

WIELOKRYTERIALNA OCENA DOSTĘPNOŚCI NIEZAGOSPODAROWANYCH ZŁÓŻ SUROWCÓW SKALNYCH METODAMI AHP I WLC NA PRZYKŁADZIE POWIATU KŁODZKIEGO

MULTICRITERIA ASSESSMENT OF UNDEVELOPED ROCK MINERAL DEPOSITS WITH AHP AND WLC METHODS – CASE OF THE KŁODZKI POVIAT (POLAND)

Jan Blachowski, Katarzyna Masłowska – Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii,
Politechnika Wrocławska

W artykule przedstawiono metodę oceny dostępności złóż surowców skalnych opartą na wielokryterialnej hierarchicznej analizie procesu (Analytic Hierarchy Process, AHP) oraz ważonej kombinacji liniowej (Weighted Linear Combination, WLC). Proponowana metodyka posłużyła do wstępnej oceny dostępności niezagospodarowanych złóż kamieni łamanych i blocznych w powiecie kłodzkim. W tym celu zidentyfikowano podstawowe kryteria dostępności, opracowano hierarchiczną strukturę decyzyjną w celu określenia wag poszczególnych kryteriów oraz przeprowadzono analizę przestrzenną dostępności złóż z wykorzystaniem metody WLC w GIS. W wyniku pilotażowej analizy otrzymano ranking 17 niezagospodarowanych złóż kamieni łamanych i blocznych w powiecie kłodzkim w relacji do czynników ochrony przyrody i zagospodarowania przestrzennego.

Słowa kluczowe: ocena dostępności złóż, surowce skalne, AHP, WLC, powiat kłodzki

Methodology for assessing rock minerals deposits accessibility based on multicriteria analytical hierarchy process (AHP) and weighted linear combination methodologies is the subject of this paper. The proposed methodology has been used for preliminary assessment of accessibility of dimension and crushed stones in the Kłodzki Poviast (Poland). With this aim, the primary accessibility criteria have been identified, hierarchical decision structure has been developed to determine weights of the criteria and a spatial accessibility analysis has been performed with the use of WLC method in GIS. In the result the 17 undeveloped deposits in the poviast of dimension and crushed stones have been ranked in terms of their accessibility taking into account environmental and spatial development factors.

Key words: accessibility evaluation availability, rock materials, AHP, WLC, kłodzki poviast

Wprowadzenie

Nieodnawialność zasobów surowców mineralnych, takich jak np. surowce skalne, stwarza potrzebę szczególnej troski w zakresie ich ochrony. Konieczność uwzględniania innych niż udokumentowane złoża surowców form i funkcji zagospodarowania terenów, takich jak np. zabudowa i różne formy ochrony przyrody, powodują konieczność dokonywania wyborów w zakresie zagospodarowania przestrzeni w tym udostępniania nowych złóż surowców. Informacja pozwalająca na obiektywną ocenę złóż w zakresie możliwości ich zagospodarowania i ochrony zasobów najwartościowszych może pochodzić z waloryzacji złóż [1].

W Polsce problematyką waloryzacji złóż surowców skalnych od wielu lat zajmują się m.in.: Nieć, Radwanek-Bąk i Uberman. Radwanek-Bąk [2] proponując podział złóż kopalin skalnych na trzy kategorie o zróżnicowanym zakresie ochrony (ochrona zwykła, wysoka ochrona oraz najwyższa ochrona), proces wa-

loryzacji opiera na dwóch grupach kryteriów z uwzględnieniem dokładności informacji geologicznej (grupa kryteriów geologiczno-surowcowych oraz obciążenia sozologiczno-planistyczne). Ocena dokonywana jest poprzez przyporządkowanie złóż do jednej z trzech lub czterech klas w zależności od rozpatrywanej grupy kryteriów. Końcowa ocena jest trójczłonowa, składają się na nią klasa walorów geologiczno-surowcowych, klasa obciążeń sozologiczno-planistycznych oraz kategoria rozpoznania złoża. Nieco inne podejście przedstawiono w publikacjach [1, 3, 4], gdzie waloryzacja opiera się na czterech grupach kryteriów: geologiczno-złożowych, górniczych, środowiskowych oraz planistycznych, a końcową oceną są zestawienia czterech symboli, które stanowią ocenę danego złoża ze względu na każde ze wspomnianych grup kryteriów. Uberman [5], dla kopalin energetycznych (złóż węgla brunatnego) proponuje waloryzację z uwzględnieniem dwóch kryteriów: wielkości zasobów oraz walorów surowcowych i klasyfikacji złóż na trzy kategorie: najwyższej, wysokiej oraz zwykłej ochrony.

Podjęmowano już także próby wykorzystania metodyki analiz wielokryterialnych w waloryzacji złóż surowców. W Polsce metodykę opartą na wielokryterialnej analizie hierarchicznej (Analytical Hierarchy Proces - AHP) [6, 7] w odniesieniu do złóż surowców mineralnych stosowali już Uberman i Ostręga [8] oraz Ptak [9]. Prace te dotyczyły, w pierwszym przypadku, opracowania rankingu wybranych polskich złóż węgla brunatnego, a w drugim opracowania metody wspomagania decyzji dotyczących oceny możliwości prowadzenia odkrywkowej działalności górniczej oddziałującej na obszary Natura 2000. Za granicą metodę AHP do budowy modelu do identyfikacji obszarów przydatnych dla podziemnego zgazowania węgla zastosował Hyder [10].

