sound Ocean System Incorporation*, USA) - následným rozrušením nejsvrchnější části sedimentárního pokryvu včetně monitoringu pohybu částic sedimentu (zvířeného oblaku) a jejich transportu vlivem proudů ve vertikálním i horizontálním směru a opětné sedimentace a také rekolonizace benthické fauny v postižené oblasti v daném časovém horizontu (Barnett, Yamauchi, 1995; Tkatchenko et al., 1996; Radziejewska, 1997; Trueblood, Ozturgut, 1997; Pařízek, Modlitba, 1998). Během experimentu bylo do hlubokomořského prostředí vyvrženo 1300 m³ sedimentu na 13 přibližně paralelních trajektoriích o celkové délce 30 km. Výsledky experimentu ukázaly přechodné změny v prostředí avšak po vyhodnocení výsledků monitoringu je možné předpokládat, že odpovědným přístupem k budoucí těžbě s využitím moderních technologií nedojde k nenapravitelnému poškození ekosystému světového oceánu.

Faktory, ovlivňující zranitelnost hlubokomořského prostředí v postižených oblastech jako celku budoucí těžbou a zároveň jeho opětnou konsolidací jsou následující:

- lokální změny reliéfu oceánského dna zapříčiněné těžebními komplexy (vibrace a lokální otřesy) mohou ovlivnit fyzikální a mechanické vlastnosti nejsvrchnější polotekuté vrstvy sedimentárního pokryvu;
- výsledkem transportu narušeného sedimentu hlubokomořskými proudy bude dočasná degradace sedimentárního pokryvu (avšak maximálně v rozsahu mocnosti několika desítek centimetrů povrchové vrstvy);
- rozrušení meiofauny (její životní prostor je striktně vymezen uvnitř nejsvrchnější části sedimentárního pokryvu a nejspodnější částí oceánského vodního sloupce) a částečné narušení makrobentosu;
- opětné ukládání suspendovaných částic - resedimentace rozrušeného sedimentu (až 90% sedimentu velmi rychle díky koagulačnímu efektu padá ke dnu; rekolonizace původní fauny (v krátkém časovém horizontu, okolo 3-5 let), případně objevy nových druhů (týká se hlavně meiofauny).

Hlubokomořské nerostné zdroje (povrchové)

Předmětem největšího zájmu hlubokomořského průzkumu druhé poloviny XX. století se staly polymetalické konkrerce (dříve manganové konkrerce) s vysokými obsahy manganu, mědi, niklu a kobaltu jako potencionální surovinový zdroj a možná alternativa za postupně se zmenšující zásoby na suchozemských rudních ložiskách, dále pak kobaltonosné manganové kůry, masivní polymetalické sulfidy a metalonosná hlubokomořská bahna. Palivo-energetické nerostné zdroje přesahují rámec i poslání tohoto příspěvku a proto nebudou diskutovány,

Nejvýznamější oblastí z tohoto pohledu je největší světové ložisko polymetalických konkréci v subtropické části severního Pacifiku, situované uvnitř tektonické zony *Clarion/Clipperton* (*CCZ*) zahrnující plochu okolo 9 milionů km², pokrytou 34 biliony tun konkréci. Odhadované množství zásob jednotlivých kovů v této surovině obsažených je následující (v milionech tun): Mn – 7500, Ni – 340, Cu – 265, Co – 78 (Morgan in Cronan, 2000). Další významné lokality se zásobami této suroviny jsou rudní pole Peruánského bazénu v jižním Pacifiku a pole Menard patřící JZ pacifickému bazénu, dále pak rudní pole v centralní části Indického oceánu, situované mezi Indian Ridge a Ninety East Ridge a některá další rudní pole (Wake, Fidži atd.).

Dle klasifikace Kotlinského (1999) náleží rudní pole *CCZ* k severovýchodnímu regionu Tichého oceánu a obecně náleží do Pacifické metalogenetické provincie. Povrch mořského dna ve zkoumané oblasti je částečně

mírně zvlněná a zčásti náhorní abyssální planina s rozeklaným akumulacním reliéfem s význačnou amplitudou (50-400 m), a elevacemi s převýšením do 800 m. Přečodní zona mezi těmito morfologickými fenomény je budována mělkými paralelními údolími a řetězy nevysokých hřbetů generelně severojižního směru. Obecně vzato, oblast je postižena komplexem procesů s převládající hydrodynamickou akumulací a nepřímé denudační procesy jsou spojeny především se svahovými subkvatickými skluzy, turbidními bahenními proudy a s dalšími exogenně-endogenními faktory, jako jsou lokální otřesy oceánské kůry, vulkanická činnost atd. Největší část území (s výjimkou podmořských elevací) se nachází v hloubkách mezi 3900 - 4400 m.

Odhadovaný věk bazaltů tvořících podloží dna v CCZ a který je obecný i pro severní oblast Pacifiku je Oligocen/Miocen. Absolutní stáří bylo určeno z fragmentů bazaltů získaných při vzorkování na geologických stanicích a bylo určeno K/Ar metodou v rozsahu mezi 23-29 miliony roky. Svrchní část sedimentárního pokryvu je tvořena kvartérními sedimenty, s převahou pelagických uloženin smíšeného typu, slabě zpevněných křemičitých jílu, méně pak karbonátových jílu pleistocenně-holocenního stáří. V jejich nadloží se nacházejí silně zvodnělá recentní bahna (150-300% H₂O), obohacena biodetritem, reliktů vulkanického skla (obsidián) a mikrokonkretemi.

Kompaktní karbonáty miocenně-pliocenního stáří se na dně vyskytují velmi sporadicky a jsou především popisovány v jádrech vrtů. Lokální výskyty karbonátových sedimentů jsou závislé na pozici *CCD* (*Calcareous Compensation Depth*) a jejich sporadické výchozy bývají vázány na strmé svahy podmořských elevací. Skutečnost, že hladina rovnováhy karbonátů (*lysocline*) zhruba kopíruje hloubku vysrážení kalcitu z mořské vody dává možnost sledovat změny v saturaci v oceánských hloubkách a fluktuaci pozice *CCD* během dlouhodobých časových období (Seibold, Berger, 1993). Ve zkoumané oblasti je hladina *CCD* limitována hloubkou mezi 4 000-4 400 m, což potvrzují lokální výskyty vápnatých sedimentů.

Ložiska polymetalických konkrací jsou tvořeny akumulacemi této svým složením unikátní suroviny na oceánském dně, jež nemá ekvivalent na kontinentech. Jsou to polyminerální agregáty tvořené anorganickou minerální fází železo-manganových oxidů, jílových minerálů, opálu, goethitu, a barytu a v jejich chemickém složení bylo stanoveno více než 50 prvků. Jádra konkrací jsou obvykle budována malými fragmenty vulkanických hornin, mikrokonkrací, agregátů sedimentů, stejně jako fragmenty organického původu (na př. žraločímí zuby, kůstkami sluchového aparátu velryb, jehlicemi ježovek a hub atd.). Růst konkrací je velmi pozvolný a přírůstek na povrchu se pohybuje mezi 5-20 mm za milion let.

