

Złóża antropogeniczne jako źródło metali w gospodarce o obiegu zamkniętym

alias

Dokumentowanie i wycena antropogenicznych złóż rud metali

Krzysztof Szamałek
PIG, UW

Webinarium

**„Gospodarka o obiegu zamkniętym w branży wydobywczej -
- strategie, praktyki i zasady monitorowania”**

22.03.2021



Złóża antropogeniczne

Brak polskiej definicji prawnie obowiązującej – potrzeba systemowa (merytoryczna i prawna)

Mineralne zasoby antropogeniczne – składowane na powierzchni lub w górotworze nagromadzenia substancji mineralnych pozyskiwanych i wytwarzanych w procesach wydobywania i przeróbki kopalin.

Złoże antropogeniczne - wyodrębniona na podstawie wykonanych badań część mineralnych zasobów antropogenicznych, przeznaczona do gospodarczego wykorzystania.

POLVAL – propozycje wprowadzenia do zakresu wykonywanych wycen

Dlaczego zasoby metali w odpadach?

Pozostałość po wydobywaniu i przeróbce złóż w przeszłości prowadzonej dla jednej kopaliny np. piaski kasyterytonośne przerabiane tylko na koncentrat kasyterytu, odpady poflotacyjne po przeróbce rud Zn i Pb, Cu-Ag w Polsce

Złoża polimineralne, które w przeszłości wykorzystywano z przyczyn technologicznych tylko do pozyskania jednego lub dwóch metali (złoża rud Cu-Ag

Żużle, szlaki, szkliwo po przeróbce rud (nieefektywne procesy hutnicze)

Przyczyny środowiskowe (toksyczne lub szkodliwe składniki do gleb i wód)

- Osadniki po flotacji rud metali **mają potencjał złożowy**, ze względu na nagromadzenie wielu składników mineralnych o koncentracjach bliskich koncentracjom złożowym niektórych typów genetycznych złóż.
- Obecnie większość osadników poflotacyjnych na świecie **nie osiąga wartości** pozwalającej na zakwalifikowanie ich do antropogenicznych złóż kopalin, jednak nie wszystkie dane na temat składowanych substancji są dostępne w każdym z eksploatowanych złóż.
- Nagromadzenia metali, takich jak np. miedź i cynk, w osadnikach poflotacyjnych powstałych w wyniku składowania pozostałości po odzysku rud polimetalicznych złóż z Polski i Portugalii, metale szlachetne w osadnikach w Chile, czy molibden w osadnikach przy złożach w Kanadzie mogłyby być interesujące ze względu na zawartość składników użytecznych. (Duczmal-Czernikiewicz, Suchan 2015)

Odpady mineralne (odpady z sektora mineralnego)

Światowe całkowite zużycie surowców mineralnych do 2060 może dojść do **190 mld ton** wobec obecnych konsumowanych **około 92 mld ton** (UNEP Global Resource Outlook 2019) – w konsekwencji powstanie znaczący strumień odpadów mineralnych. To rezultat m.in. przeróbki coraz uboższych rud. Szacuje się, że rocznie na świecie powstaje około **500 mln/t** odpadów przeróbczych (tailingu), który jest generowany w wyniku wydobywania oraz przeróbki m.in.: rud miedzi, kasyterytu, rud cynku i ołowiu oraz innych kopalin (Cuesta-Lopez et al. 2016);

W Polsce wytwarzane corocznie odpady w sektorze mineralnym stanowią **110-130 mln ton** (w ostatnich 20 latach).

