

Wpłynęło 07.12.2012 r.
Zrecenzowano 22.04.2013 r.
Zaakceptowano 10.05.2013 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

OPTIMALIZACJA WYKORZYSTANIA ZASOBÓW NATURALNYCH DOLINY WISŁY POMIĘDZY UJŚCIAMI RZEK DŁUBNIA I RABA W SYTUACJACH KONFLIKTOWYCH

Robert KURNICKI ABCDEF

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Małopolski Ośrodek Badawczy w Krakowie

Streszczenie

W artykule omówiono zastosowanie metod GIS z zakresu wsparcia procesów decyzyjnych SDSS (ang. Spatial Decision Support Systems) do rozwiązywania konfliktów mających podłoże w nieracjonalnym zarządzaniu środowiskiem i jego zasobami, koncentrując się na sferze gospodarowania surowcami mineralnymi na tle jakości gleb i ich przydatności rolniczej, z uwzględnieniem ograniczeń infrastrukturalnych. Ujęto, w sposób syntetyczny, zagadnienia poznawcze wynikające z potrzeby dokumentacji stanu środowiska. Wykorzystano szeroki zakres danych z obszaru badawczego (w formie opracowań tekstowych oraz map analogowych i numerycznych), dokonując ich weryfikacji i integracji w komputerowej bazie danych, która posłużyła do analiz przestrzennych. Dokonano waloryzacji zasobów, dynamicznej kwalifikacji sozologicznej, porównania potencjału gospodarczego (na przykładzie kopalni i rolniczej przestrzeni produkcyjnej) oraz symulacji skutków ich zagospodarowania w zależności od przyjętych założeń. Zastosowano formuły oceny wielopodmiotowej i wielokryterijnej w celu wsparcia procesu decyzyjnego. Proces rozwiązywania konfliktu polegał na poszukiwaniu rozwiązań kompromisowych. Wykazano, że w dolinie Wisły pomiędzy ujściami rzek Dłubnia i Raba zaprezentowane rozwiązania są użyteczne do racjonalnego zarządzania zasobami środowiska oraz podejmowania prawidłowych decyzji lokalizacyjnych.

Słowa kluczowe: analiza przestrzennych konfliktów środowiskowych, kształtowanie i ochrona środowiska, optymalizacja wykorzystania zasobów środowiska, waloryzacja zasobów środowiska, wsparcie procesów decyzyjnych z wykorzystaniem GIS

Do cytowania For citation: Kurnicki R. 2013. Optymalizacja wykorzystania zasobów naturalnych doliny Wisły pomiędzy ujściami rzek Dłubnia i Raba w sytuacjach konfliktowych. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 13. Z. 2(42) s. 65-80.

WSTĘP

Kopaliny są przeważnie nieodnawialnymi zasobami przyrody i z tego względu zasługują na szczególną ochronę. Udokumentowane obszary występowania surowców mineralnych są zazwyczaj obiektami silnej antropopresji. W jej wyniku może dojść do zmniejszenia efektywności wykorzystania złoża ze względu na konieczność stosowania filarów ochronnych lub innych dodatkowych środków zabezpieczających. Niekiedy może się okazać, że eksploatacja będzie technicznie bardzo utrudniona, a przez to nierentowna.

Wobec wielu uwarunkowań środowiskowych i prawnych, gospodarowanie zasobami naturalnymi coraz częściej staje się złożonym procesem decyzyjnym, który wymaga posługiwania się nowoczesną bazą danych i technologią. Tradycyjne sposoby archiwizacji danych geograficznych, w postaci analogowych arkuszy map o znacznych rozmiarach, często przeładowanych informacjami, są niewystarczające w odniesieniu do nagromadzonych komponentów. Zasadnicze niedogodności map papierowych polegają na trudności operowania danymi i ich aktualizacji oraz wiążą się z utratą części informacji podczas zmiany skali. Narastające tempo przeobrażeń środowiska w wymiarze lokalnym, regionalnym i globalnym wymaga stosowania coraz skuteczniejszych sposobów pozyskiwania, przetwarzania, analizowania i udostępniania informacji przestrzennych, a także metod zarządzania nimi.

Większość zjawisk zachodzących w przestrzeni geograficzno-przyrodniczej charakteryzuje się możliwością jednoznacznego określenia ich zasięgu za pomocą współrzędnych, nawet gdy cechują się one przestrzenną zmiennością. Odzwierciedlenie zbioru wybranych informacji na odpowiednio zestawionych mapach stanowi efektywną pomoc w podejmowaniu racjonalnych decyzji związanych z lokalizacją. GIS spełnia tutaj funkcję narzędzia i jednocześnie platformy integrującej, w elastyczny sposób, dane o zróżnicowanym pochodzeniu i charakterze.

Zaprezentowany w pracy wzorec postępowania wobec obszaru o określonych cechach, odnoszący się do doliny Wisły pomiędzy ujściami rzek Dłubnia i Raba, stanowi spójny model analityczny. Obejmuje on zespół najistotniejszych cech i zależności występujących w opisywanym fragmencie rzeczywistości, umożliwiając przybliżone odtworzenie najważniejszych właściwości oryginału. Istotną część modelu stanowi układ założeń przyjętych przez analityka w celu jego konstrukcji. Przeznaczeniem modelu jest ułatwienie rozwiązania postawionego problemu przez umożliwienie badania wybranych relacji zachodzących w konkretnym aspekcie. Poczynione założenia, nieraz o charakterze arbitralnym, których przyjęcie jest nieuniknione podczas konstrukcji modelu, prowadzą w rezultacie do uproszczenia skomplikowanej rzeczywistości i idealizacji opisywanych dziedzin. Uproszczenie wynika również z eliminowania tych cech, relacji lub innych elementów, które są nieistotne dla danego celu. W przedstawionym tu modelu wykorzystano elementy symulacji procesów decyzyjnych oraz analizy wariantowej. Podstawą wszystkich

działań jest zaś dokonywanie ocen, polegające na określeniu przydatności danych zasobów oraz warunków do zaspokojenia wyznaczonych potrzeb.