Všeobecně lze konstatovat, že polymetalické konkrace jsou formovány biogenicko-hydrogenními a diagenetickými procesy v hraniční interfázi sediment-voda. Vysrážení Mn/Fe oxidů kolem jádra za spoluúčasti mikroorganismů (Glasby, 1997), je vyvoláno specifickými environmentálními faktory. Velké úsilí specialistů během průzkumných aktivit k dnešnímu dni značně rozšířily znalosti o této potenciální hlubokomořské surovině a poskytly mnoho nových pohledů na geochemické aspekty, mineralogické složení, genetickou charakteristiku, původ vzniku a distribuci (Menard, 1976; Calvert 1976; Frazer, Fisk, 1981; Halbach et al., 1982, 1988; Piper, 1984; Stacklberg, Biersdorf, 1991; Sharma 1993; Pattan et al., 1994; Andreev, 1994; Kunzendorf, Glasby, 1994, 1995; Usui, Isaza, 1995; Cronan, 1997, 2000; Glasby 1988; Kotlinski, 1996,1998;).

Regionální a lokální podmínky určující tvorbu, a distribuci konkrací na mořském dně mají přímou vazbu na následující faktory:

- přínos materiálu a kovů prostřednictvím říčního a vzdušného transportu z kontinentů (v závislosti na vnitřních vztazích mezi typy a množstvím komponent authigenního materiálu, kovů a cizorodých částic dodávaných do místa tvorby ložiska);
- hydrotermální a vulkanická činnost;
- vzdálenost od hydrotermálních center a aktivního magmatismu;
- fyzikálně-chemické podmínky oceánské vody u dna a porových vod sedimentů (termodynamické faktory, obsah CO₂ a O₂, hodnoty pH a Eh);
- meobiologická aktivita;
- hloubka výskytu v závislosti na struktuře a dynamice oceánů, t.j. pozice vůči *CCD* a *SCD* (*Silica Compensation Depth*);
- vzdálenost od pobřeží (Mn/Fe poměr je relativně vyšší v pelagických konkracích);
- směr proudění a cirkulace hlubokomořských proudů, topografie dna a diagenetické procesy.

Kovový plášť kolem jádra konkrací má zřetelnou makroskopickou strukturu – koncentricko-vrstevnatou, radiálně-dendritickou, masivní nebo kombinovanou. Uvnitř pláště jsou markantní dvě zony – dendritická, která je výsledkem diagenetické mobilizace kovových prvků ze sedimentu a druhá – koncentrická, která je tvořena vysrážením hydroxidů z mořské vody. Mikrostruktura jednotlivých vrstev je masivní, dendritická, globulární, skvrnitá nebo je opět kombinovaná. V plášti jsou patrné radiální a koncentrické trhliny, kolem nichž dochází k rozpadu objektů, který je výsledkem vnitřního pnutí spojeného s dehydratací a rekrystalizací během růstu konkrací, což má za následek, že bývají vyplněny jílovými minerály a Mn/Fe hydroxidy (Baturin, 1986).

Mineralogické složení a chemický obsah jsou závislé na působení shora uvedených faktorů a místě výskytu. V jednotlivých koncentrických vrstvách kolem jádra mají převahu Mn/Fe oxidy s následujícími důležitými minerály: todorokit ($Mn^{+2}, Ca, Mg, Mn_3^{+4}O_7 \cdot H_2O$, birnesit $Na_4Mn_{14}O_{27} \cdot 9H_2O$ a vernadit (δMnO_2) (Mn^{+4}, Fe^{+3}, Ca, Na)(O,OH) $_2 \cdot nH_2O$ a Fe minerály jsou hlavně zastoupeny ferrihydritem a goetitem. Mezi akcesoriemi jsou nejčastější – authigenní sulfidy, sloučeniny biogenního původu (křemičitany, karbonáty, fosfáty), klastické terigenní materiály (křemen, živec, jílové minerály atd.), zeolity (diagenetického původu) a plynná fáze. Všeobecně lze konstatovat, že konkrce s převahou todorokitu jsou bohatší na obsahy Mn, Ni, Cu, a Zn a s převahou vernaditu mají naopak vyšší obsahy Fe, Co, Pb.

Dle nové klasifikace Kotlinski (1996, 1999) se vydělují a popisují následující genetické typy (tab. 1):

- hydrogenické „H“, při jehož formování dominují hydrogenické procesy, zatímco oceánská voda v blízkosti dna je zdrojem kovů;
- diagenetický „D“, kde konkrce jsou formovány převážně hydro-diagenetickými procesy, v tomto případě jsou zdrojem kovů porové vody nejsvrchnější části sedimentárního pokryvu;
- hydrogenicko-diagenetické „HD“ (přechodný typ mezi oběma popsány).

Genetické typy se liší mezi sebou morfologickými vlastnostmi ale jinak tato klasifikace koresponduje s geochemickou, přestože dodnes není definitivně určen zdroj přínosu ve vazbě na mineralogicko-chemického složení. Okysličené prostředí ve kterém vystupují konkrce v CCZ se vyznačuje hodnotami pH 7.24-7.61, a hodnoty Eh se pohybují od +343 do +417. Hlavními prvky budující konkrce jsou hydroxidy a oxidy železa a manganu, ke kterým se přidružují hlavně Cu, Co, Ni. Genotyp „H“ obsahuje nejvíce vernaditu a goetitu, s pozicí výskytu nad CCD, převážně se sféroidální morfologií, s velikostí mezi 2-4 cm a hladkým povrchem. Geologické prostředí je tvořeno obecně křemičito-vápnitými jíly a pelagickými bahny. S pohledu chemizmu se vyznačují nižším obsahem manganu, niklu a mědi, na druhé straně vyššími obsahy železa a kobaltu, s průměrnou hustotou 1.94 g/m³ a obsahem vlhkosti 31%. Přechodný „HD“ genotyp je převážně tvořen birnesitem, todorokitem, vernaditem a goetitem a genotyp „D“ se obvykle vyskytuje pod CCD a SCD s minerály todorokit-busseritem a vernaditem. Morfologie konkrce je v tomto případě diskoidálního a elipsovovitého tvaru s výraznou laminární strukturou a velikostí kolísající mezi 6-8 cm, občas až 12 cm a více, s drsným a popraskaným povrchem.

Substrát na kterém je tento genotyp exponován je budován křemičitými sedimenty s převahou radiolariových a diatomitových bahen (*ooze*) a polygenními jíly, pozdně miocenního až holocenního stáří, nebo méně častěji rudými pelagickými jíly se slabě zvlněným reliéfem oceánského dna. Tento genotyp vykazuje zřetelnou korelaci mezi výskyty konkrce bohatých na měď a nikl a křemičitými sedimenty. Průměrná hustota je 1.91 g/m³ a vlhkost 33%. Na základě obsahu hlavních kovových prvků a hustoty pokrytí dna (rudonosnost), můžeme zonu Clarion/Clipperton rozdělit na chudší západní část a bohatší východní část (tab. 2).

