

UNEXMIN – AUTONOMICZNA SONDA DO BADANIA ZALANYCH PODZIEMNYCH KOPALŃ

UNEXMIN – THE AUTONOMOUS UNDERWATER EXPLORER FOR FLOODED MINES

Eugeniusz Jacek Sobczyk - Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków
Marek Szuwarzyński – niezależny ekspert w zakresie geologii górniczej

Szacuje się, że w Europie jest 30 000 zamkniętych kopalń, a wiele z nich może zawierać znaczne ilości niewydobytych kopalnin. Większość z tych kopalń jest teraz zatopionych, a w wielu przypadkach informacje o ich stanie pochodzą sprzed dziesięcioleci. Skomplikowany układ podziemnych wyrobisk większości podziemnych kopalń uniemożliwia wykonywanie w nich pomiarów i obserwacji za pomocą konwencjonalnych metod. Wykorzystanie pletwonurków do eksploracji podwodnej w zatopionych kopalniach może być bardzo niebezpieczne. W związku z tym powstał pomysł opracowania autonomicznej sondy pozwalającej na badanie zalanych podziemnych kopalń.

Głównym celem projektu UNEXMIN (Underwater Explorer For Flooded Mines) jest opracowanie w pełni autonomicznego wieloplatformowego eksploratora, który tworzą trzy roboty, umożliwiające nieinwazyjne metody badawcze w zatopionych kopalniach. Pionierska technika opracowana przez UNEXMIN mogłaby otworzyć nowe scenariusze eksploracji zatopionych kopalń w Europie, aktualizując dane geologiczne, mineralogiczne i przestrzenne, do których nie można uzyskać dostępu w żaden inny sposób, bez ponoszenia ryzyka dużych kosztów.

Słowa kluczowe: kopalnie zlikwidowane, badania geologiczne, autonomiczna sonda

In Europe, it is estimated that there are 30,000 closed mine sites and many of these may have considerable amounts of unexploited mineral commodities. Many of these closed mines are now flooded and the last piece of information of their status and layout is decades or more than a hundred years old. The complex underground layout, topology and geometry of most underground mines, make it impossible to do any surveying by conventional or remotely controlled equipment. One of these examples is the usage of human divers, which can prove unfruitful and even lethal in harsh deep mine conditions.

The main objective in the UNEXMIN project is to develop a fully autonomous multi-platform Robotic Explorer, made by three robots which will share the workload, that will use non-invasive methods for 3D mine mapping on flooded and deep mines, otherwise inaccessible, in Europe. UNEXMIN's pioneer developing technique could open new exploration scenarios for European abandoned mines, with the help from actualized data that cannot be accessed any other way, without major costs.

Keywords: closed mines, geological surveys, autonomous multi-platform

Polskie Stowarzyszenie Wyceny Złóż Kopalnin, jako członek Europejskiej Federacji Geologów, bierze udział w realizacji projektu UNEXMIN (Underwater Explorer For Flooded Mines). Projekt UNEXMIN jest finansowany przez Unię Europejską w ramach programu Horizon2020 (NR: 690008 (H2020-SC5-2015)). Czas realizacji projektu to 45 miesięcy (1 lutego 2016 - 31 grudnia 2019).

Koncepcja realizacji projektu UNEXMIN

Szacuje się, że w Europie jest 30 000 zamkniętych kopalń, a wiele z nich może mieć znaczne ilości surowców. Większość z tych kopalń jest teraz zatopiona, a w wielu przypadkach informacje o ich statusie pochodzą sprzed dziesięcioleci. Skomplikowany układ podziemnych chodników większości podziemnych kopalń uniemożliwiają wykonywanie pomiarów za pomocą konwencjonalnych metod, w tym z wykorzystaniem pletwonurków, co może

być bardzo niebezpieczne.

W ramach projektu UNEXMIN opracowywane jest nowe rozwiązanie do wyszukiwania i mapowania podziemnych zatopionych kopalń do głębokości 500 m.

Cele projektu UNEXMIN

Celem projektu jest opracowanie w pełni autonomicznego robota do eksploracji zalanych kopalń, w szczególności:

- konstrukcja i budowa robota UX-1 dla graficznego odwzorowania modelu 3D zalanych kopalń,
- opracowanie i kalibracja urządzeń do gromadzenia informacji mineralogicznych,
- opracowanie wielozadaniowej platformy umożliwiającej współpracę i rozdział zadań między robotami,
- przeprowadzenie testu prototypu na wybranych kopalniach pilotowych.