W niniejszej pracy zaproponowano metodykę oceny dostępności niezagospodarowanych złóż surowców skalnych z wykorzystaniem połączenia metody AHP oraz ważonej kombinacji liniowej (ang. Weighted Linear Combination - WLC). Zastosowano ją do oceny niezagospodarowanych złóż kamieni łamanych i blocznych na przykładzie powiatu kłodzkiego. Metodę AHP użyto do określenia wag zidentyfikowanych kryteriów dostępności, natomiast metodę WLC do określenia współwystępowania poszczególnych kryteriów reprezentowanych jako mapy w przestrzeni. Połączenie tych dwóch metod umożliwiło przestrzenną analizę pozwalającą na określenie i zróżnicowanie obszarów w granicach udokumentowanych złóż pod względem dostępności ze względu na rozpatrywane kryteria [11]. Praca stanowi rozwinięcie problematyki wykorzystania systemów informacji geograficznej (GIS) do udoskonalenia i usprawnienia procedur waloryzacji złóż przedstawionej w publikacji [12].

Materialy i metodyka

Metodyka oceny dostępności niezagospodarowanych złóż surowców skalnych obejmuje cztery główne etapy. Pierwszym z nich jest określenie kryteriów przeprowadzanej oceny dostępności. Jest to etap kluczowy ze względu na wpływ przyjętych kryteriów na wynik analizy oraz jej poprawność. Etap drugi stanowi określenie istotności wybranych kryteriów z zastosowaniem metodyki AHP pozwalającej na poznanie preferencji respondentów i ustalenie wag kryteriów. Kolejny etap, to opracowanie bazy danych kryteriów w systemach informacji geograficznej pozwalającej na ich przestrzenną reprezentację w postaci jednotematycznych map. Ostatni etap to określenie dostępności obszarów złóż uwzględniającej występowanie zidentyfikowanych kryteriów jak i ich istotności poprzez zsumowanie map je reprezentujących przemnożonych wcześniej przez otrzymane w kroku drugim wagi. Szczegółowy opis przyjętej metodyki przedstawiono w dalszej części rozdziału.

Określenie kryteriów dostępności

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury, oraz ankiety reprezentatywnej grupy respondentów obejmujących m.in. specjalistów z zakresu górnictwa, ochrony środowiska, planowania przestrzennego oraz środowiska akademickiego określono grupę ośmiu kryteriów, które zdaniem autorów w największym stopniu decydują o dostępności złóż surowców skalnych. Ponieważ analiza dotyczy dostępności terenu nad udokumentowanymi i niezagospodarowanymi złożami, a nie ogólnej waloryzacji złóż, przyjęte kryteria w większości mają charakter środowiskowo-planistyczny. Są to:

- dostępność komunikacyjna - drogowa i kolejowa (oznaczone dalej jako K1),
- ochrona przyrody i krajobrazu (K2),
- ochrona lasów (K3),
- ochrona gleb (K4),
- ochrona wód podziemnych (K5),
- ograniczenia planistyczne dostępności - zabudowa terenu (K6),
- wielkość zasobów (K7),
- odległość od potencjalnych odbiorców (K8).

W celu określenia stopnia realizacji danego kryterium stworzono dodatkową skalę punktową. Na jej podstawie złoża lub tereny je otaczające otrzymują, dla każdego z kryteriów punktację w zakresie od 0 do 3 mówiącą o tym w jakim stopniu jest ono zrealizowane [11]. W przypadku kryterium dostępności komunikacyjnej złoża, które znajdują się w odległości mniejszej od 5 km od infrastruktury kolejowej otrzymują 3 pkt, te dla których odległość od kolei jest większa od 5 km, ale odległość od infrastruktury drogowej jest mniejsza niż 3 km otrzymują 2 pkt, pozostałe złoża otrzymują 1 pkt. Dla kryterium ochrony przyrody i krajobrazu złożom, które nie znajdują się w granicach przyrodniczych obszarów konfliktowych (takich jak Rezerваты Przyrody, Parki Narodowe, Parki Krajobrazowe, Obszary Chronionego Krajobrazu, Obszary Natura 2000) otrzymują wartość 3 pkt, a te znajdujące się w ich granicach otrzymują 0 pkt. W przypadku ochrony lasów złoża, które nie znajdują się na obszarach leśnych otrzymują 3 pkt, złoża nad którymi lasy zajmują mniej niż 40% powierzchni otrzymują 2 pkt, pozostałe 1 pkt. Do określenia stopnia realizacji kryterium mówiącego o ochronie gleb, tereny o klasach bonitacyjnych V i niższych otrzymują 3 pkt, tereny o klasach bonitacyjnych III i IV otrzymują 2 pkt, a tereny o klasach I i II 1 pkt. Ze względu na kryterium ochrony wód podziemnych, złoża nad głównymi zbiornikami wód podziemnych (GZWP) otrzymują 1 pkt, pozostałe 3 pkt. W kryterium dotyczącym ograniczeń spowodowanych istniejącą zabudową, złoża znajdujące się w odległości większej niż 2 km od terenów zabudowanych otrzymują 3 pkt, dla odległości większej niż 1 km i mniejszej niż 2 km - 2 pkt, dla odległości w zakresie 0,5-1,0 km - 1 pkt, a dla odległości mniejszej niż 0,5 km 0 pkt. Dla kryterium określającego wielkość zasobów posłużono się klasyfikacją zaproponowaną przez Niecia i Radwanek-Bąk [3] i tak złoża o zasobach pow. 20 milionów Mg otrzymują 3 pkt, złoża większe od 5 milionów Mg 2 pkt, a o zasobach poniżej 5 milionów Mg 1 pkt. W przypadku odległości od potencjalnych odbiorców posłużono się informacją o lokalizacji punktów przeładunku kruszyw. Złożom, które znajdują się w odległości mniejszej niż 5 km od istniejących punktów przeładunku kruszyw przypisano 3 pkt, pozostałym 1 pkt.