Geochemická klasifikace (Andreev, 1994) je založena na obsahu a vztazích mezi třemi hlavními neželeznými prvky (Cu, Ni a Co), který je podřízen surovinovému pohledu. V rámci této klasifikace je možné vydělit ve zkoumané oblasti následující typy:

- Ni-Cu (I) typ (Ni+Cu obsah kolísá v rozsahu 1.7 - 2.4%);
- Ni-Cu (II) typ (Ni+Cu obsah kolísá v rozsahu 2.4 – 2.9%);

Polymetalické konkrce by mohly v budoucnu být také zdrojem perspektivní netradiční suroviny – *Rare Earth Elements (REE)* – skupiny prvků vzácných zemin (Pattan, Higgs, 1994). Analytické výsledky 158 vzorků konkrce odebraných v pionýrském území IOM

vykazují evidentní zvýšení obsahu těchto prvků (suma REE: 302-2020 ppm), obzvláště Ce (80-940 ppm), La (100-460 ppm), Nd (80-340 ppm). Obecně možno konstatovat, že podskupina lehkých lanthanidů (*cerium subgroup*) je ve složení majoritní, zatímco podskupina yttria vykazuje nižší hodnoty. Statistická data, korelační vazby a další detaily diskutují (Kotlinski, Pařízek, Rezek, 1997).

Na pozadí regionálně-lokálních podmínek distribuce v potenciaálně těžitelných oblastech byly vyčleněny hlavní ložiskové jednotky - pole, regiony a tělesa. Surovinová pole (*nodule-bearing fields*) jsou rozlehlé homogenní oblasti oceánského dna; hustota pokrytí dna konkrce (rudonosnost) závisí na hloubce výskytu, litologii, reliéfu dna, obsahu hlavních kovových prvků, genetickém typu a morfologické charakteristice (Eziagarov, Zýka, 1990) – tvaru, velikosti a povrchu konkrce (tab.3.). Obvykle se vyskytují uvnitř nebo v blízkém sousedství tektonicky aktivních území přednostně spjatými s určitými morfo-strukturními znaky mořského dna a akumulací konkrce vyšší než 2 kg/m². Střední hodnota Ni-indexu je 4.5 % a kombinovaný kovový obsah (Ni+Cu+Co) nesmí být nižší než 1.5 %.

Regionem (*nodule-bearing region*) rozumíme menší části mořského dna s různorodým reliéfem na němž procentuální četnost pokrytí konkrce dosahuje 30% a hmotnost přesahuje 5 kg/m² přičemž Ni-index dosahuje 5% a kombinovaný kovový obsah 2.5%.

Tabulka 1: Genetické typy polymetalických konkrecí (Kotlinski 1996,1999)

Litofacie	Vápnité hlubokomořské jíly a vápnité jílovité aleurity pod úrovní CCD	Jílovité aleurity (slabě vápnité a slabě křemité) mezi úrovněmi CCD a SCD	Křemité hlubokomořské jíly a hnědé pelagické jíly pod úrovní SCD
Genetický typ	H	HD	D
Průměrná četnost konkrecí: počet konkrecí .m ⁻² kg. m ⁻²	548 8	268 7	72 9
Společný výskyt genetických typů	H+HD	H+HD-HD+D	HD-D
Velikost (cm)	<3.0	3.0 – 6.0	6.0 - 12
Průměrná velikost (cm)	3.4	4.4	6.5
Průměrné procentuální zastoupení ve frakcích:			
>3cm	75	50	5
3-6cm	20	45	60
6-12cm	>5	5	35
Průměrná hmotnost (g) modální frakce	přibližně 20	přibližně 45	přibližně 170
Grafické granulometrické charakteristiky podle Traska (Amman,Ed.,1992):			
Šikmost	2	4	5
třída	1.09	1.15	1.50
Struktura povrchu (Kotlínski, 1996,1998 b)	r/b; r; s/r; s; m	s; m; s/r; r; b	r; s/r; b; r/s; s
Dominantní morfotyp (Kotlínski,1996,1998 b)	Sr/b, SP lpr, les/r Ds,Eds/r	I (D,T)s, IT s/r Ps,Pr Dr, b; Es	Dr, s/r, b, E/Ds/r Itr/s, Isr Br,s, V
Druh jádra	jílovité – zeolitické, řídkěji vulkanoklastické nebo bioklastika	jílovité – zeolitické, bioklastika, řídkěji fragmenty konkrecí	fragmenty starších konkrecí
Praskliny	radiální	nepřavidelné	zřetelně radiální
Laminace:	jemná (<0.5)	střední (0.5 – 1.0)	hrubá (>1.0)
Počet lamin./cm	15 - 75	7 - 15	1 – 7
Převládající mocnost (mm)	<0.4	0.4 – 1.5	>1.5
Textury	radiálně - dendritická	radiálně – dendritická, koncentrická – laminovaná	masivní, radiálně – dendritická, kolomorfní
Hlavní Mn a Fe minerály	vernadit, goethit	birnessit, vernadit, todorokit, goethit	todorokit, birnessit, vernadit, goethit
Prům. obsah hlavních kovů			
Mn %	23,63	27,39	30,50
Fe %	10,09	7,41	5,46
Cu %	0,70	0,97	1,22
Ni %	1,05	1,23	1,27
Co %	0,23	0,20	0,19
Zn %	0,085	-	0,145
Mn/Fe	2,4	4,6	6,5
Fyzikální vlastnosti:			
hmotnost min. části (g.cm ⁻³)	3,35	3,35	3,34
hmotnost (g.cm ⁻³)	1,94	1,92	1,91
objemová hmotnost (g.cm ⁻³)	1,33	1,29	1,28
váhová vlhkost (%)	31,2	32,1	33,0
porozita (%)		58,3	

Výsvětlivky v Kotlinski (1996,1998b)

Perspektivě těžitelný objekt - ložisko (*nodule deposit*) je charakterizováno příslušným typem sedimentu a jeho formování je ovlivněno určitými procesy. Regionální různorodost je spjata hlavně s kolísáním intenzity probíhajících tektonických a magmatických pochodů, včetně hydrotermální aktivity v širším okolí. Pro každou významnou jednotku či formaci je dominantní určité mineralogické složení. V rámci ložiska se dále vyčleňuje rudní těleso (*ore body*), které je nejmenším diskutovaným objektem na mořském dně s velmi mírným úklonem svahů elevací, nepřesahující 6°, což je limitováno možnostmi těžebních technologií a zároveň geotechnickými faktory horninového prostředí. Procentuální pokrytí dna převažujícího genotypu v tomto případě je vyšší než 40% a pro hmotnost je limitní hodnotou 10 kg/m² vlhkých konkrecí, což odpovídá 7.5 kg/m².suchých konkrecí.

Rudní tělesa jsou stanovena akumulací a hmotností suroviny která se odráží v konturaci jejich hranic, mající úzkou vazbu na morfologickou charakteristiku dna. Jejich tvar je v zásadě představován nepravidelnými velkými plošnými celky nebo menšími jednotkami čočkovitého nebo prstovitého tvaru.