-górnictwo rud metali **31,2 mln ton** w 2017 r. (Galos 2019);

Rewolucja przemysłowa 4.0 i przejście do GOZ

Zasoby metali w odpadach (złożach antropogenicznych)

Żużle po przeróbce rud miedzi w polskich hutach

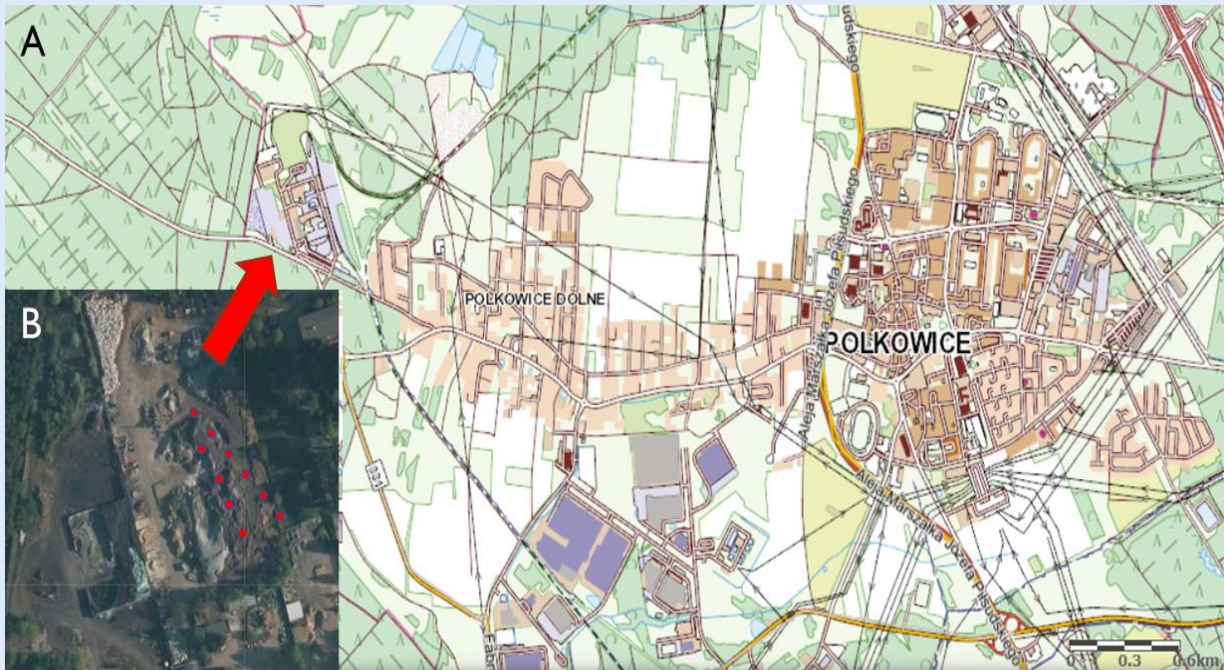
Odpady okruchowe po przeróbce piasków cynonośnych z Indonezji

Żużle po przeróbce kasyterytu z Indonezji

Dokumentowanie złóż antropogenicznych (A) Podobieństwa i różnice z dokumentowaniem złóż kopalin (N)

- A** – pewność danych odnośnie objętości, jednoznaczna własność, nieograniczona technicznie dostępność, możliwość wznowiania i przerywania zagospodarowania, dostępność do badań technologicznych w skali półtechnicznej, możliwość oceny efektu skali procesów przeróbki, większe zróżnicowanie chemiczne przez procesy wietrzenia, tańsze dokumentowanie, większa elastyczność w podejmowaniu prac dokumentacyjnych i przetwórczych (wydobywczych)
- N** – niepewność danych i sposobu interpretacji, punktowe dane do interpolacji, duża zmienność parametrów złożowych, wyższe koszty dokumentowania, mniejsza elastyczność działania

Żużle pomiedziowe



(A). Lokalizacja hałdy żużlu pohutnicznego w Polkowicach ;
(B) zdjęcie satelitarne hałdy z zaznaczonymi punktami poboru próbek. Źródło: mapy.geoportal.gov.pl/,
stan na dzień 20.04.2020 r.