STUDIA PRAWNO-ŚRODOWISKOWE

Problemy racjonalnego wykorzystania przestrzeni znalazły odzwierciedlenie w polskim ustawodawstwie dopiero w latach 90. XX w. Poszukiwania złóż prowadzono wcześniej bez ograniczeń sozologicznych. W wyniku takiego podejścia znaczną ich liczbę dokumentowano, a niekiedy zagospodarowywano, na obszarach o innym przeznaczeniu, dlatego współcześnie kwalifikują się one zazwyczaj jako konfliktowe względem innych zasobów środowiska.

Sam fakt udokumentowania złoża nie przesądza o celowości i opłacalności jego zagospodarowania w konkretnych warunkach środowiskowych. Zachodzące konflikty obszarowe, wynikające przede wszystkim z wykluczających się wzajemnie potencjalnych sposobów użytkowania terenu, nasuwają wiele problemów do rozwiązania. Źródłem ich powstawania jest sprzeczność interesów między strefą wpływu górnictwa, ochroną środowiska a koniecznością zachowania odpowiednich warunków życia ludzi. Problemy ulegają nasileniu w miarę rozszerzania się poszczególnych wpływów.

Kształtowanie środowiska i ochrona jego zasobów odgrywa istotną rolę w gospodarce przestrzennej właściwych jednostek administracji publicznej. Racjonalną gospodarkę zasobami środowiska oraz warunki utrzymania równowagi przyrodniczej zapewnia się w studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gmin oraz w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego. Zgodnie z zapisami ustawy „Prawo ochrony środowiska” [Ustawa... 2001], odbywa się to w szczególności przez ustalanie programów racjonalnego wykorzystania powierzchni ziemi, w tym na terenach eksploatacji złóż kopalni, i racjonalnego gospodarowania gruntami, jak również przez uwzględnianie obszarów występowania złóż kopalni oraz obecnych i przyszłych potrzeb eksploatacji tych złóż. Obowiązek studiów uwarunkowań środowiskowych przed sformułowaniem ostatecznych planów wynika z zapisów „Ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym” [Ustawa... 2003], natomiast szczegółowe zasady gospodarowania złożem kopaliny i związanej z eksploatacją złoża ochrony środowiska określają przepisy ustawy „Prawo geologiczne i górnicze” [Ustawa... 2011].

Kwestię ochrony gleb pozostających w użytkowaniu rolnym i leśnym, zarówno przed dewastacją, jak też przed nieuzasadnionym przejmowaniem ich powierzchni na cele nierolnicze, szczegółowo reguluje „Ustawa o ochronie gruntów rolnych i leśnych” [Ustawa... 1995].

Podstawowymi parametrami, które współdecydują o atrakcyjności eksploatacyjnej złóż kruszywa naturalnego są: miąższość złoża, stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża (N/Z) oraz zawartość pyłów mineralnych. Wartości graniczne

tych parametrów są określone w rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie kryteriów bilansowości złóż kopalin [Rozporządzenie MŚ... 2001].

W celu zapewnienia prawidłowych rozwiązań docelowych, niezbędne są opracowania ujmujące syntetycznie zarówno problematykę poznawczą, jak i decyzyjną. Są one szczególnie potrzebne w przypadku obszarów, w których przemysł wydobywczy jest istotnym elementem gospodarowania zasobami środowiska. Powstające od kilkunastu lat mapy geologiczno-gospodarczo-sozologiczne tylko częściowo wypełniają luki informacyjne, dlatego funkcje wspomagające pełnią atlasy i mapy cyfrowe, które są aktualizowane na bieżąco.

MATERIAŁ I METODY BADAWCZE

Obszarem realizacji pracy była dolina Wisły pomiędzy ujściami rzek Dłubnia i Raba. Zidentyfikowano konflikty przestrzenne, wynikające z potencjału kruszywowego i rolnego badanego terenu. Do ich rozwiązania zastosowano narzędzia SDSS GIS w sposób zapewniający obiektywną ocenę zasobów.

Materiałem badawczym były dane przestrzenne i opisowe pozyskane z różnych źródeł. Wśród nich znajdują się: opracowania geologiczne, szkice, tematyczne mapy drukowane, wydruki kart wierceń (profile) otworów hydrogeologicznych oraz zestawienia tabelaryczne i inne opracowania tekstowe. Pochodziły one z Zakładu Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH, Polskiej Akademii Nauk, Małopolskiego Urzędu Wojewódzkiego, Przedsiębiorstwa Geologicznego S.A. w Krakowie, Krakowskiego Biura Geodezji i Terenów Rolnych oraz Państwowego Instytutu Geologicznego w Krakowie.

Technologię przekształcania tych danych z formy analogowej do postaci wymaganej przez system informacyjny trudno w pełni zautomatyzować [WIDACKI 1996], dlatego większość prac wykonano techniką wprowadzania danych za pomocą klawiatury, digitalizacji tabletovej oraz skanowania i wektoryzacji ekranowej. Dane te podczas przetwarzania poddawano bieżącej weryfikacji oraz transformacji do wspólnego układu współrzędnych.

Analizowano profile geologiczne na podstawie wierceń rozpoznawczych. Są one skoncentrowane na prawobrzeżnym tarasie Wisły, gdzie tworzą układy siatek o, w przybliżeniu, regularnych oczkach. W zakresie danych obszarowych pozyskano informacje o kilkudziesięciu strefach udokumentowanego występowania surowców mineralnych, jak również dotyczące pokrywy glebowej, cech bonitacyjnych, użytkowo-rolniczych oraz rozmieszczenia zabudowy. Z elementów liniowych do bazy danych włączono m.in. infrastrukturę komunikacyjną, sieć hydrograficzną i wały przeciwpowodziowe.

Należy podkreślić, że zagadnieniem istotnym, ze względu na wiarygodność modelu, jest jakość danych oraz zastosowanie teorii błędów, jednak ich omawianie wykraczałoby poza ramy tematyczne artykułu.

W pracy zastosowano metody analizy decyzyjnej wielokryteryjnej i wielopodmiotowej wg EASTMANA i in. [1992; 1993a, b, c, d; 1995].