Tabulka 2: Charakteristika ložiska polymetalických konkrací v oblasti CCZ

ZÁPADNÍ OBLAST; průměrná hloubka 5133 m; počet vzorků: 363							
Parametry	Obsah hlavních prvků (%)					Ni _w	Akumulace konkrací v kg.m ⁻²
	Mn	Fe	Ni	Cu	Co		
Minimum	13,41	---	0,61	0,34	0,13	3,83	2,02
Maximum	35,28	---	1,73	1,63	0,37	7,38	19,98
Průměr	25,24	---	1,14	0,95	0,21	5,76	7,13
Standardní odchylka	3,21	---	0,21	0,26	0,05	0,51	3,9
Koeficient variace (%)	10,29	---	0,04	0,07	0,003	0,26	15,19

VÝCHODNÍ OBLAST; průměrná hloubka 4056 m; počet vzorků: 1166							
Parametry	Obsah hlavních prvků (%)					Ni _w	Akumulace konkrací v kg.m ⁻²
	Mn	Fe	Ni	Cu	Co		
Minimum	4,74	2,39	0,2	0,15	0,55	1,38	2
Maximum	41,12	15,65	1,75	1,63	0,43	7,44	44,1
Průměr	28,56	6,57	1,25	1,08	0,21	6,3	9,42
Standardní odchylka	3,98	1,75	0,17	0,24	0,05	0,67	5,11
Koeficient variace (%)	15,84	3,07	0,03	0,06	0,003	0,45	26,12

$$Ni_w (\text{nickel equivalent}) = 1Ni + 0.13Mn + 0.25Cu + 5Co \text{ (Kulyndyshev, 1993)}$$

Tabulka 3: Morfologická charakteristika polymetalických konkrací

VÝCHODNÍ OBLAST; průměrná hloubka 4056 m; počet vzorků: 1166							
Parametry	Obsah hlavních prvků (%)					Ni _w	Akumulace konkrací v kg.m ⁻²
	Mn	Fe	Ni	Cu	Co		
Minimum	4,74	2,39	0,2	0,15	0,55	1,38	2
Maximum	41,12	15,65	1,75	1,63	0,43	7,44	44,1
Průměr	28,56	6,57	1,25	1,08	0,21	6,3	9,42
Standardní odchylka	3,98	1,75	0,17	0,24	0,05	0,67	5,11
Koeficient variace (%)	15,84	3,07	0,03	0,06	0,003	0,45	26,12

Závěrem lze konstatovat, že polymetalické konkrace jsou perspektivní surovinou manganu a přidružených neželezných kovů. Jejich úprava a metalurgické zpracování budou představovat z hlediska investic až 50 % celkových nákladů vynaložených v procesu jejich osvojení. Předpokládané technologie metalurgického zpracování konkrací lze rozdělit do následujících skupin:

- pyrometalurgické postupy (redukční tavení, segregáční pražení a plazmové tavení)
- hydrometalurgické postupy (loužení kyselinami, amoniakální loužení, bakteriální loužení za normálních tlaků) a tlakové amoniakální loužení a kyselinou sírovou
- kombinované postupy s tavením konkrací na slitinu neželezných kovů a struskou bohatou na MnS s následným hydrometalurgickým přepracováním na neželezné kovy, sulfatační pražení s loužením vodou nebo kyselinou sírovou nebo redukční pražení s amoniakálním loužením.

Všechny vyjmenované technologie mají své výhody i zápory a jsou průběžně studovány pro dané účely, přesto lze z hlediska výtěžnosti jednotlivých kovů (Ni, Co, Cu, event. Mo a Zn), ekonomických a ekologických aspektů za nejvhodnější považovat hydrometalurgické postupy.

Kobaltonosné železomanganové kůry (*Cobalt-rich ferromanganese crusts*) jsou dalším typem hlubokomořské rudní specializace. Zdroje kovů formující tyto kůry jsou výsledkem buď hydrogenických procesů vedoucích k vysrážení ze studených okolních vod kolujících u mořského dna, nebo kombinací hydrogenických a hydrotermálních projevů, jejichž přítomnost je zejména patrná v blízkosti aktivních os *spreadingu* na oceánském dně, zlomových struktur, vulkanickými oblouky a tzv. *hot spots*; kůry vzniklé výsledkem hydrogenických procesů v západním Pacifiku jsou vázány na křídové, případně terciární horninové substráty (Usui, Isaza, 1995), zatímco na lokalitách v centrálním Pacifiku je stáří podloží okolo 22-24 mln. let (Koschinski et al., 1995). Kůry zpravidla vystupují na mořském dně s basaltovým podkladem, na úbočích a vrcholech podmořských vulkánů,

dále pak na středoocéánských hřbetech a náhorních rovinách; méně často se vyskytují na různých zpevněných sedimentárních substrátech jako jsou jílovce, vápence a fosfority, případně vystupují společně s masivními polymetalickými sulfidy. Tato hlubokomořská ložiska jsou sdružena s polymetalickými konkracemi, které vykazují podobné chemické složení a také některé fyzikální vlastnosti. Fe-Mn krusty jsou situovány v hloubkách 400-4000 m, zatímco agregáty obohacené Co v hloubkách okolo 800-2200 m (pacifická oblast), zahrnující oblast minimálního obsahu kyslíku (*oxygen minimum zone - OMZ*) a dosahují mocnosti 100-250 mm. Rychlost růstu se pohybuje obecně od 1 do 10 mm/Ma, krusty mají převážně s drsným povrchem a obvykle vrstevnatou texturou. Kůry jsou zajímavé jako potencionální zdroj Co, Ni, Pt, Mn, Te, Tl a j., přičemž obsah Co dosahuje až 2.3%, Ni 1% a Pt do 3 ppm/t. Obsah sumy lanthanidů kolísá mezi 0.1-0.3% (Hein et al., in Cronan 2000). Je třeba podotknout, že kromě zvýšených obsahů těchto prvků se prokázal i zvýšený obsah uranu (14 ppm), zatímco u polymetalických konkrací je vyšší podíl thoria (29 ppm) jak uvádí Kunzendorf, Glasby, (1994). Mangan v kůrách hydrogenického původu obvykle vykazuje pozitivní korelaci s Pb a Cu, na druhé straně korelační koeficient s Ni je nižší. Dominantními minerály jsou vernadit a amorfní goetit, které jsou doprovázeny klastickými minerály – křemenem, fluorapatitem, plagioklasy a akcesoriemi v podobě amfibolu, opálu, kalcitu, todorokitu, magnetitu či amorfních alumosilikátů.

Kobaltonosné Fe-Mn kůry se vyskytují ve všech hlavních světových oceánech. V Atlantiku a Indickém oceánu vystupují převážně v místech sdružených s rozpínáním hřbetů (*spreading ridges*). Prvním takovým místem v Atlantiku je oblast mezi pobřežím Portugalska a Madeiry v hloubce okolo 1500 m severně od Lion Ridge, druhým rajonem je Tropic Ridge asi 250 mil od Cap Blanc. Je známo, že kůry Atlantského oceánu mají vyšší obsahy Fe a Mn v porovnání s podobnými výskyty v Tichém oceánu a vykazují rovněž vyšší podíl Si a Al, což je spojeno s větším přínosem terrigenního materiálu z afrického kontinentu. Největší prozkoumanost je však v oblasti Tichého oceánu, kde se na systematickém výzkumu od 80. let podílely organizace USA, Německa, Japonska, Číny, a jižní Koreje. K hlavním rajonům výskytů zde patří subtropická oblast Pacifiku, především části exkluzivních ekonomických zon Federativních Států Micronésie, Marshallových ostrovů, Kiribati, a U.S.A. (Havajské ostrovy, souostroví Kingman-Palmyra, ostrov Johnston a pobřežní oblast Kalifornie), na severu okolí Aleut a v jižním Pacifiku je to ostrov Pitcairn.