Wykonawcami projektu jest konsorcjum złożone z instytucji naukowo-badawczych, które zostały podzielone według zakresu prac badawczych.

Za rozwój technologii odpowiedzialne są następujące instytucje:

- University of Miskolc (UM), Hungary,
- Tampere University of Technology, Department of Mechanical, Engineering and Industrial Systems (TUT), Finland,
- Universidad Politécnica de Madrid, Centre for Automation and Robotics (UPM-CSIC), Spain,
- Institute for Systems and Computer Engineering of Porto (INESC), Portugal,
- Resources Computing International Ltd (RCI), UK.

Za technologie eksploatacji odpowiedzialne są następujące instytucje:

- La Palma Research S.L. (LPRC), Spain,
- Geological Survey of Slovenia (GeoZS), Slovenia,
- European Federation of Geologists (EFG), Belgium (m.in. Polskie Stowarzyszenie Wyceny Złóż Kopalnin),
- Geo-montan (GEOM), Hungary,
- Geoplano (GEOP), Portugal.

Kluczowymi interesariuszami, na złożach których przeprowadzone zostaną testy sondy autonomicznej są:

- Ecton Mine Educational Trust (EMET), UK,
- Empresa de Desenvolvimento Mineiro (EDM), Portugal,
- Idrija Mercury Heritage Management Centre (CUDHGI), Slovenia.

Autonomiczna sonda robot UX-1 – początkowe założenia

Robot UX-1 ma wykorzystywać pomiary bezkontaktowe w celu uzyskania danych geologicznych i przestrzennych, które można później przetwarzać i analizować. Dane te mogą dostarczyć użytecznych informacji geonaukowych i topograficznych, które mogłyby doprowadzić do ponownego otwarcia zalanych kopalń, wzmacniając cały europejski sektor surowcowy. Charakterystykę robota UX-1 zilustrowano na rysunku 1.

Charakterystyka robota UX-1:

- maksymalna głębokość robocza – 500 m,
- kształt: kulisty,
- rozmiar: średnica ~ 0,6 m,
- oczekiwana masa: 112 kg,
- pobór mocy: 150-300 W,
- maksymalna prędkość: 1-2 km/h,
- czas roboczy: do 5 godzin,
- moc napędu: 2-5 Kgf.

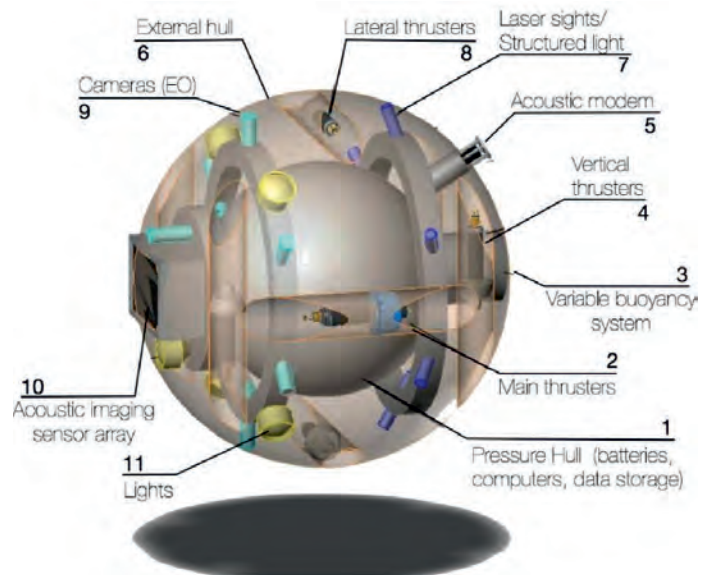
Przy projektowaniu autonomicznej sondy do badania zalanych podziemnych kopalń należało uwzględnić następujące ograniczenia i uwarunkowania środowiskowe:

1. Wyrobiska kopalń mogą być wąskie, w związku z tym należy uwzględnić to przy projektowaniu manewrowości robota, jak i przy wyposażeniu robota.

2. Woda w kopalni nie zawsze jest przezroczysta, a napęd robota powoduje zwiększenie zmętnienia wody.

3. Różnice w jakości wody są wysokie. Woda może mieć niską wartość pH; stąd też zewnętrzny sprzęt robota musi być wykonany z materiałów odpornych na działanie kwasów.