Szczególną uwagę zwrócono na procedurę postępowania w przypadku identyfikacji celów zagospodarowania jako konfliktowe. Rywalizacja o teren zachodzi zazwyczaj między gospodarką rolną a eksploatacją zasobów mineralnych, zwłaszcza metodą odkrywkową. Kluczowe kwestie w tym zakresie omówiono na przykładzie metody MOLA (ang. Multi-Objective Land Allocation). Polega ona na porównywaniu map przydatności, wykonanych dla każdego celu z osobna, w wyniku ocen wielokryteryjnych. Przydatność określonej lokalizacji terenowej do spełnienia założonego celu, reprezentowaną atrybutem piksela w obrazie rastrowym, wyraża się wartością z przedziału 0–255, która jest czynnikiem decydującym o umiejscowieniu w tzw. przestrzeni decyzyjnej. Identyczna przydatność do obu celów jedynie w zakresie dużych wartości stwarza sytuację konfliktową. W przypadku małych wartości konflikt nie zachodzi, ponieważ przydatność przestaje być wówczas znacząca.

Przedmiotem zadań decyzyjnych jest lokalizowanie obszarów o zadanej powierzchni, najbardziej przydatnych do określonych celów. Idealne rozwiązanie następuje wówczas, gdy są wyznaczane obszary o maksymalnej przydatności do jednego celu, równocześnie nieprzydatne do celów pozostałych. Mapy przydatności, z których każda odpowiada pojedynczemu celowi, są porównywane w sposób, który umożliwia uzyskanie jednoznacznego wskazania obszarów najlepiej zaspokajających potrzeby pozostające w konflikcie. Proces rozwiązywania konfliktu polega na poszukiwaniu rozwiązania kompromisowego w wyniku iteracyjnej reklasyfikacji map przydatności wobec zadanych ograniczeń, którymi są zadeklarowane wartości powierzchni.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Prace badawcze prowadzono w dolinie Wisły od ujścia Dłubni do ujścia Raby. Teren ten jest położony w województwie małopolskim, w powiatach: krakowskim, proszowickim, wielickim i bocheńskim (rys. 1). Obejmuje on całkowicie lub częściowo 8 gmin (Wieliczka, Niepołomice, Kłaj, Drwinia, Koszyce, Nowe Brzesko, Igołomia-Wawrzeńczyce i Kraków), o łącznej powierzchni prawie 390 km².

Obszar ten jest zaliczany do Kotlin Podkarpackich [KONDRACKI 2011], które są strefą akumulacji rumowiska niesionego z wyższych partii dorzecza [STARKEL 1991]. Teren badań cechuje niewielkie zróżnicowanie morfologiczne. Ma on charakter płaskodennej równiny z występującymi na jej powierzchni bezodpływowymi starorzeczami i innymi obniżeniami, często zabagnionymi. Jest użytkowany rolniczo, z rozwiniętym przemysłem rolno-spożywczym, usługami i rzemiosłem [BAK i in. 1998; BAK, SZELAĞ 1998; FILO i in. 1997; NIEĆ i in. 1998; PREIDL 1995]. Rolnictwo jest ukierunkowane głównie na uprawy zbożowe (z dominacją pszenicy, jęcz-



Rys. 1. Lokalizacja rejonu badań na tle podziału administracyjnego województwa małopolskiego; 1 – dolina Wisły między ujściami rzek Dłubnia i Raba, 2 – obszar przyległy do doliny Wisły, uwzględniony na mapach szczegółowych; źródło: opracowanie własne

Fig. 1. Location of the study area on a background of the Małopolska administrative division; 1 – the Vistula River valley between the outlets of the Dłubnia and Raba rivers, 2 – area adjacent to the Vistula River valley, shown on detailed maps; source: own elaboration

mienia i kukurydzy), okopowe, rośliny przemysłowe, a także warzywa przeznaczane na zaopatrzenie aglomeracji krakowskiej [GONDEK 1979].

Na całym obszarze występują gleby I–IV klasy bonitacyjnej. Wśród gruntów ornych dominują klasy IIIa i IIIb, zaś wśród użytków zielonych – klasy III i IV. Obecnie są to użytki niezbyt intensywnie wykorzystywane.

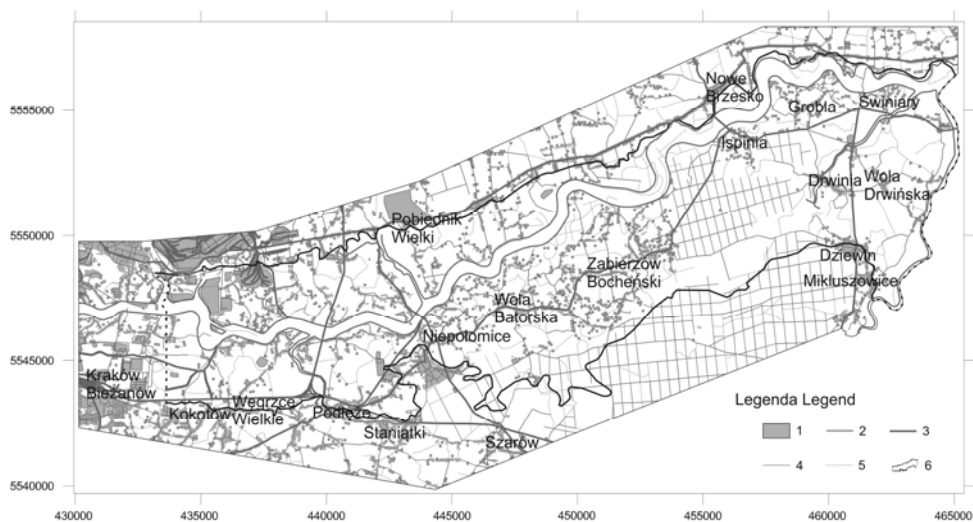
Najbardziej wartościowymi glebami na obszarze badań, pod względem typologicznym, są mady i czarnoziemy, które mają główne znaczenie w produkcji rolnej. Na terenach podmokłych występują gleby organiczne – torfowe i murszowo-torfowe, zaś na podłożu lessowym i piaszczystym – gleby brunatne, bielcowe i pseudo-bielcowe. Najstabsze gleby występują pod obszarami leśnymi.