Mezi hlavní činnosti během hlubokomořského průzkumu patří podobné metody jako při výzkumu polymetalických konkrací - průběžné mapování mořského dna s využitím nové technologie širokopásmových sonarů (*multibeam systems*) se zvláštním zřetelem na lokalizaci jednotlivých podmořských hor a guytů, dále pak sonary bočního rozsahu (SSS), vícekanálové seismické systémy a foto-televizní komplexy (CDC), včetně speciálních zařízení pro odběry vzorků. Tyto aktivity vyžadují použití velkých a vysoce specializovaných průzkumných plavidel, zejména v podrobných fázích průzkumu, kdy se počítá s nasazením člověkem řízených, případně dálkově ovládaných (*Remote Operation Vehicles - ROV*) ponorek, které se využívají pro detailní pozorování a bodové vzorkování pro laboratorní vyhodnocování. Na základě dat získaných v posledních desetiletích při studiu této hlubokomořské suroviny byly stanoveny (Hein et al., 1988) pro průzkum následující kritéria:

- a) velké vulkanické komplexy situovány nad hloubkou 1 500 m;
- b) horninové substráty starší více než 20 milionů let;
- c) oblasti trvalého aktivního mořského proudění;
- d) vulkanické struktury, které nejsou překryty atoly a korálovými bariérami;
- e) mělce situovaná a dobře vyvinutá zóna kyslíkového minima;
- f) svahová stabilita;
- g) absence lokálního vulkanizmu a oblasti izolované od přínosu říčního materiálu;
- h) průměrný obsah Co > 0.8% a průměrná mocnost kůr vyšší než 40 mm;

Fe-Mn kůry jsou na rozdíl od polymetalických konkrací slabě nebo pevně spojeny s podložním horninovým substrátem a proto i podmínky pro těžební operace jsou částečně odlišné. Těžební zařízení vyvinutá a pracující jako dálkově ovládané jednotky byly v posledních letech odzkoušeny Konsorciemi a obsahovaly hydraulické nebo mechanické dragovací jednotky, které jsou s plavidlem spojeny "*slurry lift systems*". Těžba konkrací je poměrně snadná, protože jsou situovány na měkkém nezpevněném sedimentárním podkladu, případně jsou pohřbeny (*buried*) pod několik centimetrů mocnou vrstvou zvodnělého sedimentu. Oproti tomu těžební jednotky určené pro exploataci kůr musí být schopny dokonale oddělit surovinu od podloží aby nedocházelo ke kontaminaci a zředění ekonomického obsahu (*dilution crust grade*) a také musí splňovat "in situ" funkce jako rozdrůžování, drcení, zvedání, odběr a separaci. Za tím účelem byl sestaven v USA (*Hawaii*) hlubokomořský těžební agregát, který je propojen s těžebním plavidlem potrubím s hydraulickým systémem odběru a transportu suroviny a elektrickým kabelem, který zajišťuje dodávku energie z paluby plavidla celý komplex. *Japan Resource Association* na druhé straně se zabývá možností použití *Continuous Line Bucket (CLB) System*; nejvýhodnějším řešením pro komerční těžbu se ukazuje použití kombinace hydraulického nadzvednutí (*lifting*) s mechanickým rozdrůžováním (*fragmentation*) spojenou se samohybným kolektorem

vybaveným TV kamerami a dálkovým ovládním z palubního operačního centra; tento systém má lepší účinnost při těžbě suroviny a její separaci.

Polymetalické masivní sulfidy jsou předmětem podmořského průzkumu od konce 70. let. Tato ložiska jsou především vázána jak na aktivní osy pomalého rozšiřování oceánského dna (středoatlantický hřbet), stejně tak na zony rychlého rozšiřování oceánské kůry (*East-Pacific Rise*), vrcholové části podmořských vulkánů, riftová údolí v sousedství okrajů kontinentů a různých tektonických strukturách, včetně divergentních okrajů litosférických desek a na konvergentní subdukční zony. V centrech rozšiřování oceánského dna uvnitř intraoceánských anebo intrakontinentálních bazénů se sulfidy formují v hloubkách do 3 500 m. V místech aktivní hydrotermální aktivity jsou sulfidická ložiska tvořena komplexy „černých komínů“ („*black smokers*“) na jejichž vrcholech se sulfidy akumulují (Herzig et al., 2000).

K vysrážení sulfidů dochází těsně pod povrchem nebo přímo na povrchu mořského dna a je výsledkem promíchání hydrotermálních (250 - 370° C), na kovy bohatých sopouchových roztoků (*venting streams*) s okolní chladnou mořskou vodou. Tyto vysoce korozivní roztoky jsou při vysokých teplotách schopny přenášet z podloží oceánů rozpuštěné prvky (Li, K, Rb, Ca, Ba), dále pak transiitní kovy Fe, Mn, Cu, Zn, obohacené Au, Ag, přičemž sulfidické komponenty v basaltech jsou považovány za hlavní zdroj kovových prvků a síry. Kovy jsou transportovány hlavně jako komplexní chloridy při vyšších teplotách nebo jako bisulfidy při nižších teplotách (Au). Polymetalická sulfidická ložiska na oceánském dně mohou dosahovat obrovských objemů (až 100 milionů tun) a jejich minerální složení je obvykle tvořeno chalkopyritem, isocubanitem, pyritem, markazitem, sfaleritem, wurtzitem a galenitem.

Kontinentální ložiska polymetalických a masivních sulfidů stejně jako hlubokomořská jsou výsledkem analogických geochemických a geologických procesů a jsou obecně reprezentovány třemi geochemickými typy: Zn-Cu, Cu-Zn a Zn-Pb se zvýšenou koncentrací některých dalších kovů - Cd, Sb (tetraedrite), As (realgar, tennantite) a obzvláště drahými kovy – zlatem a stříbrem. Skupina Zn-Cu ložisek se vyskytuje hlavně v oblasti vulkánů - Galapagos Rift, a na okraji bazénů - Fiji a Manus, které jsou situovány západně Salomounových ostrovů (Okamoto, Matsura, 1995). Na druhé straně skupina Cu-Zn ložisek se vyskytuje společně s černými komíny na středo-atlantském hřbetě (jsou to: hydrothermalní pole TAG, Snake Pit, Broken Spur, Logatchev a pole Lucky Strike); hřbet v centrální části Indického oceánu je reprezentován polem Sonne.

Sulfidická ložiska byla objevena i v bazénech vyplněných sedimenty – Kalifornský záliv (Guayamas bazen) a v rámci *Ocean Drilling Program* (v letech 1991-96) byla další nalezena v oblasti hřbetu Juan de Fuca (západně od pobřeží USA) s největšími ložisky Middle Valley a Endeavour. Výčet uzavírají ložiska situovaná v západním a jihozápadním Pacifiku – bazény Lau a Woodlark, Mariánský a Okinawský příkop. Tato ložiska mají podobnou morfologii jako na středooceánských hřbetech ale různí se skalním substrátem mořského dna (od bazaltů k andezitům, dacitům až lokálně k ryodacitům), což odráží i rozdíly v mineralogickém a chemickém složení.

Obsahy kovů určené na vzorcích odebraných na středooceánských hřbetech a masivních sulfidů formujících intraoceánské zony center rozšiřování oceánského dna (na př. Mariánský příkop, bazén Fidži (Herzig, Hannington, 1995) jsou následující:

Pb (0.2-1.2 %), Fe (23.6-13.3 %), Zn (15.1-18.0 %), Cu (2.0-5.1 %), Ag (140-195 ppm), Au (1.2-2.9 ppm).