Określenie wag kryteriów

Określenie wag kryteriów zidentyfikowanych w etapie wcześniejszym przeprowadzono z użyciem metody hierarchicznej analizy problemu (Analytic Hierarchy Process – AHP) zaproponowanej przez Saaty'ego [6]. W metodzie tej problem analizowany jest w strukturze hierarchicznej składającej się zazwyczaj z kilku poziomów, tj.: celu, kryteriów, podkryteriów i wariantów. Poziomy podkryteriów nie są obowiązkowe. Metoda jest stosowana do otrzymania skali porównawczej na podstawie porównania parami analizowanych kryteriów. Porównania mogą wywodzić się z rzeczywistych pomiarów lub skali ocen

odzwierciedlających preferencje respondentów. Preferencje określone są za pomocą ocen względnych wyrażanych przez wartości liczbowe, zazwyczaj od 1 do 9 gdzie 1 oznacza, że porównywane kryteria są równoważne a 9 oznacza, że pierwszy z porównywanych elementów jest zdecydowanie preferowany względem drugiego elementu. Bazą dla ustalenia wag kryteriów oraz dla całego modelu jest macierz porównań, którą buduje się zgodnie ze wzorem (1) z uwzględnieniem następujących zasad - dany element macierzy jest równoważny względem samego siebie tj. równy 1 oraz wartość oceny elementu i względem elementu j jest odwrotnością oceny elementu j względem elementu i [7].

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

gdzie:

w_i/w_j - wartości ocen porównania kolejnych par kryteriów.

W celu poznania preferencji grupy respondentów, zbudowania macierzy A i określenia wag, przygotowano ankietę, w której ankietowani porównują parami kryteria, a dla każdej porównywanej pary przyporządkowują jedną z wartości ze skali zaproponowanej przez Saaty [6], gdzie:

9 – to zdecydowana przewaga kryterium i względem kryterium j ,

7 - istotnie większa przewaga kryterium i względem kryterium j ,

5 - duża przewaga kryterium i względem kryterium j ,

3 - niewielka przewaga kryterium i względem kryterium j ,

1 - kryterium i jest równoważne kryterium j .

Możliwe jest również stosowanie wartości pośrednich (2, 4, 6, 8) oraz wartości odwrotnych w przypadkach preferencji j względem i .

Weryfikacji macierzy dokonuje się poprzez określenie wskaźnika spójności (*Consistency Ratio*, CI). Wskaźnik spójności to iloraz indeksu spójności określanego ze wzoru (2) oraz przypadkowego indeksu spójności (*Random Index*, RI).

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (2)$$

gdzie:

$\lambda_{\max}$ - to maksymalna wartość własna macierzy A

n - rząd macierzy A , czyli ilość kryteriów.

Wyznaczenie wag dla poszczególnych kryteriów w metodzie AHP odbywa się poprzez wyznaczenie wektora własnego macierzy, a więc rozwiązanie równania (3):

$$A \cdot w = \lambda_{\max} w \quad (3)$$

A - macierz porównań,

w - wektor własny macierzy A (wektor wag).

Szczegółowy opis metody zawiera m.in. [6, 7].

W wyniku uśrednienia wyników odpowiedzi respondentów otrzymano macierz porównań przedstawioną w tabeli 1 [11].

Wartość indeksu spójności obliczona według wzoru (2) przy RI dla macierzy 8-ego rzędu równym 1,41 [7] wyniosła

Tab.1. Uśrednione wyniki badań ankietowych

Tab. 1. Averaged results of surveys

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
K1		0,13	0,29	0,33	0,29	0,22	0,17	0,65
K2	8,00		2,06	3,60	2,15	2,24	2,17	6,50
K3	3,50	0,49		1,14	0,86	0,47	0,38	2,24
K4	3,00	0,28	0,88		1,41	0,52	0,38	2,09
K5	3,50	0,47	1,17	0,71		0,46	0,35	1,18
K6	4,50	0,45	2,13	1,92	2,17		0,75	3,75
K7	5,75	0,46	2,61	2,67	2,88	1,33		2,52
K8	1,53	0,15	0,45	0,48	0,85	0,27	0,40	

0,02 (2%) i nie przekroczyła zalecanych w literaturze, np. [6] 10%. Wagi poszczególnych kryteriów otrzymane w wyniku wyznaczenia wektora własnego macierzy (tab. 1) kształtują się następująco i zostały omówione dalej.

$$w = \begin{bmatrix} 0,0308 \\ 0,2885 \\ 0,0961 \\ 0,0896 \\ 0,0864 \\ 0,1627 \\ 0,1942 \\ 0,0516 \end{bmatrix}$$