W wielu miejscach eksploatowano lub eksploatuje się kopaliny, głównie kruszywo naturalne, na potrzeby lokalne, regionalne i krajowe. W pierwszej połowie XX w. eksploatacja kruszywa naturalnego z łach i tarasów wiślanych zaspokajała niewielkie potrzeby lokalne. Dopiero rozkwit budownictwa miejskiego i przemy-

słowego (budowa Nowej Huty), a także drogownictwa spowodował poszukiwania na szerszą skalę złóż kruszywa naturalnego oraz surowców ilastych ceramiki budowlanej.

Na omawianym terenie występują głównie okruchowe kopaliny skalne: piaski, żwiry, pospółka. Lokalnie pojawiają się także piaski wydymowe, kopaliny ilaste i torf. W okolicy miejscowości Grobla występuje złożo ropy naftowej i gazu ziemnego, jedno z największych w Polsce.

Stopień wykorzystania udokumentowanych złóż kruszywa jest większy w części środkowo-zachodniej, zarówno pod względem ilości złóż, jak i wydobytej kopaliny, jednak stan rozpoznania całego obszaru jest nierównomierny. Istnieją nawet strefy niezbadane pod względem występowania kruszywa naturalnego. Biorąc pod uwagę genezę i budowę geologiczną rejonu, można byłoby go w całości uznać za wielki obszar perspektywiczny ze względu na dokumentowanie nowych złóż, choć uwarunkowania pozageologiczne już nie sprzyjają takiemu podejściu. Na części nieeksploatowanych obszarów występowania kruszywa mineralnego znajdują się rozmaite formy zainwestowania terenowego, zaś najnowsze mapy topograficzne wykazują istnienie infrastruktury komunikacyjnej i energetycznej, co ogranicza potencjał surowcowy (rys. 2). Pojawia się zatem potrzeba weryfikacji zasobów



Rys. 2. Rozmieszczenie poszczególnych form zainwestowania terenowego; 1 – tereny zabudowane i przemysłowo-składowe, 2 – wały przeciwpowodziowe, 3–5 – infrastruktura komunikacyjna: 3 – linie kolejowe i drogi wojewódzkie, 4 – drogi drugorzędne, lokalne, ulice, 5 – drogi polne i przesieki leśne, 6 – dolina Wisły od ujścia Dłubni do ujścia Raby; źródło: opracowanie własne

Fig. 2. Arrangement of various forms of terrain investment; 1 – built-up, industrial and storage areas; 2 – flood embankments, 3–5 – communication infrastructure: 3 – railways and voivodship roads, 4 – secondary and local roads, streets, 5 – field and forest lanes, 6 – the Vistula River valley between the outlets of the Dłubnia and Raba rivers; source: own elaboration

na podstawie aktualnego stanu zagospodarowania terenu oraz uzupełniania dokumentacji geologiczno-złożowych.

ETAPY REALIZACYJNE, WYNIKI I DYSKUSJA

Na podstawie stworzonej bazy danych wygenerowano mapy cyfrowe, dokumentujące potencjał surowcowy (w szczególności: miąższość złóż, N/Z, zawartość pyłów mineralnych) oraz rolny (mapy glebowo-rolnicze i bonitacyjne) doliny Wisły między ujściami rzek Dłubnia i Raba. Wraz z mapą zagospodarowania terenu współtworzą one zbiór zasadniczych danych wejściowych modelu. Przez wzgląd na dostępność danych z obu dziedzin jednocześnie, analizy wykonywano w granicach zwartych obszarów opróbowanych geologicznie, z dodatkowym uwzględnieniem danych z wierceń wykonanych w ramach rozpoznania geologicznego o mniejszej szczegółowości, zlokalizowanych w sąsiedztwie tych kompleksów.

Wykonano indywidualne mapy rozkładu poszczególnych parametrów złóż kruszywa naturalnego, które następnie zintegrowano na mapach zbiorczych. Stanowią one podstawę waloryzacji obszarów udokumentowanych. Ze względu na charakterystykę map przydatności oraz dobór właściwego systemu skalowania należy zwrócić uwagę na niespójność systemu parametrów, polegającą na tym, że ocena złoża na podstawie niektórych z nich jest proporcjonalna do ich wartości (np. miąższość złoża), a na podstawie innych – odwrotnie proporcjonalna (N/Z, zawartość pyłów mineralnych). Wynika to stąd, że złoża kruszywa naturalnego są tym cenniejsze, im większa jest ich miąższość i jak najmniejsza zawartość pyłów mineralnych oraz wartość N/Z. Niezbędne jest zatem przetworzenie parametrów, w wyniku którego atrybuty poszczególnych map cyfrowych, należące do zbioru liczb rzeczywistych, ulegną przekształceniu na zbiór liczb całkowitych z zakresu 0–255, aby liczby te stały się miarą wartości złoża w punktach. Takie przetwarzanie danych odbywa się za pośrednictwem narzędzi zbiorów rozmytych, w sposób określony kształtem funkcji przynależności [CAMPBELL i in. 1992; CHUVIECO 1993], przy czym poszczególne funkcje różnią się między sobą zarówno w zależności od rodzaju opisywanego parametru, jak i od rodzaju kopaliny. Podstawą ich opracowania są zarówno kryteria bilansowości, jak i dane o złożach na obszarze badań.

Mapy miąższości złoża, N/Z oraz zawartości pyłów mineralnych przetworzono indywidualnie dla piasku i pospółki. W ramach reguły decyzyjnej ustalono zbiorczy współczynnik waloryzacyjny jako średnią arytmetyczną wartości współczynników składowych. Można zauważyć, że złoża położone w wyższym biegu Wisły i bliżej jej obecnego koryta mają na ogół lepsze parametry, a zatem uzyskały lepszą ocenę waloryzacyjną.