Naproti tomu u masivních sulfidů situovaných v rámci intrakontinentálních hřbetních oblouků (Okinawa příkop) má koncentrace s výjimkou Cu a Fe stoupající tendenci:

Pb (11.5 %), Fe (7.0 %), Zn (18.4 %), Cu (2.0 %), Ag (2 760 ppm), Au (3.8 ppm).

Závěr

Přestože podle tržně-ekonomických studií a ocenění dnešních scénářů těžby těchto surovin z mořského dna nemají v současnosti prioritu, evokuje se do budoucna reálná potřeba zajištění alternativního zdroje a v předstihu řešit ekologické aspekty a dokončit vývoj nových těžebních technologií a procesů extrakční metalurgie, protože zejména světová spotřeba kobaltu je v podstatě vázána na dva nejvýznamnější africké producenty – Zaire (kolem 60%) a Zambie (kolem 10%).

Klasické využití Mn, Co a Ni v ocelářském průmyslu je doplňováno stále více přesunem do technologicky vyspělejších odvětví – pro Co jsou to elektrotechnická, komunikační, automobilová a nástrojářská průmyslová odvětví, a v neposlední řadě letecký a kosmický průmysl; radioisotopy Co mají použití v moderním diagnostickém a terapeutickém lékařství. Rovněž se rozšířilo využití Ni v petrochemii, rafineriích a automobilovém průmyslu.

Fyzikální vlastnosti kongrecí, obzvláště jejich povrchová porozita vyvolává zájem o komplexní využití těchto parametrů průmyslově v budoucnu. Katalytické schopnosti by mohly být využívány při sorpci SO₂, H₂S a dalších sírných sloučenin z exhalací, oxidaci kyslíčnicku uhelnatého v katalytických procesech, při dehydrogenaci a demetalizaci surové ropy a naftových derivátů a adsorpci těžkých kovů (Hg, Pb, Zn, Cd a Cr).

Proto se dá předpokládat, že v novém století začnou moderní průmyslová společenství s využíváním surovinového bohatství světových oceánů a moří v globálním měřítku.

Literatura

- [1] Amann, H.: The Environmental Impact of Deep Sea Mining. Section 1, Nodules and Environmental. - *Research Analyses for FRG with Tethys Technology GmbH, Hannover, 1992.*
- [2] Andreev, S.I.: Metallogeniya Zhelezomargancevych Obrazovaniy, Tichovo Okeana. - *VNIIOkeanologiya, Nedra, St. Petrburg, 1994, pp.40-190.*
- [3] Andreev, S. I., Anikeeva, L. I., Ivanova, A. M., Ainemer, A. I., Kotlinski, R., Tkatchenko, G. G., Zadornov, M. M., Tikhomirov, A. G. (eds.): Metallogenic Map of the World Ocean (1:10 000 000). Explanatory Booklet. -*Russian Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Oceans, St. Peterburg: IOM, Szczecin, 1998, pp. 121-184.*
- [4] Barnett, B., Yamauchi, H.: Preliminary Sea Sediment Resuspension System Used for the Japan Deep Sea Impact Experiment: - *Proceeding of the 1st. ISOPE Ocean Mining Symposium, Tsukuba, 1995, pp. 175-180.*
- [5] Baturin, G. N.: Geochimiya Zhelezomargancevych Konkreciy Okeana. - *Izdavatelstvo Nauka, Moskva, 1986, pp. 113-239.*
- [6] Burns, R. E., Erickson, B. H., Lawelle, J. W., Ozturgut, E.: Observation and Measurements during Monitoring of Deep Ocean Manganese Nodule Mining Tests in the North Pacific, March-May 1978.- *NOAA Tech. Memo, ERL Mesa, 1980, pp. 1-63.*
- [7] Calvert, S. E.: Geochemistry of Oceanic Ferromanganese Deposits. - *Phil. Trans. Royal Society, London, 1978, pp. 43-73.*
- [8] Couper, A.: The Time Atlas and Encyclopedia of the Sea. - *Time Books, 2nd edition, London, 1989.*
- [9] Cronan, D. S.: Some Controls on the Geochemical Variability of Manganese Nodules with Particular Reference to the Tropical South Pacific. - *In Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits - Nicholson, K., Hein, J.R., Buhn, B., Dasgupta, S. (eds.), Geological Society, Special Publication, 119, 1997, pp. 139 -151.*
- [10] Cronan, D. S. (ed.): Handbook of Marine Minerals Deposits. *CRC - Press, Marine Science Series, Boca Raton, London, New York, Washington, D.C., 2000, 406 pp.*
- [11] Cruickshank, M. J.: Kirk-Othmer Chemical Technology Encyclopedia, vol. 17. - *John Wiley & Sons, 4th edition, New York, 1996, pp. 580-593.*
- [12] Eziagarov, B. CH., Zyka, V. (eds.): Atlas of the Morphological Types of Ferromanganese Nodules of the World Oceans. - *Geofyzika Brno, 1990, 211 pp.*
- [13] Frazer, J. Z., Fisk, M. B.: Geological Factors Related to Characteristics of Sea Floor Manganese Nodule Deposit. - *Deep Sea Res., 28A, 1981, pp. 1533-1551.*
- [14] Gladkowski, T.: International Law Statue of the Seas and Oceans out off Coastal States Jurisdiction Limit (Polish). - *Mat. Symp. „Problemy eksploatacji zasobow mineralnych morz i oceanow”, UAM i Univ. Szczecinskiego, Szczecin, 1998, pp. 1-10.*
- [15] Glasby, G. P., Jemljanov, E. M., Zhamoida, V. A., Baturin, G. N., Leipe, T., Bahlo, R., Bonacker, R.: Environments of Formation of Ferromanganese Concretions in the Baltic Sea: A Critical Review. - *In Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits - Nicholson, K., Hein, J.R., Buhn, B., Dasgupta, S. (eds.), Geological Society, Special Publication, 119, 1997, pp. 213-237.*
- [16] Glasby, G. P.: Manganese: Predominant Role of Nodules and Crusts. In *Marine Geochemistry – Schulz, H., Zabel, M. (eds), Springer Verlag, 1998.*