Hałda żużli po hutnictwie miedzi w Polkowicach,
huta miedzi Głogów fot. R. Jaros, 2016 r. Około
80 000 ton niezagospodarowanego żużlu
hutniczego zdeponowanego na obszarze ok. 2 ha

	Próbka				
	1	3	4	9	Średnia
Minerał	% wag.				
Sfaleryt	36,30 ± 0,11	21,90 ± 0,80	35,00 ± 0,12	23,60 ± 0,80	29,20 ± 0,46
Bassanit	4,40 ± 0,70	6,10 ± 0,80	-	7,80 ± 0,80	6,10 ± 0,77
Krzemionka	7,30 ± 0,70	8,00 ± 0,70	5,30 ± 0,60	9,70 ± 0,60	7,58 ± 0,65
Palmieryt	13,20 ± 0,60	16,50 ± 0,60	4,10 ± 0,50	12,70 ± 0,50	11,63 ± 0,55
Beaveryt	3,80 ± 0,50	5,70 ± 0,40	15,30 ± 0,80	3,90 ± 0,40	7,18 ± 0,53
Magnetyt	2,90 ± 0,60	6,60 ± 0,60	3,50 ± 0,70	4,70 ± 0,60	4,43 ± 0,64
Wurtzyt	1,20 ± 0,30	1,50 ± 0,40	1,50 ± 0,40	3,60 ± 0,40	1,95 ± 0,38
Goethyt	8,30 ± 0,12	10,40 ± 0,12	5,80 ± 0,13	9,70 ± 0,11	8,55 ± 0,12
Hematyt	1,80 ± 0,80	0,80 ± 0,80	-	1,70 ± 0,70	1,43 ± 0,77
Mikroklin	9,50 ± 0,16	8,60 ± 0,16	6,80 ± 0,18	9,70 ± 0,18	8,65 ± 0,17
Wustyt	1,50 ± 0,20	2,50 ± 0,50	-	3,20 ± 0,50	2,40 ± 0,40
Petedunnit	10,00 ± 0,12	11,30 ± 0,12	11,40 ± 0,10	9,50 ± 0,12	10,55 ± 0,12
Jarozyt	-	-	11,30 ± 0,14	-	11,30 ± 0,14

Skład mineralny żużli. Analiza ilościowa przeprowadzona metodą Rietveld (Żyłka 2021).

LF725	Próbka				
	1	3	4	10	Średnia
Tlenek	% wag.				
SiO ₂	12,90	13,80	13,70	16,30	14,18
Al ₂ O ₃	2,46	2,69	2,49	3,15	2,70
Fe ₂ O ₃	29,1	27,5	25,0	24,9	26,63
CaO	3,56	3,99	3,29	3,7	3,64
MgO	4,68	1,72	2,06	4,38	3,21
K ₂ O	2,11	2,58	1,7	2,4	2,20
MnO	0,58	0,66	0,47	0,54	0,56
TiO ₂	0,11	0,13	0,18	0,12	0,14
P ₂ O ₅	0,11	0,14	0,13	0,17	0,14
Cr ₂ O ₃	0,51	0,19	0,26	1,23	0,55
Ba	0,08	0,11	0,07	0,1	0,09
Cu	1,65	1,75	2,88	2,2	2,12
Pb	7,39	6,72	13,74	5,93	8,45
Zn	12,21	13,33	11,81	14,14	12,87
LOI	9,5	9,0	7,0	3,9	7,35
Suma	92,69	90,54	91,07	90,92	91,31