4. Zakres temperatury wody: +4 – 40°C.



Rys. 1. Wstępny projekt robota UX-1

Fig. 1. The preliminary design of the UX-1 robot

5. Prędkość przepływu wody może być wysoka.

6. Maksymalna głębokość: 500 m.

7. Ociosy wyrobisk kopalni mogą być niestabilne; dlatego przemieszczanie robota musi być bezkontaktowe w stosunku do otoczenia.

8. Wyrobiska kopalni mogą być pionowe, poziome i mogą mieć różne nachylenie, w związku z tym robot musi poruszać się we wszystkich kierunkach.

9. Wyrobiska poziome mogą mieć różne wymiary. W przypadku mniejszych wyrobisk (starsze kopalnie) wysokość jest zwykle większa niż szerokość. Wyrobiska na ogół mają wysokość i szerokość nie większą niż 5 metrów, a niektórych szerokość może przekraczać 10 metrów (komory, skrzyżowania wyrobisk).

10. Maksymalny dystans przemieszczania robota – 2,5 km.

Prototyp robota UX-1

W ramach projektu UNEXMIN opracowywane jest nowe rozwiązanie do wyszukiwania i mapowania podziemnych zatopionych kopalń do głębokości 500 m. Robot UX-1 wykorzystuje pomiary bezkontaktowe w celu uzyskania danych geologicznych i przestrzennych, które można później przetwarzać i analizować. Dane te mogą dostarczyć użytecznych informacji geonaukowych i topograficznych, które mogłyby doprowadzić do ponownego otwarcia zalanych kopalń, wzmacniając cały europejski sektor surowcowy.

W ramach realizacji projektu jeden prototyp robota został już zbudowany z szeregiem podstawowych narzędzi, które obejmują między innymi:

Metody analizy wody:

- temperatura,
- ciśnienie,
- pH,
- przewodnictwo elektryczne,
- pobieranie próbek wody.

Metody geofizyczne:

- pomiar pola magnetycznego,
- naturalna (integralna) aktywność promieniowania gamma,
- sub-bottom sonar.

Metody optyczne:

- kamera wielospektralna,
- obrazowanie fluorescencyjne UV.

Realizacja projektu UNEXMIN

Do składu konsorcjum wykonawców projektu UNEXMIN, w zespole Europejskiej Federacji Geologów, zaproszono Polskie Stowarzyszenie Wyceny Złóż Kopalin. Zadaniem Stowarzyszenia, w pierwszym etapie prac, była inwentaryzacja zatopionych w Polsce kopalń rud metali, w których możliwe byłoby wykonanie eksperymentu UNEXMIN, a także upowszechnianie transferu technologii wypracowanych w ramach projektu.

Inwentaryzacji zatopionych kopalń rud metali dokonano z uwzględnieniem założonych w projekcie kryteriów. Zgodnie z nimi, eksperyment ma być przeprowadzony w nieczynnych kopalniach rud metali, które są niedostępne dla wykonywania badań geologicznych z użyciem innych sposobów, niż przewidziany w projekcie. Dodatkowo, kopalnie mają mieć złożoną strukturę oraz głębokość poniżej 50 m.

Ponieważ to ostatnie kryterium (głębokość poniżej 50 m) zdefiniowane zostało niezbyt precyzyjnie, tj. bez sprecyzowania, czy chodzi o położenie poniżej powierzchni terenu, czy o minimalną wysokość słupa wody, przyjęto że rozpatrzone zostaną wszystkie kopalnie podziemne, co najmniej częściowo zatopione, w których mogły zachować się drożne wyrobiska chodnikowe i wybierkowe połączone z wyrobiskami udostępniającymi, szymbami lub sztolniami.

Podstawą wyboru była robocza inwentaryzacja potencjalnych lokalizacji, opracowana na podstawie danych o górnictwie rud metali w Polsce zawartych w monografiach R. Krajewskiego

[1] i R. Osiki [2]. Na ich podstawie zidentyfikowano ponad 150 lokalizacji, skupionych w następujących rejonach:

1. Śląsko-krakowski okręg wydobywania rud cynku, ołowiu i żelaza (z odzyskiem srebra, kadmu oraz incydentalnie talu).