Dokonano waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej (RPP) w odniesieniu do warunków przyrodniczych produkcji rolnej poszczególnych jednostek, zmodyfikowaną metodą IUNG [WITEK, GÓRSKI 1977; WITEK (red.) 1993]. Warunkiem

adaptacji tej metody do specyficznych potrzeb prowadzonych analiz – jest standaryzacja współczynników w zakresie liczb całkowitych 0–255. Przeprowadzono ją analogicznie do waloryzacji udokumentowanych obszarów złożowych, tzn. za pośrednictwem narzędzi zbiorów rozmytych, w sposób określony kształtem funkcji przynależności. Wynikowa wartość liczbowego wskaźnika, charakteryzującego jakość RPP na obszarze badań, jest w głównej mierze odzwierciedleniem średniej wartości punktów oceny poszczególnych klas bonitacyjnych i kompleksów przydatności rolniczej ze względu na dość jednorodny agroklimat, podobnie mało zróżnicowaną rzeźbę oraz warunki wodne. Duże wartości wskaźnika waloryzacji na mapie zbiorczej pokrywają się z obszarami występowania gleb o bardzo dobrych i dobrych właściwościach, które przeważają w dolinie Wisły od ujścia Dłubni do ujścia Raby.

Syntetyczną przydatność do realizowania celów pozostających w konflikcie wyrażają mapy waloryzacji udokumentowanych złóż kruszywa naturalnego oraz rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Jeżeli uczestnicy procesu decyzyjnego (np. eksperci, politycy, urzędnicy) są zgodni w kwestii równorzędnego rozpatrywania obu dziedzin, mogą, w wyniku dyskusji na temat potrzeb rynku, osiągnąć kompromis odnośnie do proporcji, które powinny być zachowane na obszarach konfliktowych między przestrzenią przeznaczoną na eksploatację a terenami rolniczymi.

Przyjęto następujące warianty badawcze przeznaczenia spornego obszaru:

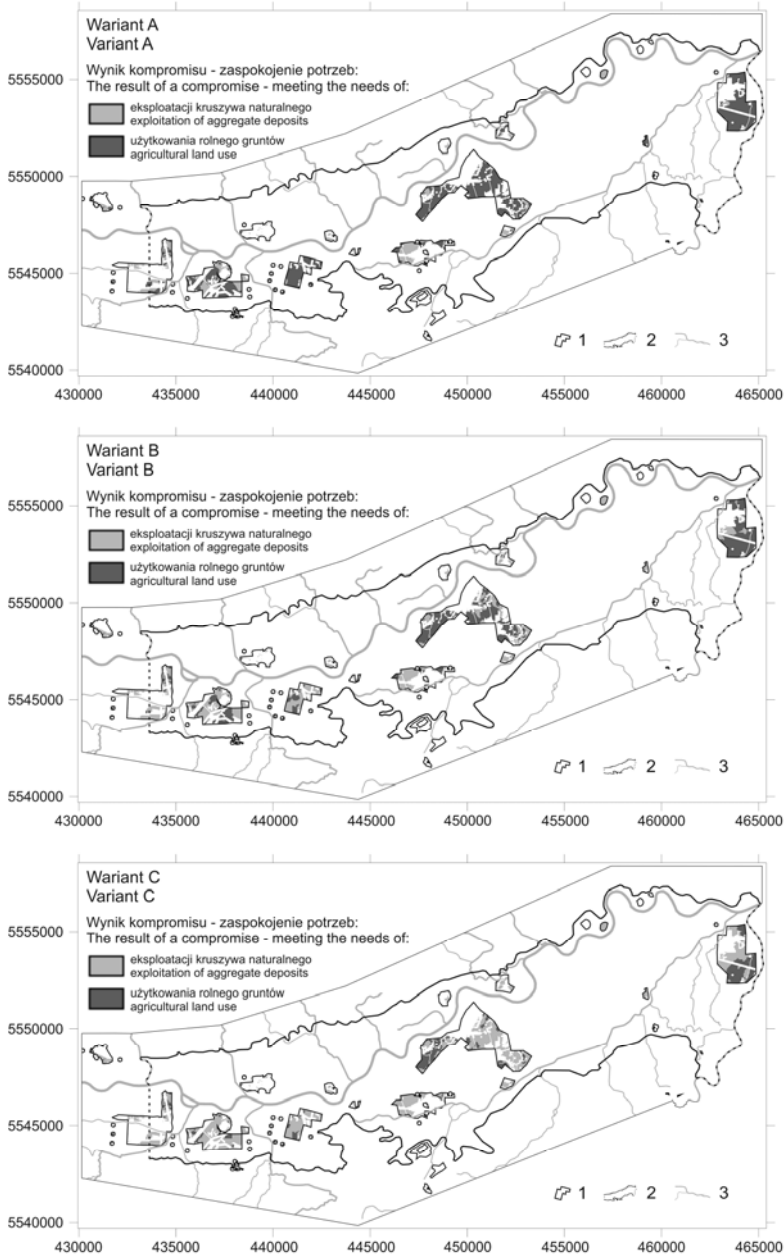
- wariant A – 25% na eksploatację, 75% na rolnictwo,
- wariant B – 50% na eksploatację, 50% na rolnictwo,
- wariant C – 75% na eksploatację, 25% na rolnictwo.

Grunty te można wyznaczyć metodą MOLA, w której zasadę rozwiązań kompromisowych stanowi maksymalizacja przydatności do celów przeciwstawnych. Osiąganie kompromisu w praktyce odbywa się na zasadzie iteracyjnej alokacji tych obszarów, które w pierwszej kolejności są znacznie bardziej przydatne do jednego celu niż do drugiego. Gdy przypisanie celu grupie obszarów zostanie zrealizowane, a nie jest jeszcze spełnione założone kryterium obszarowe, wówczas sukcesywnie są alokowane obszary o coraz mniejszych dysproporcjach przydatności do poszczególnych celów. Procedurę powyższą stosuje się sukcesywnie, aż do spełnienia warunków stawianych odnośnie do proporcji powierzchni przeznaczonych na poszczególne cele.

Obszary kompromisowe (rys. 3) zostały wyłonione:

- w wariantcie A – po 9 iteracjach,
- w wariantcie B – po 56 iteracjach,
- w wariantcie C – po 8 iteracjach.