- [17] Gramberg, J. S.: Rezultaty Glubokovodnogo Bureniya v Mirovom Okeane. - *Izd. Nedra, 1989, Leningrad.*
- [18] Halbach, P., Giovanoli, R., von Borstel, D.: Geochemical Processes Controlling the Relationship between Co, Mn and Fe in Early Diagenetic Deep-sea Nodules. - *Earth Planet Scientific Letters, 60, 1982, pp. 226-236.*
- [19] Halbach, P., Fridrich, G., von Stackelberg, U., (eds.): The Manganese Nodule Belt of the Pacific Ocean, Geological Environment Nodule Formation and Mining Aspects. - *Enke Verlag, Stuttgart, 1988, pp. 7-254.*
- [20] Hein, J. R., Schwab, W. C., Davis, A. S.: Cobalt and Platinum-rich Ferromanganese Crust and Associated Substrate Rocks from Marshall Islands. - *Marine Geology, 78.*
- [21] Hein, J. R., Koschinski, A., Bau, M., Manheim, F. T., Jung-keuk Kang, Roberts, L., 2000: Cobalt-rich Ferromanganese Crusts in the Pacific. - *Handbook of Marine Mineral Deposits - Cronan, D.,S., (ed.), 2000, CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington, D.C., 1988, pp. 239-279.*
- [22] Herzig, P. M., Hannington, M. D.: Hydrothermal activity, Vent Fauna and Submarine Gold Mineralization at Alkaline Fore-arc Seamounts near Lihir Island, Papua New Guinea. - *Proceedings PACRIM '95, Auckland, 1995, 279 pp.*
- [23] Herzig, P. M., Petersen, S., Hannington, M. D.: Polymetallic Massive Sulphide Deposits on the Modern Seafloor and their Resource Potential. - *Workshop on Mineral Resources of the International Seabed Authority, Kingston, 2000, 24 pp.*
- [24] Koschinski, A., van Gerven, M., Halbach, P.: First Investigation of Massive Ferromanganese Crusts in the NE Atlantic in Comparison with Hydrogenetic Pacific Occurrences. - *Marine Georesources and Geotechnology, 13, 4, 1995, pp. 375-391.*
- [25] Kotlinski, R.: Interoceanmetal Joint Organization – Achievements and Challenges. - *The Proceedings of the 1st. ISOPE Ocean Mining Symposium, MMIJ, Tsukuba, 1995, pp. 5-7.*
- [26] Kotlinski, R.: Morphogenetic Types of Polymetallic Nodules in the Clarion-Clipperton Ore Field. - *International Seminar on Deep Seabed Mining Technology, Beijing, 1996, D1-D12.*
- [27] Kotlinski, R., Pařízek, A., Rezek, K.: Polymetallic Nodules – A Perspective Source of Rare Earth Elements. - *The Proceedings of the 2nd. ISOPE Ocean Mining Symposium, Seoul, 1997, pp. 50-56.*
- [28] Kotlinski, R.: The Present State of Knowledge on Oceanic Deposits of Polymetallic Resources as Exemplified by IOM's Activity. - *Mineralogia Polonica, 29, 1, 1998, pp. 77-89.*
- [29] Kotlinski, R., Szamalek, K. (eds.): Mineral Resources of the Seas and Oceans (Polish). - *Wydawnictwo Naukowe Scholar, Warszawa, 1998, 384 pp.*
- [30] Kotlinski, R.: Metallogenesis of the World's Ocean against the Background of Oceanic Crust Evolution. - *Polish Geological Institute Special papers, 4., Warszawa, 1999, pp 20-50.*
- [31] Kotlinski, R.: Current State of Knowledge on the Ocean Deposits. - *Proceedings of the 1st. International Congress of Seas and Oceans, Maritime University of Szczecin, 2001, vol.II. 57-84 pp.*
- [32] Kunzendorf, H., Glasby, G. P.: Minor and Rare Elements in Manganese Crust and Nodules and Sediments from the Manihiki Plateau and Adjacent Area: Results of HMNZS Tui cruises. - *Marine Georesources and Geotechnology, 12, 4, 1994, pp. 271-281.*
- [33] Menard, H.W.: Time, Change and the Origin of Manganese Nodules. - *Amer. Sci., 64/5, 1976, pp. 519-529.*
- [34] Morgan, Ch. L.: Resource Estimates of the Clarion-Clipperton Manganese Nodule Deposits. - In *Handbook of Marine Mineral Deposits - Cronan, D.,S., (ed.), 2000, CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington, D.C., 2000, pp. 145-170.*
- [35] Okamoto, N., Matsuura, Y.,: Resource Potential of Hydrothermal Activities on the Central Pacific Rise (8N-14N). - *Proceeding of the 1st. ISOPE Ocean Mining Symposium, MMAJ, Tsukuba, 1995, pp. 139-148.*
- [36] Pařízek, A., Modlitba, I.: Assessment of the Deep-sea Floor Vulnerability to Changes Induced by Polymetallic Nodule Mining. - *The 28th. Annual Conference of the Underwater Mining Institute, Seattle, 1997, 10 pp.*
- [37] Pařízek, A., Horniš, J.: Report on the Relinquishment of 20% of the Interoceanmetal Joint Organization Pioneer Area under Resolution II of the Third United Nations Conference on the Law of the Sea. - *Final Report to ISA (Exploration Methods, Geological Setting, Reserves Calculation; Maps Supplement), IOM, Szczecin, 2000, 50 pp.*

- [38] Pattan, J. N., Colley, S., Higgs, N. C.: Behaviour of Rare Earth Elements in Coexisting Manganese Macronodules, Micronodules and Sediments from the Central Indian Basin. - *Marine Georesources and Geotechnology*, 12,4, 1994, pp. 283-295.
- [39] Piper, D. Z., Swint, T. R., McCoy, F. W.: Distribution of Ferromanganese Nodules on the Pacific Ocean. - *Chem. Erde*, 46, 1987, pp. 171-184.
- [40] Radziejewska, T.: Immediate Responses of Benthos Meio- and Megafauna to Disturbance Caused by Polymetallic Miner Stimulator. - *Proceedings of International Symposium on Environmental Studies for Deep-sea Mining, Tokyo, 1997*, pp. 223-235.
- [41] Seibold, E., Berger, W. H.: The Sea Floor. An Introduction to Marine Geology. 2nd. Edition. - *Springer Verlag, Hamburg, 1993*.
- [42] Sharma, R., Kodagali, V. N.: Influence of Seabed Topography on the Distribution of Manganese Nodules and Associated Features in the Central Indian Basin: A Study Based on Photographic Observations. - *Elsevier Scient. Publishing, Amsterdam, 1993, Marine Geology*, pp. 110-162.
- [43] Schriever, G., Ahnert, A., Bluhm, H., Borowski, C., Thiel, H.: Results of the Large Scale Deep-sea Environmental Impact Study DISCOL during Eight Years of the Investigation. - *Proceedings of the 7th. ISOPE Ocean Mining Symposium, Honolulu, 1997, vol.1.*, pp.438-444.
- [44] Thiel, H., Foell, E. J., Schriever, G.: Potential Environmental Effects of Deep Seabed Mining. - *Ber. Zentrum Meeres, Univ. Hamburg, 1991, 243 pp.*
- [45] Thiel, H., Ahnert, A., Bluhm, H., Borowski, C., Schriever, G.: Deep-sea Ecology and Environmental Protection – The Project DISCOL and ECOBENT. - *Proceedings of the Inter. Symposium on Environmental Studies for Deep-sea Mining, Tokyo, 1997*, pp. 33-44.
- [46] Thiel, H.: Report on German Studies on Environmental Impact of Manganese Nodule Mining. - *Proceeding of the International Symposium on Environmental Studies for Deep-sea Mining, Tokyo, 1997*, pp. 33-34.
- [47] Tkatchenko, G. G., Radziejewska, T., Stoyanova, V., Pařízek, A., Modlitba, I.: Benthic Impact Experiment in the IOM Pioneer Area: Testing for Effects of Deep Seabed Disturbance. - *International Workshop on Deep Seabed Mining Technology, Beijing, 1996*, pp.55-73.
- [48] Trueblood, D. D., Ozturgut, E.: The Benthic Impact Experiment: A Study of the Ecological Impacts of Deep Seabed Mining on Abyssal Communities. - *Proceedings of the 7th. ISOPE Ocean Mining Symposium, Honolulu, 1997, vol.1.*, pp. 481-487.
- [49] Usui, A., Isaza, K.: Deep Sea Mineral Resources in the Northwest Pacific Ocean: Geology, Geochemistry Origin and Exploratin. - *The Proceedings of the 1st. ISOPE Ocean Mining Symposium, MMAJ, Tsukuba, 1995*, pp. 131-138.