2. Okręg wydobywania rud miedzi (z odzyskiem srebra) w niecce północnosudeckiej, tzw. stara miedz.

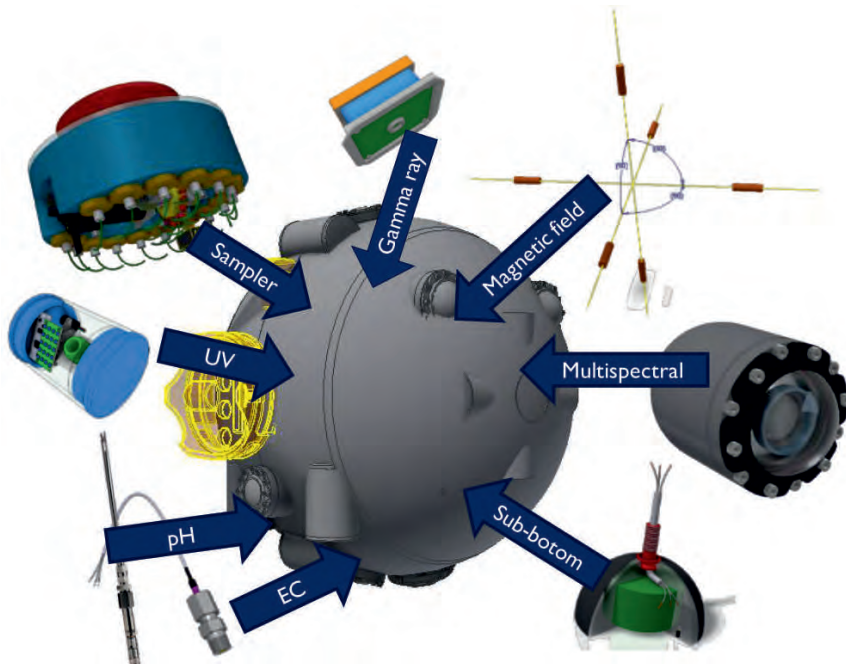
3. Skupienie kilkunastu ośrodków wydobywania rud na terenie szeroko rozumianych *Sudetów* - funkcjonowały tu liczne niewielkie kopalnie rud ołowiu, miedzi, srebra, cyny, kobaltu, niklu, chromu, arsenu, uranu, żelaza, pirytu i złota, a po 1945 także rud uranu.

4. Obszar wydobywania rud żelaza z utworów mezozoicznych w rejonie *Zawiercia, Częstochowy oraz w Łęczycy*.

5. Staropolski okręg przemysłowy w *Górach Świętokrzyskich* i na obszarze przyległym, obejmujący kilka obszarów wydobywania rud ołowiu i miedzi (z odzyskiem srebra i złota), pirytów z uranem oraz rud żelaza.

6. Okręgi surowcowe w *Karpatach* (tatrzański, z obszarami wydobywania rud miedzi ze złotem i srebrem oraz rud żelaza, pieniński - prawdopodobnie wyłącznie wyrobiska poszukiwawcze w rejonie Jarmuty oraz wydobywania rud żelaza w Karpatach fliszowych, w Beskidzie Śląskim, Małym i Średnim).

Tak wytypowane lokalizacje oceniono zgodnie z podanymi wyżej kryteriami, biorąc pod uwagę dane dostępne w przestrzeni publicznej (opracowania wykonane dla potrzeb władz samorządowych szczebla gminnego i powiatowego, opracowania krajoznawcze, portale internetowe grup „eksploratorów”, itp.). Wstępna selekcja doprowadziła do znacznej redukcji potencjalnych lokalizacji, w tym wyeliminowania dwóch wymienionych rejonów 4 i 6 (rys. 3). W przypadku kopalń mezozoicznych rud żelaza przesądziło o tym potencjalne zaciśnięcie starych zrobów. W przypadku lokalizacji karpackich, w odniesieniu do znajdujących się w obrębie Karpat fliszowych, za decydujący uznano ten sam czynnik, a dla obszarów tatrzańskiego i pienińskiego - lokalizacja wyrobisk powyżej zwierciadła wód gruntowych (dodatkowo istotne są tu trudna dostępność i położenie na obszarach chronionych).



Rys. 2. Wybrane metody badawcze zastosowane w robocie UX-1
Fig. 2. Selected research methods used in the UX-1 robot

W pozostałych obszarach wyeliminowano lokalizacje, w których dominują wpływy drenażu grawitacyjnego.