Interesująca jest obserwacja alokacji poszczególnych zasobów w zależności od zmienności założeń, które ją warunkują. Aby się o niej przekonać, wystarczy w wyznaczonych strefach kompromisowego zaspokojenia potrzeb skontrolować na mapach źródłowych przestrzenne rozkłady kluczowych parametrów. Wyniki spostrzeżeń wizualnych potwierdza porównanie średnich wartości wskaźników walo-



Rys. 3. Kompromis na obszarach konfliktowych; 1 – rozpoznane pozytywnie zwarte obszary występowania kruszywa naturalnego z uwzględnieniem sąsiadujących z nimi wierceń, 2 – dolina Wisły pomiędzy ujściami rzek Dłubnia i Raba; 3 – sieć hydrograficzna; źródło: opracowanie własne

Fig. 3. The compromise in areas of conflict; 1 – positively recognized compact areas of natural aggregates occurrence including the adjacent drilling, 2 – the Vistula River valley between the outlets of the Dłubnia and Raba rivers, 3 – hydrographic network; source: own elaboration

ryzacyjnych wyznaczonych na podstawie map numerycznych (tab. 1, 2). Pozytywny rezultat zastosowanych procedur kontrolnych świadczy o poprawności doboru i działania zastosowanej metody analitycznej.

Tabela 1. Porównanie średnich wartości wskaźników waloryzacyjnych w strefach kompromisowego zaspokojenia potrzeb

Table 1. Comparison of average valorization rates in zones of compromise meeting the needs

Wariant Variant	Eksplatacja kruszywa naturalnego Exploitation of aggregate deposits	Użytkowanie rolne Agricultural land use
A	185	167
B	164	179
C	149	200

Objaśnienie: warianty A, B, C – wg rysunku 3. Explanation: variants A, B, C – as in the Fig. 3.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Tabela 2. Porównanie średnich parametrów złożowych w strefach kompromisowego zaspokojenia potrzeb

Table 2. Comparison of average deposit parameters in zones of compromise meeting the needs

Wariant Variant	Miąższość złoża Deposit thickness m	Stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża Cap rock to deposit thickness ratio	Zawartość pyłów mineralnych Mineral dusts content %	Zasobność jednostkowa Unit abundance Mg·m ⁻²
A	7,62	0,22	1,85	14,74
B	6,94	0,32	2,46	13,26
C	6,45	0,43	2,89	12,26

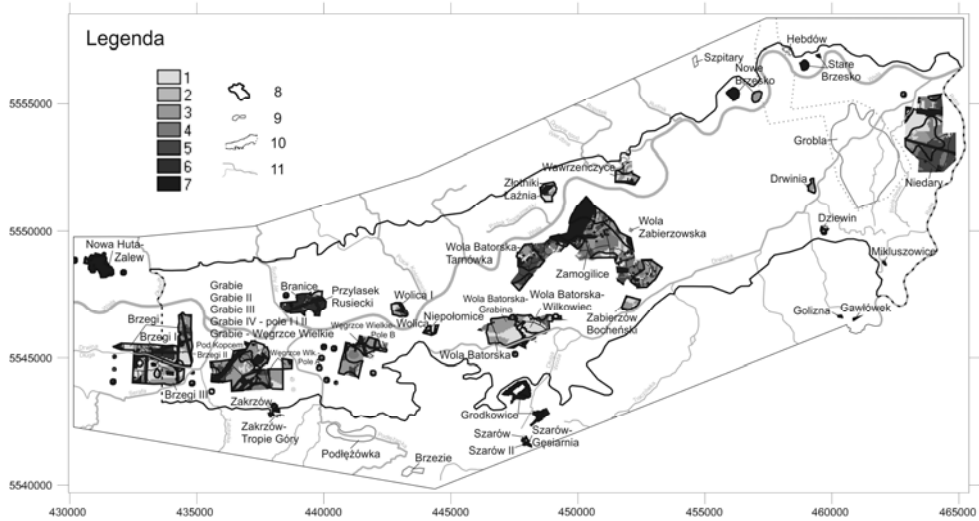
Objaśnienie: warianty A, B, C – wg rysunku 3. Explanation: variants A, B, C – as in the Fig. 3.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Wyniki analiz wariantowych współtworzą scenariusz etapowego przejmowania gruntów na potrzeby eksploatacji. W pierwszej kolejności alokacji podlegają te obszary, na których zasoby kopalin charakteryzują się najkorzystniejszymi parametrami, a gleby są najsłabsze. Kolejne etapy przewidują ewentualne sukcesywne alokowanie kopalin coraz mniej atrakcyjnych jakościowo, z utratą zasobów coraz lepszych gleb. Na rysunku 4., prezentującym wyniki analiz, dodatkowo okonturowano te obszary, na których wszystkie parametry złożowe odpowiadają kryteriom bilansowości.

Zaprezentowany tok rozumowania oraz towarzyszące mu rozwiązania metodyczne sprzyjają uzyskiwaniu bardzo dobrych efektów górniczych i jednoczesnemu ograniczaniu strat środowiskowych.

Rozważone rozwiązania modelowe mogą stanowić element planowego i racjonalnego gospodarowania zasobami przyrody. Na obszarach z glebami dobrej jako-



Rys. 4. Mapa dynamicznych prognoz zagospodarowania bazy zasobowej i kwalifikacji decyzyjnych na pozytywnie rozpoznanych obszarach występowania kruszywa naturalnego; 1 – gleby słabej wartości, 2–4 – etapy zagospodarowania bazy zasobowej kruszywa (przejmowania gruntów rolnych na potrzeby eksploatacji): 2 – etap I, 3 – etap II, 4 – etap III, 5 – gleby najwyższej wartości pozostające w użytkowaniu rolnym, 6 – gleby wyłączone z klasyfikacji, 7 – filary ochronne złóż, 8 – nagromadzenia kruszywa naturalnego, które spełniają wymogi kryteriów bilansowości, 9 – złoża kopalnin innych, niż kruszywo naturalne, 10 – dolina Wisły między ujściem rzek Dłubnia i Raba, 11 – sieć hydrograficzna; źródło: opracowanie własne