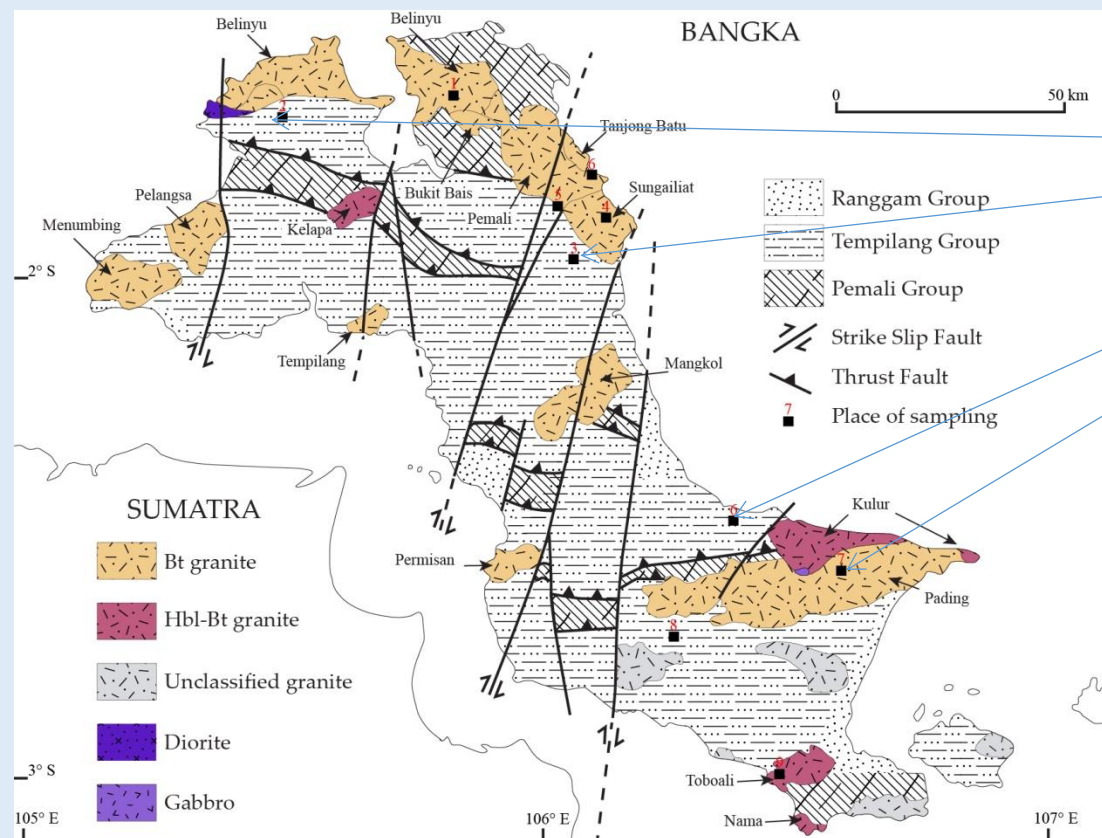
MA270	Próbka			
	5	7	9	Średnia
Pierwiastek	ppm			
Mo	618,1	487,4	823,8	643,1
Cu	16997,9	14145,9	19876,6	17006,8
Pb	64564	70343,4	83292,2	72733,2
Zn	106206	94236	132797	111080
Ag	55,4	40,7	43,2	46,4
As	17150	12664	13063	14292,3
Sb	2904,9	2462,8	3278,9	2882,2
Cr	3937	2128	1332	2465,7
Sn	2418,1	2380	2814,7	2537,6
Se	182	168	262	204

Potencjał metalu w żużlach z Polkowic

- 80 tys. ton odpadu.
- zakładając, że w całej hałdzie występuje taka sama średnia procentowa zawartość cynku jak w przebadanych próbkach (12,87%wag) można szacować wstępnie, że złożony odpad zawiera 10 296 ton cynku.
- Przy cenie 2,6 tys. USD/t, cynk zdeponowany na hałdzie jest wart ok. 27 mln USD.