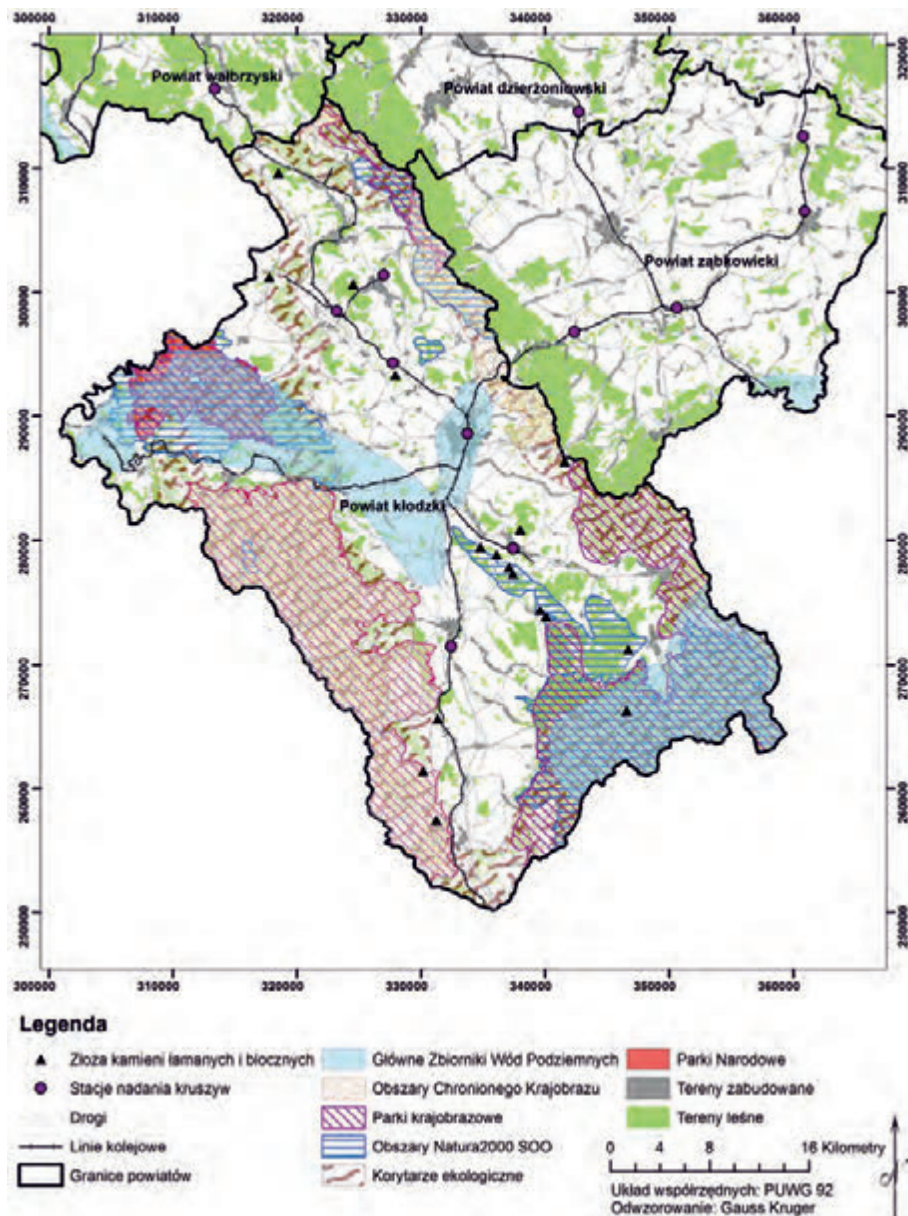
Obszar opracowania i opracowanie bazy danych GIS kryteriów

Jak podano wcześniej, obszarem opracowania wybranym do przetestowania opisywanej metodyki oceny dostępności złóż niezagospodarowanych jest teren powiatu kłodzkiego. Położony on jest w południowo-zachodniej części Polski, w południowej części województwa dolnośląskiego. Powiat zajmuje powierzchnię ok. 1 642 km² a zamieszkuje go ok. 163 tys. osób [13]. W skład powiatu wchodzi czternaście gmin. Znajduje się tu 14 miast, z których największe to Kłodzko. Obszar otoczony jest górami stanowiącymi jego naturalną granicę. Jego zachodnią część stanowią Sudety Środkowe, a wschodnią Sudety Wschodnie. Część środkową zajmuje Kotlina Kłodzka. Od północy ograniczają ją Góry Bardzkie, od zachodu Góry Stołowe, a od wschodu Góry Złote i Masyw Śnieżnika z Krowiarkami, należące już do Sudetów Wschodnich. Obszar powiatu charakteryzuje się zróżnicowaną budową geologiczną, jest także zróżnicowany pod względem fizjogeograficznym. Na jego terenie występują liczne ustawowe formy ochrony przyrody. Są to: Park Narodowy Gór Stołowych (pow. 6 340 ha), Śnieżnicki Park Krajobrazowy (pow. 28 800 ha, w tym 26496 ha w granicach powiatu), Park Krajobrazowy Gór Sowich (pow. 8 140,67 ha, w tym 1 907 ha w granicach powiatu), Obszar Chronionego Krajobrazu Gór Bardzkich i Sowich (pow. 17336,3 ha, w granicach powiatu 6 017,5 ha), Obszar Chronionego Krajobrazu Góry Bystrzyckie i Orlickie (pow. 22 500 ha, w całości w granicach powiatu). W powiecie znajduje się 9 rezerwatów przyrody o łącznej powierzchni 576,68 ha. Ponadto utworzono tutaj Specjalne Obszary Ochrony (SOO) oraz Obszary Specjalnej Ochrony (OSO) w ramach europejskiej sieci Natura 2000. Należą do nich: SOO Góry Stołowe (PLH020004), SOO Piekielna Dolina koło Polanicy (PLH020010), SOO Grodczyn i Homole koło Dusznik (PLH020039), SOO Góry Orlickie (PLH020060), SOO Torfowisko pod Zieleńcem (PLH020014),