W ten sposób liczba potencjalnych lokalizacji zmniejszyła się do ok. 30. Spośród nich wybrano 17, których uproszczoną charakterystykę przedstawiono w tabeli 1. Na tym etapie zastosowano dodatkowe kryterium - dostępność do zatopionych wyrobisk. Wyeliminowano wszystkie lokalizacje, w których prawdopodobieństwo dotarcia do takich wyrobisk w prosty sposób można uznać za bliskie zera (wskutek zasypania szybu lub sztolni udostępniającej). Trzeba podkreślić, że ten wybór w wielu przypadkach miał cechy arbitralne, z powodu braku wystarczających informacji. Z drugiej strony, lokalizacje wytypowane jako perspektywiczne, z tego samego powodu niekoniecznie muszą spełniać tak określone kryterium dostępności.

Z tego powodu, wybór określonej lokalizacji do przeprowadzenia eksperymentu powinien być poprzedzony dodatkową analizą uwzględniającą materiały archiwalne dotyczące obiektu oraz wyniki wizji lokalnej. W podanych przypadkach istotne są zwłaszcza sposób zamknięcia szybu, a także określenie sposobu połączenia wyrobisk kopalni w rurą szybową lub sztolnią.

Trzeba zwrócić uwagę, że w dłuższej perspektywie czasowej doskonałym miejscem dla dokonania eksperymentu podobnego do UNEXMIN mogłyby być wyrobiska kopalni rud cynku i ołowiu Pomorzany, których zatapianie rozpocznie się w najbliższych latach.

Testy robota UX-1 w różnych środowiskach

Robot UX-1a był już z powodzeniem testowany w dwóch lokalizacjach:

- w kopalni odkrywkowej i częściowo podziemnej pegmatytu Kaatiala w Finlandii (11-21 czerwca 2018 r.),
- w kopalni rtęci Idrija w Słowenii (11-21 wrzesień 2018 r.), która jest na liście Światowego Dziedzictwa UNESCO.

Planowane są jeszcze dwa testy terenowe:

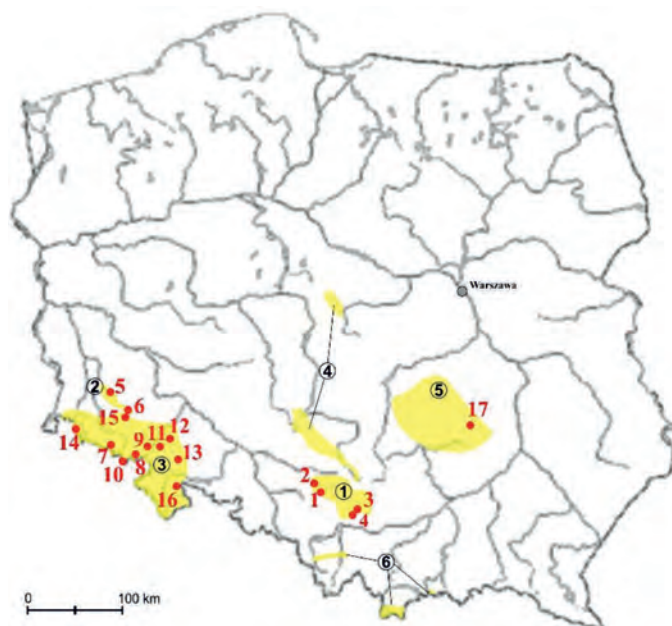
- w kopalni uranu Urgeiriça w Portugalii, gdzie poziom wody znajduje się 5 do 10 m poniżej powierzchni terenu. Eksperyment będzie prowadzony przy użyciu dwóch robotów UX-1,
- w kopalni miedzi Ecton w Wielkiej Brytanii, zalanej ponad 160 lat temu. W tym eksperymencie będą współpracować trzy roboty w celu zebrania danych przestrzennych i geologicznych, w celu opracowania modelu 3D.

Podsumowanie

Projekt UNEXMIN może otworzyć nowy scenariusz badania zatopionych kopalń w celu zebrania informacji geologicznych, mineralogicznych i przestrzennych. Pozwoli także, aby strategiczne decyzje dotyczące ponownego otwarcia kopalń w Europie mogły być wspierane przez aktualizowane dane, których nie można uzyskać w inny sposób, bez ponoszenia wysokich kosztów.