Odpady poprocesowe w Indonezji





Lokalizacja poboru próbek z miejsc składowania odpadów na wyspie Bangka (Indonezja) wg Zglinicki, Szamałek, Wołkowicz 2021 na tle mapy geologicznej

Sample	5BT	6BB	7BT	10BB	21BP	22BS	23BL	25BP	27BK	32BM
Mineral										
Zircon	14.71	5.38	25.43	5.23	0.00	16.82	12.53	84.43	4.99	0.68
Xenotime	1.99	4.38	3.20	0.45	1.07	17.20	4.35	0.92	0.28	4.77
Monazite	2.02	4.71	1.96	1.56	90.60	21.00	5.33	11.15	0.82	-
Rutile	5.25	2.70	4.57	2.40	1.95	3.77	6.02	-	2.78	0.85
Anatase	2.81	1.54	0.77	0.30	-	0.92	1.46	-	0.30	-
Pseudorutile	48.02	24.61	25.29	4.32	-	7.80	29.48	-	4.67	36.70
Ilmenite	16.20	5.26	10.77	3.68	-	18.80	7.34	-	3.47	53.40
Cassiterite	0.78	2.18	3.18	6.04	6.18	8.50	1.48	1.30	1.04	3.60
Quartz	5.60	40.28	21.01	58.02	-	-	15.55	-	57.96	-
Tourmaline	-	6.18	2.80	18.00	-	-	4.10	-	2.48	-
Other*	2.62	2.78	1.00	-	0.20	5.19	15.04	2.20	21.11	-

* - struverite, malayaite, marcasite, pyrite, plagioclase, topaz, REE-Y-Ti phases.

The mineral composition in concentrates (calculated according to the Rietveld method in % weight).

Skład mineralny [%_w] wybranych próbek odpadów przeróbczych z wyspy Bangka
określony rentgenowsko metodą Rietvelda

Minerał:	Nyelanding	Toboali	Sungkap	Bedukang	Jurung	Puput
Monacyt	5,22±0,17	2,44±0,16	21,23±0,24	1,824±0,079	1,375±0,050	7,07±0,18
Ksenotym	1,781±0,047	3,27±0,12	17,55±0,23	1,005±0,033	0,556±0,013	1,134±0,047
Cyrkon	7,32±0,17	18,69±0,24	16,92±0,21	10,69±0,15	1,331±0,037	62,82±0,27
Rutyl	19,97±0,45	5,09±0,12	3,77±0,20	4,73±0,15	2,796±0,063	1,55±0,12
Anataz	1,919±0,052	0,339±0,029	0,915±0,050	3,16±0,12	4,815±0,099	0,109±0,43
Pseudorutyl	41,7±1,1	28,93±0,76	7,19±0,73	38,68±0,65	37,64±0,44	ND
Ilmenit	2,35±0,27	9,16±0,26	16,90±0,30	4,12±0,15	3,15±0,15	8,79±0,28
Kasyteryt	1,901±0,053	3,206±0,065	8,46±0,10	1,238±0,037	0,552±0,023	18,53±0,12
Kwarc	17,80±0,37	24,65±0,33	NW	23,53±0,30	19,25±0,18	NW
Piryt	NW±	NW	4,68±0,14	2,185±0,085	NW	NW
Markasyt	NW	NW	2,39±0,15	2,416±0,085	NW	NW
Turmalin	NW	4,23±0,25	NW	6,42±0,24	18,69±0,24	NW
Topaz	NW	NW	NW	NW	9,84±0,22	NW