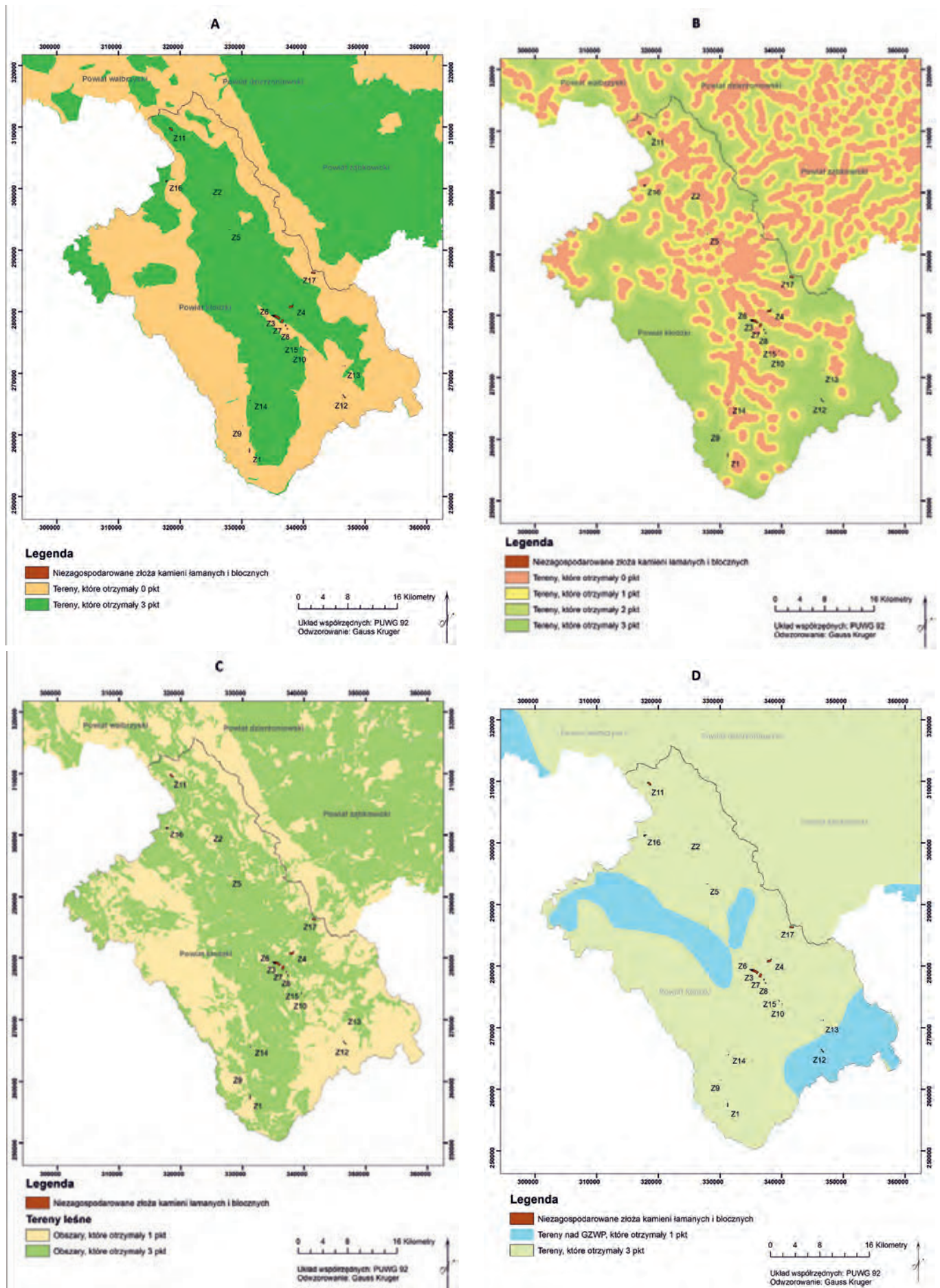
SOO Dolina Bystrzycy Łomnickiej (PLH020083), SOO Dzika Orlica (PLH020061), SOO Góry Bialskie i Grupa Śnieżnika (PLH020016), SOO Pasma Krowiarki (PLH020019), SOO Góry Złote (PLH020096), SOO Przełom Nysy Kłodzkiej koło Morzyszowa (PLH020043), SOO Ostoja Nietoperzy Gór Sowich (PLH020071), SOO Góry Bardzkie (PLH020062), SOO Przełom Nysy Kłodzkiej koło Morzyszowa (PLH020043) oraz OSO Góry Stołowe (PLB020006) i w niewielkim fragmencie OSO Sudety Wałbrzysko-Kamiennogórskie (PLB020010) [14]. Znajdują się także 3 Podziemne Zbiorniki Wód Podziemnych, Zbiornik Śnieżnik - Góry Bialskie (nr 339), Dolina kopalna rzeki Nysa Kłodzka (nr 340) oraz Niecka wewnątrzsudecka Kudowa Zdrój - Bystrzyca Kłodzka (341). Na terenie powiatu udokumentowano 47 złóż surowców skalnych [15]. Według danych Państwowego Instytutu Geograficznego na koniec 2013 roku [16] 23 z tych złóż miały status niezagospodarowanych, a 17 z nich to złoża kamieni łamanych i blocznych wykorzystane w analizie. Lokalizację złóż niezagospodarowanych kamieni łamanych i blocznych na tle wybranych uwarunkowań przyrodniczych i przestrzennych w granicach powiatu kłodzkiego przedstawiono na rysunku 1.