Realizacja projektu UNEXMIN może przyczynić się do:

- wprowadzenia krajów UE na czołowe miejsce w dziedzinie zrównoważonych technologii pomiarów i poszukiwań



1 - kopalnia Orzeł Biały w Bytomiu, 2 - kopalnia Fryderyk (Friedrich) w Tarnowskich Górach, 3 - kopalnia Trzebieńka w Trzebieńcu, 4 - kopalnia Matylda w Chrzanowie, 5 - kopalnia Konrad w Iwinach, 6 - kopalnia Lena w Wilkowie, 7 - kopalnia Podgórze w Kowarach, 8 - kopalnia Grzmiąca w Głuszczy Dolnej, 9 - kopalnia Rusinów w Dzieńmorowicach, 10 - kopalnia Okrzeszyn w Okrzeszynie, 11 - kopalnia Marie-Agnes w Bystrzycy Górnej, 12 - sztolnie w rej. miejscowości Tapadla, 13 - kopalnia Szklary w Szklarach, 14 - kopalnia Gierczyn (Reicher Trost&Süsette) w Gierczynie, 15 - kopalnia Stara Góra (Wilhelm) w Radzimowicach, 16 - kopalnia Złoty Stok w Złotym Stoku, 17 - kopalnia Staszic w Rudkach.

Rys. 3. Lokalizacja wybranych kopalń do przeprowadzenia eksperymentu UNEXMIN

Fig. 3. Location of selected flooded underground mines to carry out the UNEXMIN experiment



Rys. 4. Robot UH-1 w czasie testów w zatopionych wyrobiskach kopalni
Fig. 4. UH-1 robot during tests in flooded mine

geologicznych,

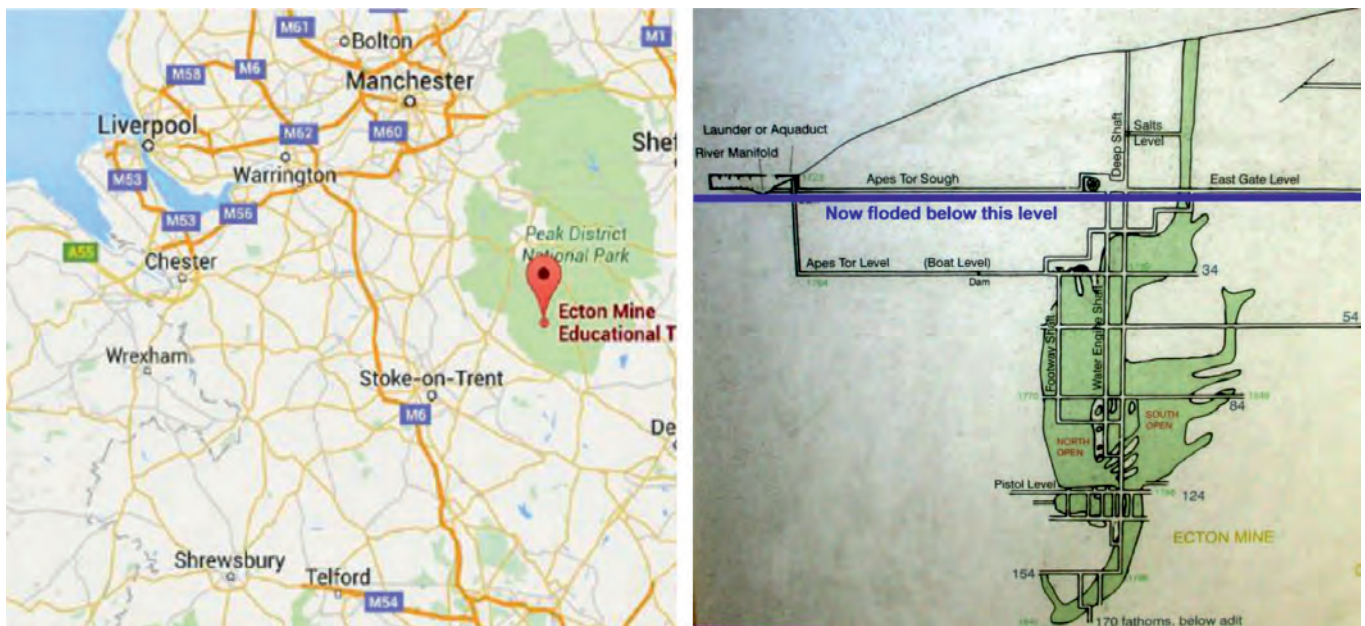
- zwiększenia zdolności krajów UE do przewartościowania zamkniętych kopalń ze względu na ich potencjał mineralny, przy zmniejszonych kosztach poszukiwań i zwiększonym bezpieczeństwie inwestycyjnym dla potencjalnych przedsiębiorstw górniczych,

- pomocy w ochronie unikalności dziedzictwa górniczego Europy.