Fig. 4. Dynamic predictions map of the resource base management and decision-making qualifications on positively recognized areas of natural aggregates occurrence; 1 – non-valuable kinds of soil, 2–4 – development stages of the aggregate resource base (taking over of agricultural land for the exploitation purposes): 2 – stage I, 3 – stage II, 4 – stage III, 5 – soils of the highest value remaining in agricultural use, 6 – soil excluded from classification, 7 – protective pillars for mineral deposits, 8 – accumulations of natural aggregates which comply with the criteria of economic viability, 9 – mineral deposits other than natural aggregates, 10 – the Vistula River valley between the outlets of the Dłubnia and Raba rivers, 11 – hydrographic network; source: own elaboration

ści kluczowe znaczenie mają straty środowiskowe, wynikające z podejmowanych przedsięwzięć pozarolniczych. Ich minimalizacja jest możliwa. Przedstawiona metodyka pozwala m.in. na wskazanie w zasięgu aluwialnego kompleksu piaszczysto-zwirowego obszarów konfliktu z innymi formami użytkowania powierzchni lub ochrony przyrody i zabytków kultury, a w następstwie wyłączenie ich z obszarów perspektywicznych. Takie modelowanie ułatwia studia uwarunkowań i kierunków zagospodarowania jednostek administracyjnych oraz przygotowanie miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego.

Wykonano próbę modelowania dynamicznego gospodarki złożami kopalnin. Wyniki symulacji zdarzeń decyzyjnych potwierdziły, że model w oczekiwany sposób reaguje na zachodzące w środowisku zmiany stanu zasobów oraz zagospoda-

rowania terenu, zapewniając minimalizację strat środowiskowych i jednocześnie uzyskiwanie bardzo dobrych efektów geologiczno-górnictwowych.

W przypadku zaistnienia konieczności skorzystania z zasobów kruszywa zgromadzonego na konfliktowych obszarach kompleksów rozpoznanych wstępnie, mapy decyzyjne ułatwią wyznaczenie tych obszarów, które powinny w pierwszej kolejności podlegać dalszym, uszczegóławiającym pracom geologiczno-rozpoznawczym.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawiona metoda analityczna służy wspomaganiu podejmowania racjonalnych decyzji, dotyczących wykorzystania zasobów naturalnych badanego odcinka doliny rzecznej. Istotną częścią metody jest układ przyjętych założeń. Ułatwia ona rozwiązanie postawionego problemu przez umożliwienie badania wybranych relacji.

Praca wymagała pozyskania oraz integracji danych przestrzennych i opisowych z różnych źródeł. Dane o charakterze przestrzennym stanowiły zdecydowaną większość ogólnego zasobu. Do przetwarzania ich i zarządzania nimi zastosowano narzędzia oferowane przez Geograficzne Systemy Informacyjne. Posłużono się metodyką wsparcia procesów decyzyjnych SDSS do wyszukiwania obszarów najlepiej spełniających określone kryteria w zakresie planowania przestrzennego, ochrony środowiska, gospodarki gruntami, użytkowania gruntów rolnych, rozwiązywania sytuacji konfliktowych i optymalizacji użytkowania zasobów. Słabą stroną sprawdzonych praktycznie i proponowanych przez autora technik jest konieczność zdobycia przez użytkowników zaawansowanej wiedzy specjalistycznej w zakresie GIS, ze szczególnym uwzględnieniem SDSS.

Z zebranego i przeanalizowanego materiału badawczego można wyciągnąć niżej wymienione wnioski.

1. Dane źródłowe są rozproszone i niejednolite metodycznie, dlatego wymagają weryfikacji i przetworzenia z postaci analogowej na cyfrową, aby można było zbudować bazę danych adekwatną do potrzeb i stosowanego systemu informacyjnego.

2. Zaproponowane w pracy rozwiązania integrują niektóre właściwości map geologiczno-surowcowych, gospodarczych i sozologicznych, stanowiąc ich rozwinięcie koncepcyjne przez zastosowanie technik wsparcia procesów decyzyjnych z wykorzystaniem GIS. Rozwiązania te, dzięki uniwersalnej strukturze, mogą zostać dostosowane również do wykonywania innych, niezależnych analiz studialnych.

3. Stworzony model analityczny, rozumiany jako wzorzec postępowania w przypadku obszaru o określonych cechach, jest dynamiczny. Dzięki komputerowej symulacji zmian, umożliwia ocenę skutków wykorzystania określonych zasobów w konkretnym miejscu dla jakości innych elementów środowiska. Pozwala

również na rozwiązywanie konfliktów przestrzennych, optymalizując ochronę zasobów naturalnych i potrzeby gospodarki.

4. Poprawne funkcjonowanie modelu nie zależy od przyjętej skali opracowania. Czynniki skali decydują wyłącznie o dziedzinach, w których wyniki analiz mogą znaleźć zastosowanie. Przyjęcie większej skali, np. przetwarzanie danych źródłowych opartych na katastrze, mogłoby umożliwić podejmowanie racjonalnych decyzji o przeznaczeniu poszczególnych działek gruntu.

5. Na obszarze badań jest wiele udokumentowanych złóż kopalin. Ich występowanie na bardzo dobrych glebach stanowi jedną z przyczyn konfliktów w zakresie zagospodarowania przestrzennego. Pozyskiwanie surowców mineralnych powinno odbywać się jak najmniejszym kosztem utraty innych walorów środowiska, takich jak np. żyzne gleby czy unikatowe siedliska florystyczne i faunistyczne.

6. Ważnym i częstym powodem kurczenia się zasobów kopalin na obszarze badań jest niewłaściwe gospodarowanie powierzchnią nad nimi, co zmusza do tworzenia tzw. filarów ochronnych. Zasoby w nich uwięzione są w praktyce stracone dla gospodarki narodowej.

7. Wskazany kierunek analiz jest szczególnie przydatny dla regionów podlegających presji urbanizacji i uprzemysłowienia, w których zachodzą konflikty w zakresie zagospodarowania przestrzennego. Sprawdzone w pracy rozwiązania metodyczne mogą znaleźć zastosowanie w formie wsparcia analitycznego projektów środowiskowych realizowanych z uwzględnieniem zasad zrównoważonego rozwoju.