Dane GIS do analizy w formacie wektorowym pozyskano z Centralnej Bazy Danych Geologicznych Państwowego Instytutu Geologicznego [17] oraz z Instytutu Rozwoju Terytorialnego Urzędu Marszałkowskiego Województwa Dolnośląskiego. Zostały one sprawdzone pod względem spójności (np. jednolitego układu współrzędnych, PUWG 1992), ograniczone do zasięgu wyznaczonego przez granice powiatu kłodzkiego oraz zaktualizowane w zakresie wartości opisowych, np. zasoby geologiczne złóż kopalin na podstawie aktualnego Bilansu zasobów złóż kopalin w Polsce [16]. Na potrzeby analiz przestrzennych wykorzystujących narzędzia ważonej kombinacji liniowej w GIS dane wektorowe przekonwertowano do postaci rastrowej o rozmiarze komórki równej 20x20 m. Otrzymano osiem jednotematycznych map reprezentujących występowanie każdego z analizowanych kryteriów dostępności. Wartości komórek zostały rekasyfikowane zgodnie z punktacją omówioną powyżej. Przykładowe mapy kryteriów przedstawiono na rysunku 2.

Cały zakres prac GIS wykonano w programie ArcGIS 10.2 Desktop Advanced [18] wraz z rozszerzeniem Spatial Analyst (ESRI, 2015) licencjonowanym dla Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej.



Rys. 1. Główne uwarunkowania przyrodnicze i przestrzenne powiatu kłodzkiego
Fig. 1. The main natural and spatial conditions in the Kłodzki Poviat



Rys. 2. Przestrzenna reprezentacja wybranych kryteriów dostępności złóż kamieni łamanych i błoicznych w powiecie kłodzkim (A - ochrona przyrody, B - zabudowa, C - lasy, D - GZWP)

Fig. 2. Spatial representation of selected accessibility criteria for dimension and crushed stones deposits in the Kłodzki Powiat (A - nature protection areas, B - built-up areas, C - forests, D - main aquifers)

Wagowana kombinacja liniowa kryteriów dostępności

Ważona kombinacja liniowa (WLC) jest metodą, która opiera się na koncepcji średniej ważonej. Zestandaryzowane do jednolitej skali kryteria reprezentowane przez jednotematyczne mapy rastrowe mnożone są przez uzyskane wagi i sumowane. Założenia metody wypełniane są poprzez realizację wzoru (4) [19].

$$S = \sum w_i x_i \quad (4)$$

gdzie:

w_i - waga rozpatrywanego kryterium,

x_i - wartość kryterium (w przypadku przeprowadzanej analizy, wartość komórki rastra).

Rezultatem są mapy reprezentujące dostępność każdego ze złóż ze względu na współwystępowanie kryteriów w przestrzeni oraz istotność (wagę) kryteriów. Zostały one omówione w dalszej części.

Przedstawienie i omówienie wyników

W wyniku analizy istotności zidentyfikowanych przyrodniczych i przestrzennych kryteriów dostępności złóż surowców skalnych (kamieni łamanych i blocznych) przeprowadzonej metodą AHP otrzymano następujące wyniki w kolejności uzyskanej wagi:

- K2 - ochrona przyrody i krajobrazu (0,2885),
- K7 - wielkość zasobów (0,1942),
- K6 - zabudowa terenu (0,1627),
- K3 - ochrona lasów (0,961),
- K4 - ochrona gleb (0,896),
- K5 - ochrona wód podziemnych (0,0864),
- K8 - odległość od potencjalnych odbiorców (0,0516),
- K1 - dostępność komunikacyjna (0,0308).

Najistotniejsze okazało się kryterium ochrona przyrody i krajobrazu (28,8%), istotne są także kryteria wielkości zasobów i zabudowy terenu.

Kryteria związane z ochroną lasów, gleb i wód otrzymały zbliżone wagi na poziomie 8,6-9,6%. Najmniej ważne okazały się kryteria dotyczące dostępności komunikacyjnej oraz odległości od potencjalnych odbiorców. Przypisanie otrzymanych wag do kryteriów realizowanych przez poszczególne złoża traktowane jako całe jednostki daje następujące wyniki (tab. 2).

Uzyskane, ze względu na występowanie rozpatrywanych 8 kryteriów i ich wagi, wartości dla 17 analizowanych złóż zawierają się w zakresie od 0,0327 do 0,0874 przy wartości średniej wynoszącej 0,0588. Złoża z oceną niższą od średniej sklasyfikowano jako niedostępne (N), natomiast te, które uzyskały najwyższą ocenę, tj. pow. 0,0800 jako najbardziej dostępne (D). Pozostałe, w przedziale 0,0589-0,0799 jako umiarkowanie dostępne (U). Bliższa analiza pokazuje, że złoża sklasyfikowane jako niedostępne zlokalizowane są w granicach przyrodniczych obszarów chronionych.