Tab. 1. Charakterystyka wybranych kopalń do przeprowadzenia eksperymentu UNEXMIN
 Tab. 1. Characteristic of selected flooded underground mines to carry out the UNEXMIN experiment

Site / mine name	Commodities		Specific information for UNEXMIN		
	Commodity 1	Commodity 2	Access to the mine	Availability of map and sections of mine/ Date/Location	Flooded part exists (y/n)
Orzeł Biały Mine, Bytom	zinc and lead ore	nonsulphide zinc ore (galman)	by road	yes, original mine maps available in the ADMG (file No. 25/2000)	yes, all workings below water table
Fryderyk (Friedrich) Mine, Tarnowskie Góry	lead ore (silver-bearing galena)	nonsulphide zinc ore (galman)	by road	yes, printed map „Karte des Oberschlesisches Bergbaues..” (1913), available in the Muzeum Górnictwa Węglowego, Zabrze	yes, all workings below water table
Trzebieńka Mine, Trzebinia	zinc and lead ore	N.A.	by road	yes, original mine maps available in the ADMG (file No. 5/2010)	yes, all workings below water table
Matylda Mine, Chrzanów	lead ore	nonsulphide zinc ore (galman)	by road	yes, original mine maps available in the ADMG (file No. 22/2005)	yes, all workings below water table
Konrad Mine, Iwiny	copper ore (with silver)	N.A.	by road	yes, original mine maps available in the ADMG (file No. 30/2007); also some documents available in the KGHM Polska Miedź	yes, mine is totally flooded
Lena Mine, Wilków	copper ore (with silver)	N.A.	by road	N.A. (may be archive of KGHM Polska Miedź)	yes, mine is totally flooded
Podgórze Mine, Kowary	uranium ore	iron ore (magnetite)	by road	yes, original mine maps available in the ADMG (file No. 19/2014)	yes, all workings below bottom of adit
Grzmiąca Mine, Głuszyca Dolna	uranium ore	N.A.	by road	yes, original mine maps available in the ADMG (file No. 37/2014)	yes, mine is totally flooded
Rusinów Mine, Dzieńmorowice	uranium ore	polymetalic ore?	by road	yes, original mine maps available in the ADMG (file No. 46/2014)	yes, deeper parts of mine structure
Okrzeszyn Mine, Okrzeszyn	uranium ore	coal	by road	yes, original mine maps available in the ADMG (file No. 36/2014)	yes, mine is totally flooded
Marie-Agnes Mine, Bystrzyca Górna	zinc and lead ore (with silver)	N.A.	by road	N.A. (see http://www.sztolnie-forum.pl/viewtopic.php?t=18)	yes, all workings below bottom of adit
Tapadła	chromite	N.A.	on foot	N.A. (see http://geopark.org.pl/Badania/Madziarz_Tapadla.pdf)	yes, all workings below bottom of adit
Szklary	nickel ore	chrysoprase	by road	N.A. (see http://www.history-of-mining.pwr.wroc.pl/attachments/article/20/05FurmankiewiczKrzyzanowski_Relikty_kopalni_Ni_w_Szklarach.pdf)	yes, deeper parts of mine structure
Gierczyn Mine (former Reicher Trost&Süsette)	tin ore	chrysoprase	by road	yes, original mine maps available in the ADMG (file No. 47/2014)	yes, deeper parts of mine structure
Stara Góra (Wilhelm) Mine, Radzimowice	arsenopyrite	copper ore	by road	yes, original mine maps available in the ADMG (file No. 48/2014)	yes, deeper parts of mine structure
Złoty Stok Mine	arsenopyrite (with gold)	N.A.	by road	N.A. (see http://www.zlotystok.pl/sciezka/indexpl.htm)	yes, all workings below bottom of adit
Staszic Mine, Rudki	pyrite	uranium ore	by road	yes, original mine maps available in the ADMG (file No. 40/2014)	yes, mine is totally flooded