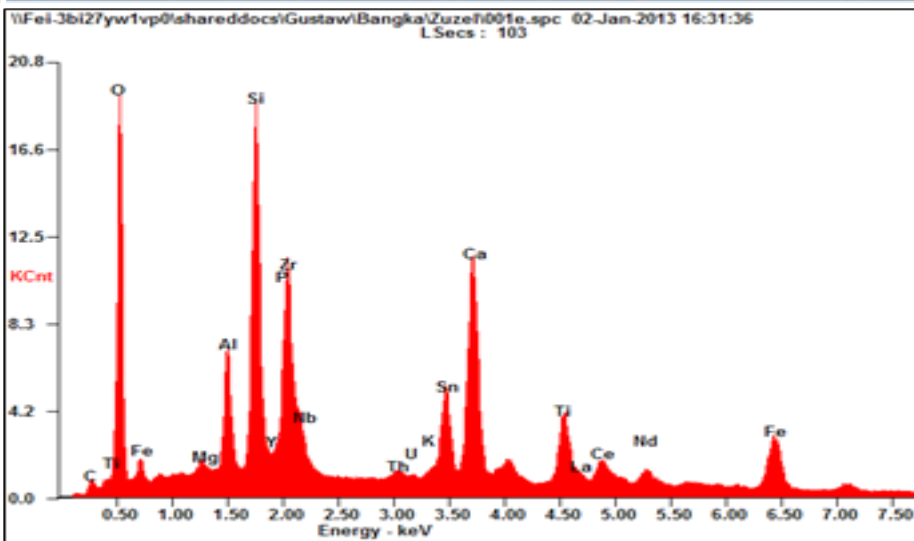
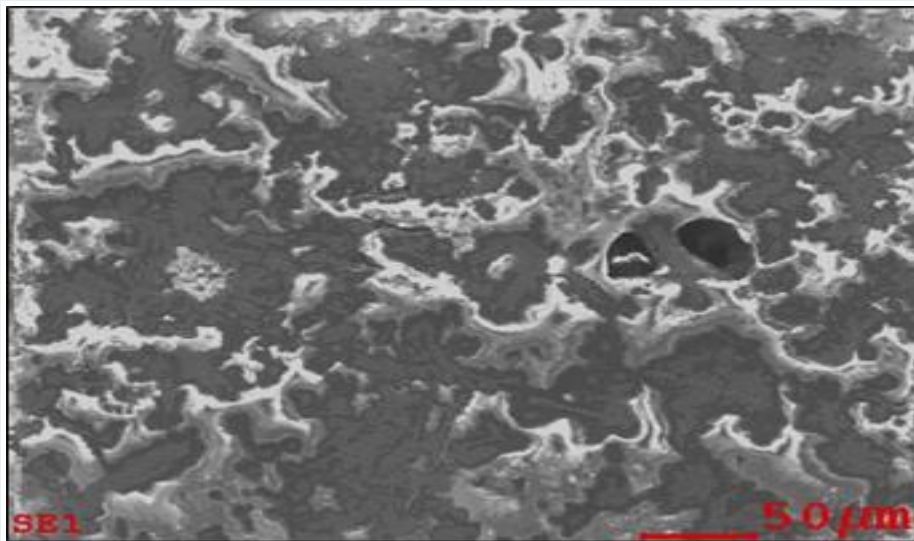
- Mineralogical examinations have confirmed the presence of **REE-bearing minerals, ilmenite and rutile, cassiterite and niobium-tantalum phases.**
- On the basis of the predominating constituent (**more than 50 wt%**) the following concentrates can be distinguished in the tailings:
 - 1) zircon;
 - 2) ilmenite-rutile;
 - 3) monazite and
 - 4) monazite-xenotime-zircon mixture.
- In all samples anomalous rare earths elements contents have been found (**LREE > 130000 ppm**), and **HREE+Y (up to 25147.4 ppm)** in particular.
- Tailing samples contain the **most critical HREE**: Dy (to 3414.9 ppm), Tb (to 834.8), Eu (to 61.8 ppm), Nd (>10000 ppm), and Y (to 11987.3 ppm) and elevated values of: Ga (to 292.8 ppm); Hf (to 6420.5 ppm); Ta (to 776 ppm); Nb (0.23 wt%) W (to 1351.8 ppm); Zr (>50000 ppm) and Sc (to 110 ppm).
- These results indicate the tailing to have a high economic potential.