W celu określenia przestrzennej dostępności obszarów rozpatrywanych, udokumentowanych złóż kamieni łamanych i blocznych posłużono się wynikami analizy WLC przeprowadzonej w programie GIS. W wyniku zsumowania jednotematycznych map reprezentujących poszczególne kryteria, przemnożonych przez uzyskane wcześniej wagi, otrzymano raster wynikowy, którego wartości komórek reprezentowały klasy dostępności złóż. Przedział wartości ośmiu rastrowych map tematycznych zawierał się w przedziale 0 – 3, a suma wprowadzanych wag kryteriów jest równa 1, stąd oczekiwane teoretyczne wartości komórek rastra wynikowego mogą zawierać się w przedziale 0 – 3. Uzyskane w wyniku analizy wartości wynikowe zawierają się w przedziale 0,7587-2,830. Zostały one sklasyfikowane w następujący sposób. Komórki rastra o wartościach powyżej 2,5 sklasyfikowano jako reprezentujące obszary złóż o dobrej dostępności, w przedziale 2,0 – 2,5 o umiarkowanej dostępności zaś poniżej 2,0 sklasyfikowano jako

Tab. 2. Ranking złóż traktowanych jako całe jednostki na podstawie wyników analizy dostępności metodą AHP

Tab. 2. Classification of deposits treated as whole units based on the results of accessibility analysis performed with the AHP method

Oznaczenie złoża	Nazwa złoża	Wartość kryterium								Ocena	Dostępność
		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8		
Z3	Słupiec	3	3	1	3	3	1	3	3	0,0874	D
Z4	Rogówka	3	3	1	3	3	1	3	3	0,0874	D
Z11	Włodzicka Góra	3	3	1	3	3	1	3	1	0,0841	D
Z6	Żelazno II	3	3	1	3	3	1	2	3	0,0799	U
Z2	Słupiec-Kościelec-pole B	3	3	1	3	3	1	1	3	0,0725	U
Z5	Ścinawka Dolna	3	3	1	3	3	1	1	3	0,0725	U
Z14	Długopole Górne N	3	3	3	3	3	0	1	1	0,0688	U
Z16	Tłumaczów Południe	3	3	1	3	3	0	1	1	0,0614	U
Z1	Różanka	3	0	1	3	3	2	2	1	0,0483	N
Z8	Piotrowice-Południe	3	0	2	3	3	2	1	3	0,0478	N
Z17	Zamczysko	2	0	1	3	3	2	2	1	0,0476	N
Z13	Stronie Śląskie - Wieś	2	0	3	3	3	2	1	1	0,0476	N
Z12	Kletno IV	2	0	1	3	1	3	1	1	0,0444	N
Z7	Piotrowice-Północ	3	0	1	3	3	2	1	3	0,0441	N
Z9	Gniewoszów	3	0	1	3	3	2	1	1	0,0408	N
Z10	Nowy Waliszów - Soczewka D	3	0	3	3	3	0	1	1	0,0327	N
Z15	Nowy Waliszów	3	0	3	3	3	0	1	1	0,0327	N

Tab. 3. Przestrzenny wynik oceny dostępności złóż metodami AHP oraz metodami AHP i WLC

Tab. 3. Spatial result of accessibility analysis with AHP and AHP and WLC methods

Kod złoża	Wynik analizy AHP	Wynik analizy AHP i WLC
Z1		
Z2		
Z3		
Z4		
Z5		
Z6		
Z7		
Z8		

Kod złoża	Wynik analizy AHP	Wynik analizy AHP i WLC
Z9		
Z10		
Z11		
Z12		
Z13		
Z14		
Z15		
Z16		
Z17		

niedostępne. W tabeli 3 przedstawiono wyniki takiej klasyfikacji. Kolorem zielonym oznaczono obszary charakteryzujące się dobrą dostępnością, żółtym – umiarkowaną dostępnością, a czerwonym obszary niedostępne. Zastosowanie metody WLC w połączeniu z AHP pozwala na analizowanie pojedynczych komórek rastra reprezentujących obszar złoża, a nie tylko potraktowanie go całościowo jak w przypadku oceny z zastosowaniem AHP. Pomimo otrzymania zbliżonych wyników (tab. 3), analiza z wykorzystaniem połączenia obu metod umożliwia bardziej szczegółowe określenie aspektu dostępności złóż w przestrzeni.

Podsumowanie

Opracowana i przedstawiona w artykule metoda oceny dostępności niezagospodarowanych złóż surowców skalnych oparta na metodyce wielokryterialnej hierarchicznej analizy problemu oraz ważonej kombinacji liniowej w GIS umożliwia określenie wag przyjętych kryteriów dostępności oraz przeprowadzenie wstępnej kategoryzacji dostępności złóż ze względu na ich występowanie w przestrzeni. Rezultaty analiz wykonanych z zastosowaniem przedstawionej metodyki mogą stanowić bazę wiedzy dla decydentów w zakresie prowadzenia

polityki rozwoju, planowania przestrzennego i gospodarowania zasobami surowców mineralnych zarówno na poziomie lokalnym jak i regionalnym, a także dla przedsiębiorców zainteresowanych pozyskiwaniem kopalin ze złóż. W pracy, proponowana metodyka została wykorzystana do oceny dostępności niezagospodarowanych złóż kamieni łamanych i blocznych w powiecie kłodzkim. W wyniku przeprowadzonych analiz ustalono, że spośród 8 zidentyfikowanych kryteriów dostępności najistotniejsze są: ochrona przyrody i krajobrazu, wielkość zasobów oraz zabudowa terenu, najmniej zaś kryteria odległości do potencjalnych odbiorców i dostępność komunikacyjna złóż. W dalszej kolejności stwierdzono, że trzy z 17 rozpatrywanych złóż charakteryzują się dobrą dostępnością, pięć ograniczoną dostępnością, a pozostałe są trudne do zagospodarowania ze względu na współwystępowanie kryteriów ograniczających ich użytkowanie, w szczególności kryteriów, które otrzymały najwyższe wagi w wyniku analizy metodą AHP. Posługując się metodą analizy WLC opracowano mapy dostępności obszarów złóż w trzech wymienionych wyżej kategoriach. Przedstawiona metodyka może być rozbudowywana o dalsze kryteria reprezentujące czynniki dostępności takie jak górnicze, gospodarcze i inne.