LITERATURA

- BAK B., RADWANEK-BAK B., SZELĄG A. 1998. Mapa geologiczno-gospodarczo-sozologiczna gminy Igołomia-Wawrzeńczyce 1:25 000. Kraków. PIG, Oddział Karpacki.
- BAK B., SZELĄG A. 1998. Mapa geologiczno-gospodarczo-sozologiczna gminy Nowe Brzesko 1:25 000. Kraków. PIG, Oddział Karpacki.
- CAMPBELL J.C., RADKE J., GLESS J.T., WIRTSHHAFTER R.M. 1992. An application of linear programming and geographic information systems: cropland allocation in Antigua. *Environment and Planning*. Vol. 24. No. 4 s. 535–549.
- CHUVIECO E. 1993. Integration of linear programming and GIS for land-use modeling. *International Journal of Geographical Information Systems*. Vol. 7. No. 1 s. 71–83.
- EASTMAN J.R., JIN W., KYEM P.A.K., TOLEDANO J. 1992. Participatory procedures for multi-criteria evaluations in GIS. W: *Proceedings, Chinese Professionals in GIS*. Buffalo, New York. NCGIA, SUNY Buffalo s. 281–288.
- EASTMAN J.R., JIN W., KYEM P.A.K., TOLEDANO J. 1993a. A procedure for multi-objective decision making in GIS under conditions of competing objectives. W: *Proceedings, ECIS'93*. Vol. 1 s. 438–447.
- EASTMAN J.R., JIN W., KYEM P.A.K., TOLEDANO J. 1993b. An algorithm for multi-objective land allocation using GIS. W: *Proceedings, International Workshop on GIS*. Pekin, 19–22 August 1993. Pekin. Chinese Academy of Sciences s. 261–270.
- EASTMAN J.R., JIN W., KYEM P.A.K., TOLEDANO J. 1993c. GIS and decision making. *Explorations in Geographic Information System Technology*. Geneva. UNITAR. Vol. 4.

- EASTMAN J.R., JIN W., KYEM P.A.K., TOLEDANO J. 1993d. Participatory multi-objective decision making in GIS. W: Auto-Carto 11 Proceedings. 30 October – 1 November 1993, Minneapolis, Minnesota. Bethesda MD. ASPRS s. 33–42.
- EASTMAN J.R., JIN W., KYEM P.A.K., TOLEDANO J. 1995. Raster procedures for multi-criteria / multi-objective decisions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 61. No. 5 s. 539–547.
- FILO A., WOJNAR W., GARECKI J. 1997. Mapa geologiczno-gospodarczo-geologiczna w skali 1:25 000 dla gminy Wieliczka. Kraków. KPG „PROGEO” sp. z o.o.
- GONDEK W. 1979. Warunki przyrodnicze produkcji rolnej, woj. miejskie krakowskie. Puławy. IUNG ss. 89.
- KONDRACKI J. 2011. *Geografia regionalna Polski*. Warszawa. PWN. ISBN 978-83-01-16022-7 ss. 440.
- NIEĆ M., KAWULAK M., SALAMON E. 1998. Mapa geologiczno-gospodarczo-geologiczna gminy Drwinia. Kraków. PAN IGSMiE.
- PREIDL M. 1995. Mapa geologiczno-gospodarcza 1:25 000. Miasto i gmina Niepołomice. Kraków. PG S.A.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 grudnia 2001 r. w sprawie kryteriów bilansowości złóż kopalin. Dz.U. 2001. Nr 153 poz. 1774 z późn. zm.
- STARKEL L. 1991. Rzeźba terenu. W: *Dorzecze górnej Wisły*. Cz. 1. Pr. zbior. Red. I. Dynowska, M. Maciejewski. Warszawa–Kraków. PWN s. 42–53.
- Ustawa z dnia 09.06.2011 r. Prawo geologiczne i górnicze. Dz.U. 2011. Nr 163 poz. 981 z późn. zm.
- Ustawa z dnia 27.03.2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym. Dz.U. 2003. Nr 80 poz. 717 z późn. zm.
- Ustawa z dnia 3.02.1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych. Dz.U. 1995. Nr 16 poz. 78 z późn. zm.
- Ustawa z dnia 27.04.2001 r. Prawo ochrony środowiska. Dz.U. 2001. Nr 62 poz. 627 z późn. zm.
- WIDACKI W. 1996. Od papierowych map do Systemów Informacji Geograficznej. *Czasopismo Geograficzne*. T. 67. Z. 3–4 s. 377–392.
- WITEK T., GÓRSKI T. 1977. *Przyrodnicza bonitacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce*. Warszawa. Wydaw. Geol. ss. 20.
- WITEK T. (red.) 1993. *Waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski według gmin*. Supplement. Puławy. IUNG ss. 248.

Robert KURNICKI

**OPTIMIZATION OF THE USE OF NATURAL RESOURCES
IN THE VISTULA RIVER VALLEY BETWEEN THE OUTLETS OF THE DŁUBNIA
AND RABA RIVERS IN CONFLICTING SITUATIONS**

Key words: environmental protection and development, environmental resources assessment, optimization of environmental resources utilization, spatial analysis of environmental conflicts, spatial decision support systems

S u m m a r y

Presented solutions allow for the synthetic approach both to cognitive issues (documentation of the environment) and to decision-making problems. They are useful for the rational management of the environment and for making locational decisions, including but not limited to management of mineral deposits, to soil quality and suitability, also to infrastructure. This direction of research is

particularly important for regions under pressure of urbanization and industrialization where conflicts in the management of environmental resources occur. During the work, a wide range of data originating from the study area was used such as geological and hydrological documentation, engineering studies, as well as agricultural, bonitation and soil maps, etc. These data were verified and organised into an extensive computer database, which then was processed with the GIS techniques. An evaluation of environmental resources was performed together with dynamic zoological qualification, and simulation of various land use effects depending on the assumptions made, and with comparison of the economic potential of natural resources based on mineral deposits vs. agricultural production area. Multi-criteria and multi-objective evaluation techniques were applied for land use planning and resource allocation decisions. The process of conflict settlement relied on compromise solutions seeking.

Adres do korespondencji: dr inż. R. Kurnicki, Małopolski Ośrodek Badawczy ITP w Krakowie, ul. Ulanów 21B, 31-450 Kraków, tel.: +48 12 412-52-08, e-mail: itepkrak@itep.edu.pl