Żużle po wytopie cyny



Prymitywne hutnictwo cyny z kasyterytu (Indonezja), koncentrat kasyterytowy mieszany jest z antracytem oraz wapieniem i poddawany redukcji oraz przetopowi w piecach w temperaturze około 1200oC

Slag – after tin smelting



Element	Wt %	At %
C	02.48	05.80
O	33.94	59.52
Mg	00.41	00.47
Al	03.42	03.56
Si	10.04	10.03
Y	01.09	00.34
P	02.92	02.64
Zr	08.32	02.56
Nb	00.93	00.28
Th	00.90	00.11
U	00.15	00.02
K	00.27	00.19
Sn	09.42	02.23
Ca	07.47	05.23
Ti	04.06	02.38
La	02.12	00.43
Ce	03.94	00.79
Nd	01.14	00.22
Fe	06.10	03.06
Ta	00.87	00.14

- **Niob i tantal** – zidentyfikowano w żużlu powstałym w procesie hutniczego wytopu cyny z koncentratu kasyterytowego.
- Analiza metodą EDS pozwoliła określić obecność w żużlu Zr, Ti, REE i zawartość Nb i Ta na poziomie 1%.
- Sprawia to realne możliwości wykorzystania żużli do odzyskiwania metali krytycznych

[illegible]

Zagadnienia wyceny złóż antropogenicznych

- W Polsce brak jest uregulowań w zakresie prowadzenia Wyceny Złóż Kopalin i Złóż Antropogenicznych – w tym konieczności posiadania odpowiednich Kwalifikacji. (Kodeks po liftingu)
- Złóża antropogeniczne są własnością Użytkownika Górniczego lub Posiadacza Złóża Antropogenicznego.
- (A5.01) „Wycena” w tekście Kodeksu POLVAL oznacza oszacowywanie Wartości (rozumianej jako równowartość w pieniądzu, cenę) Aktywów Geologiczno-Górniczych dostępnych Użytkownikowi Górniczemu lub Posiadaczowi Złóża Antropogenicznego, w przeciwieństwie do terminu „ocena”, której głównym celem jest określenie ekonomicznej użyteczności majątku.

Miejsce złóż antropogenicznych w systemie aktywów AGG

- Złóża A są aktywami AGG typu I, II, IV, V
- Dokumentacja geologiczna złoża antropogenicznego powinna mieć treść i formę dostosowaną do wymagań przepisów w sprawie dokumentacji geologicznej złóż kopalin i być sporządzona przez osobę mającą uprawnienia do dokumentowania złóż kopalin stałych.
- Zasoby złoża antropogenicznego:
 - a. Zasoby geologiczne – całkowita ilość substancji mineralnej składowanej w złożu (zwale, osadniku).
 - b. Zasoby operatywne substancji mineralnej – ilość zasobów geologicznych, które mogą być przedmiotem ekonomicznie uzasadnionej eksploatacji, pomniejszone o straty eksploatacyjne i przeróbcze.

Zalecane podejście do wyceny

Moim zdaniem (biorąc pod uwagę wcześniejsze rozważania o istocie złóż antropogenicznych) zalecanym podejściem powinno być **podejście kosztowe**

Wnioski

- Do pgg i POLVAL należy wprowadzić definicje **nagromadzenia i złóż antropogenicznego**
- **nagromadzenia i złóż antropogeniczne** są potencjalnym źródłem metali o zasobach umożliwiającym ekonomiczne zagospodarowanie
- Dokumentowanie **nagromadzeń i złóż antropogenicznych** jest bardziej dostępne i wiarygodne niż dokumentowanie złóż naturalnego
- Elastyczność dokumentowania i wykorzystywania **nagromadzeń i złóż antropogenicznych** jest większa niż złóż naturalnych
- Zalecanym podejściem do wyceny **nagromadzeń i złóż antropogenicznych** powinno być **podejście kosztowe**

Dziękuję za uwagę i dyskusję.
Do zobaczenia w realu.....