Literatura

- [1] Nieć M. i inni, *Waloryzacja niezagospodarowanych złóż kopalin skalnych w Polsce*. Poltegor - Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław - Kraków, 2013, str. 7-42
- [2] Radwanek-Bąk B., *Podstawy waloryzacji złóż kopalin skalnych dla ich ochrony*. Przegląd Geologiczny, 53, nr 5, 2005, str. 434-438
- [3] Nieć M., Radwanek-Bąk B., *Kompleksowa waloryzacja i hierarchizacja złóż kopalin skalnych*, Górnictwo Odkrywkowe, Rocznik LII, nr 6, 2011, str. 5-14
- [4] Nieć M., Radwanek-Bąk B., *Waloryzacja i hierarchizacja niezagospodarowanych złóż kopalin skalnych w Polsce. Metoda i wyniki*, Górnictwo Odkrywkowe, Rocznik LIV, Nr 2, 2013, str. 21-38
- [5] Uberman R., *Waloryzacja złóż węgla brunatnego dla prawnej ich ochrony*. Polityka Energetyczna, Tom 14, Zeszyt 2, 2011, str. 415-425
- [6] Saaty T. L., *The Analytic hierarchy Process - What it is and how it is used*. Math Modelling, Vol. 9, No. 3-5, 1987, str. 161-176
- [7] Saaty T. L., *How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process*. European Journal of Operational Research 48, 1990, str. 9-26
- [8] Uberman R., Ostreǵa A., *Wykorzystanie metody Analizy Hierarchicznej dla waloryzacji (rankingu) polskich złóż węgla brunatnego*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Tom 24, Zeszyt 2/4, 2008
- [9] Ptak M., *Metoda oceny możliwości prowadzenia odkrywkowej działalności górniczej oddziałującej na obszary Natura 2000*. Rozprawa doktorska, AGH, Kraków, 2011
- [10] Hyder Z., *Site Characterization, Sustainability Evaluation and Life Cycle Emissions Assessment of Underground Coal Gasification*. Doctoral Dissertation. Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, 2012, @ http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-09132012-155859/unrestricted/Hyder_Z_D_2012.pdf. Dostęp 18 luty 2015
- [11] Masłowska K., *Ocena dostępności niezagospodarowanych złóż surowców skalnych w województwie dolnośląskim metodą AHP*. Projekt inżynierski, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2015, (praca niepublikowana)
- [12] Blachowski J., Książkiewicz W., *Metodyka środowiskowej i planistycznej oceny dostępności złóż surowców skalnych z użyciem narzędzi FOSSGIS*. Górnictwo Odkrywkowe, Rocznik LIV, Nr 5-6, 2013, str. 45-51
- [13] Główny Urząd Statystyczny. *Bank Danych Lokalnych*, @http://stat.gov.pl/bdl/app/strona.html?p_name=indeks, dostęp 18.02.2015
- [14] Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Geoserwis GDOŚ. @<http://geoserwis.gdos.gov.pl/mapy/>, dostęp 24.02.2015
- [15] Starostwo Powiatowe w Kłodzku, *Informacja dotycząca stanu zagospodarowania złóż surowców naturalnych w powiecie kłodzkim*. Kłodzko, sierpień 2010

- [16] Państwowy Instytut Geologiczny, *Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2013 r.*, Warszawa, 2014 (praca zbiorowa)
- [17] Państwowy Instytut Geologiczny, *Centralna Baza Danych Geologicznych*. MIDAS – złoża kopalin (shp), @ http://web3.pgi.gov.pl/dwm/DownloadManager_v1.aspx, Dostęp 18.12.2014
- [18] Esri, ArcGIS Resources. *ArcGIS for Desktop*, (@ <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/>), dostęp 05.01.2015
- [19] Drobne S., Lisec A., *Multi-attribute Decision Analysis in GIS: Weighted Linear Combination and Ordered Weighted Averaging*. Informatica 33, 2009, str. 459–474

KOMUNIKAT

27–29.05.2015 r. w Lasocinie k. Pieszyc odbędzie się XVI Seminarium (w ramach Polskiego Kongresu Górniczego 2015) z cyklu **Metodyka rozpoznawania i dokumentowania złóż kopalin oraz geologicznej obsługi kopalń** na temat **„Dokumentowanie geologiczne złóż – potrzeba czy formalność”**, organizowane przez „Poltegor-Institut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego i Akademię Górniczo-Hutniczą - Katedra Geologii Złożowej i Górniczej.

Ramowa tematyka seminarium:

- problemy poszukiwania i rozpoznawania złóż,
- dokumentowanie złóż w świetle przepisów prawa,
- błędy dokumentowania,
- znaczenie dokumentowania geologicznego i modelowania złóż dla gospodarki złożem,
- standardy międzynarodowe dokumentowania złóż.

Planowane są dwie sesje terenowe obejmujące problematykę:

- wykorzystania kopalin i ochrony środowiska (Kopalnia Piława Górna, Dolnośląskie Surowce Skalne S.A.)
- gospodarki złożami masywu serpentynitowego w rejonie Jordanowa Śląskiego

Informacje:

dr Grażyna Ślusarczyk, tel. 71348 82 26, email: grazyna@igo.wroc.pl

dr inż. Jerzy Górecki – tel. 126173918, email: gorecki@geol.agh.edu.pl

oraz strona internetowa <http://www.igo.wroc.pl/>