Specific information for UNEXMIN		Geological information		General information		Additional Notes
If yes, water level (m)	Access to the water level	Primarily deposit type	Secondary deposit type	Activity status	Reason for mine closure including year of closure	
ca. + 160 m (depth 129,3 m)	by vertical shaft (Szyb Bolko)	MVT zinc-lead sulphide orebodies	in situ oxidized orebodies	closed in 1990	exhaustion of mineral resource	active underground pump station located near shaft
not determined	both shaft and adit	MVT zinc-lead sulphide orebodies	in situ oxidized orebodies	closed in 1913	exhaustion of mineral resource	some mine workings used as underground museum (shaft Szyb Anioł, and adit Sztolnia Czarnego Pstrąga)
ca. +250 m (depth ca. 60 m)	by vertical shaft (Szyb Włodzimierz)	MVT zinc-lead sulphide orebodies	ND	closed in 2010	exhaustion of mineral resource	main shaft (szyb Włodzimierz) converted into water intake, recently inactive
ca. + 241 m (depth ca. 45 m)	by vertical shaft (Szyb Józef)	MVT zinc-lead sulphide orebodies	in situ oxidized orebodies	closed in 1973	exhaustion of mineral resource	auxiliary shaft (szyb Józef) converted into water well, now disused
1 - 25 m below surface	by vertical shaft (Szyb K-I)	sediment-hosted stratiform copper deposits	ND	closed in 1988	exhaustion of mineral resource	main shaft (szyb K-I) converted into water well, recently inactive
1 - 25 m below surface	by vertical shaft (Szyb Główny)	sediment-hosted stratiform copper deposits	ND	closed in 1974	exhaustion of mineral resource	main shaft (szyb Główny?) converted into water well, probably inactive,
not determined	by horizontal adit	metamorphic magnetite ore deposit	hydrothermal polymetallic mineralization with U	closed in 1958	exhaustion of mineral resource	video about diving in mine: http://www.kopalniapodgorze.pl/
not determined	by vertical shaft (no name)	sandstone hosted uranium deposits	ND	closed in 1960	exhaustion of mineral resource	shaft covered with concrete plate (probably)
not determined	both shafts and adit (probably)	hydrothermal polymetallic vein mineralization	hydrothermal polymetallic mineralization with U	closed in 1952	exhaustion of mineral resource	underground „exploration” reported (e.g. http://www.eksploracja.org.pl/page.php?31)
not determined	by vertical shaft	uranium-bearing coal and sandstone	ND	closed in 1957	?	
not determined	by horizontal adit	hydrothermal quartz-barite veins with sulphides	ND	closed before 1904	exhaustion of mineral resource	video about diving in mine: https://www.youtube.com/watch?v=dehFchaHY-c
ca. +373 m	by horizontal adit	podiform chromite bodies	ND	closed in 1944	exhaustion of mineral resource	video about diving in mine: http://www.sztolnie-forum.pl/viewtopic.php?t=1243
not determined	by vertical shaft (Brunnen)	lateritic nickel ores	ND	closed in 1989	exhaustion of mineral resource	old shaft Brunnen converted into water intake
not determined	by vertical shaft	metamorphic schicht with garnets and cassiterite	ND	closed in 1959	exhaustion of mineral resource	diving reported: http://www.sztolnie-forum.pl/viewtopic.php?f=83&t=387
ca. + 435 m	by vertical shaft (Louis)	hydrothermal polymetallic vein mineralization	ND	closed in 1958	exhaustion of mineral resource	
ca. +357 m	by horizontal adit (Sztolnia Gertuda)	hydrothermal polymetallic vein mineralization	ND	closed in 1961	exhaustion of mineral resource	some mine workings used as underground museum
not determined	by vertical shaft	hydrothermal pyrite-siderite-hematite mineralization	hydrothermal uranium mineralization	closed in 1976	exhaustion of mineral resource	



Rys. 5. Lokalizacja i przekrój przez kopalnię Ecton Mine, UK
 Fig. 5. Location and section through the mine Ecton Mine, UK

Literatura

- [1] Krajewski R. (ed.) 1960, *Geologia złóż surowców mineralnych Polski. Surowce metaliczne*. Biul. Inst. Geol., s. 389
- [2] Osika R. (ed.) 1987, *Budowa geologiczna Polski. T. IV. Złoże surowców mineralnych*. Wyd. Geol., Warszawa, cz. III. Rudy metali, pp. 231 - 377 i cz. II. Surowce energetyczne, rozdz. Rudy uranu i toru, s. 212 - 228
- [3] <https://www.unexmin.eu/>



Dom Długosza w Sandomierzu

z arch. Urząd Miejski w Sandomierzu