Resumé

The main interest during second half of the twentieth century was focused within exploration of deep seabed mineral resources predominantly on the polymetallic nodules. This subject is natural polymineral aggregate of ferromanganese hydroxides and clay minerals containing in chemical composition more than 50 elements. Oceanic nodules are represented by three types: hydrogenic „H“, hydrogenic-diagenetic „HD“ and diagenetic „D“, Kotlinski (1996). The nodules occur on the ocean bottom, at the water-sediment interface on variable depth at the range of 4000- 5500 m. Predominantly nodule size varying between 2 and 12 cm (in dependence on the type). Type „H“ nodules occurring above CCD are smaller than the types “HD“ and „D“ nodules occurring below CCD and SCD – characterised by risen content of Ni, Cu and Mn, situated on clayey-siliceous and polygenic clays (tab. 1).

Analysis of the mineralogical composition confirm that the major manganese minerals include: todorokite and vernadite; the nodules characterized by todorokite majority are enriched in Mn, Ni, Cu, Zn, while those in which vernadite dominates are enriched in Fe, Co, and Pb. Studies of the morphology shows variation in nodule shape (Tab.3.) occurring in fields of strongly differentiated bottom relief, while areas of smooth floor relief have nodules of similar shapes. Smaller nodules usually occur on the elevation slopes and often are redeposited, while larger ones occur “in situ” on the areas with smooth bottom relief.

Growth rates of nodules appear to vary between about 3 to possible 20 mm/My (it depends also on the type of nodules); growth of the type „H“ is slower than growth of the type „D“, due to the occurrence in different lithofacies realm, Kotlinski (1999). The physical-chemical factors controlling the occurrence and distribution of nodules on the sea floor have include the depth, near-bottom water oxygenation (pH and Eh), particles presence such as potential nodule core, distance from hydrothermal and/or volcanic centres, low sedimentation rate, microbiological productivity and seafloor lithology. Two main sources have been proposed for the metal content in the CCZ: hydrothermal sources from seabed volcanoes (endogenic), and terrestrial sources from North and Central American rivers and airborne particles (exogenic), Kotlinski (1999), Morgan (2000).

The comparative analysis and quantity of the manganese nodule deposit data collected over the past 25 years allowed identification of patterns in the occurrence and distribution of the deep-sea polymetallic deposits, processes and factors leading to their formation and particularly proved that the CCZ deposits – the most extensive in the world (so called „nodule belt“) - contain very significant amounts of the essentials metals. The highest commercial importance is attributed to this field located in the subequatorial Pacific. The Clarion-Clipperton takes an exceptional position among the nodule fields, as evidence by the number of registered investors and/or consortia areas (Fig.2.). Nickel is the primary metal of commercial interest overall in deep seabed polymetallic nodules; accordingly resource estimation, Morgan (2000) the CCZ nodule deposits constitute a world-class nickel resource, with significant quantities of other major metals – manganese, cobalt, and copper. The mean ranges of the metals are: Mn 25-28%; Cu 0.95-1.1%; Ni 1.14-1.25%; Co 0.21% (tab. 2). Polymetallic nodules from the IOM area show evident enhancement in the REE total abundance; REE: 302-2020 ppm – especially Ce (80-940 ppm), La (100-460 ppm), and Nd (80-340 ppm) what presented the nodules also as possible nontraditional source of REE (Kotlinski et al., 1997). Future mining and current production rate in the high-abundant blocks within IOM area is estimated for 20 years (1.8 million Mt/year) and/or 50 years (1.2 million Mt/year) respectively.

From the scope of extensive deep-sea mineral exploration and from the obligation of the pioneer investors before International Sea Bed Authority to perform at the same time ecological investigation, in the end of 70' were realised some studies and programs respect to proposal mining impact on deep-sea environment. IOM assessment was based on data collected in the course of studies related to the so-called Benthic Impact Experiment (BIE), effected in selected test site by the IOM during 1995-97 including five years „base-line“ monitoring survey. The following factors contributing to the vulnerability of deep-sea environment during nodule mining operations including repeated consolidation as well can be expected, Parizek et al. (1997):

- temporary changes in the bottom relief and temporary degradation (changes of the physical/mechanical properties) of the uppermost semiliquid layer of sedimentary cover;
- disturbance of meiofauna and partly erosion of macrobenthic fauna;
- resuspension and re-sedimentation of the bottom sediment including fauna recolonization.

By discussing the study aimed at determination of the deep-sea floor vulnerability and keeping in mind the need to safeguard the quality of the ocean bio-geological environment, there is intention to sensitive all those who will deal with mining the nonrenewable resources from the deep-sea floor to problems of optimisation of mining technology to minimise negative effects on the environment.

Cobalt-rich ferromanganese crusts occur throughout the world ocean on seamount (guyot) slopes or slightly inclined terraces, ridges, and plateaus, usually on the basalt outcrops, and less frequently form covers consolidated sediments at depths ranging from 500 to 4000 m, but the most common occurs at water depth from 800-2200 m. The deposits are formed by hydrogenic or hydrothermal processes. Crusts are important as a potential resource for primarily cobalt, but also Mn, Ti, Ni, and Pt. Total REE commonly vary between 0.1-0.3% and are derived from seawater along with others hydrogenic elements – Co, Mn, Ni etc. Bulk crusts contain cobalt contents up to 1.7 %, nickel to 1.1 %, and platinum to 1.3 ppm, Hein (2000). Vernadite is the major mineral of the crusts, on the other hand todorokite, which is common in diagenetic polymetallic nodules is rare. Crust mining will be technologically more difficult than nodule exploitation which is easy due to position on soft-sediment substrate. For successful mining operations, it is essential to recover crusts without collecting substrate rock, which would significantly dilute the ore grade. Same, like in case of the nodules, pyrometallurgical or hydrometallurgical processing options would be commercially viable.

Since the end of 70' polymetallic massive sulfide deposits have been found at water depths up to 3500 m in a variety of tectonic setting at the ocean floor including mid-ocean ridges associated with active spreading axes, back-arc rifts, and seamounts. Many of those deposits consist of a „black smoker“ complex on the top of sulphide mound which commonly is underlying by a stockwork zone, Herzig et al. (2000). Precipitation of massive sulfides at and beneath the seafloor takes place in response to mixing high temperature (250-400°C) hydrothermal fluid with ambient seawater. Polymetallic sulfide ores are represented by the three geochemical types: zinc and copper deposits usually occur on the volcanic cones, on the other hand, copper and zinc group commonly occurs in the active spreading axes and third is zinc and lead group of deposits with higher

concentration of some others metals – Cd, Sb, As, Au, and Ag. Deposits associated with the present-day volcanism in the back-arc basin are characterised, in comparison to those formed in the active spreading axes, by high contents of lead, zinc, silver and gold. Due to the high concentration of base and precious metals, the polymetallic sulfide deposits have recently attracted the interest of the international mining industry.

Recenzenti: Prof. Dr. R. Kotlinski, Interoceanmetal, Szczecin, Polsko,
Prof. Ing. Tibor Sasvari, CSc., Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií TU Košice.