

Ryszard HEJMANOWSKI, Agnieszka MALINOWSKA

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

## **Metoda prognozowania deformacji powierzchni terenu w rejonie złóż gazu i ropy naftowej wraz z analizą zagrożeń infrastruktury technicznej<sup>1</sup>**

### **Słowa kluczowe**

Logika rozmyta, modelowanie, deformacje górotworu, eksploatacja gazu, ropa naftowa

### **Streszczenie**

Eksploatacja złóż gazu ziemnego i ropy naftowej w pewnych warunkach zalegania tych złóż może wywoływać deformacje ciągłe powierzchni terenu. Z uwagi na to istnieje konieczność wykonywania analizy możliwości wystąpienia takich niekorzystnych zjawisk, monitorowania deformacji w trakcie eksploatacji złoża i ochrony infrastruktury zlokalizowanej w zasięgu wpływów eksploatacji. Deformacje takie mogą wpływać niekorzystnie na budynki i budowle, ale także na infrastrukturę własną zakładów górniczych. W referacie przedstawiona będzie problematyka prognozowania deformacji powierzchni w warunkach złóż surowców ciekłych i gazowych. Dla celów ochrony obiektów i infrastruktury opracowany został model oceny zagrożenia obiektów bazujący na elementach logiki rozmytej.

### **1. Wstęp**

W rejonach eksploatowanych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego, które wykazują własności kompakcyjne, może dochodzić do przemieszczeń i deformacji górotworu. Takie zjawisko ma miejsce tam, gdzie proces eksploatacji prowadzi do spadku ciśnienia porowego, a ciśnienie nadległych skał nie jest kompensowane przez zatłaczaną wodę (Teeuw 1973; Menghini 1989, Hejmanowski 1993). Zjawisko kompaktacji jest dobrze rozpoznane, tym niemniej dopiero badania geologiczne i specjalne pomiary mogą potwierdzić, że skały budujące dane złoża wykazują tego typu własności. W przeszłości zjawiska kompaktacji były przyczyną poważnych uszkodzeń infrastruktury kopalń otworowych, a nawet przyczyną znacznych nakładów np. na podnoszenie platform eksploatacyjnych (np. pole Ekofisk na Morzu Północnym, lata 80 XX w.; podobne zagrożenie w Belridge (Kalifornia)). Deformacje górotworu doprowadziły w polu Ekofisk do uszkodzenia 2/3 otworów eksploatacyjnych. Miało to miejsce w głębi górotworu, kilkaset metrów nad złożem. W centralnej Kalifornii znaczna kompaktacja zbiornika Belridge doprowadziła w latach 80 XX w. do powstania niecki obniżeniowej na powierzchni terenu o maksymalnych obniżeniach dochodzących do 6,1 m.

---

<sup>1</sup> Dostępna jest także anglojęzyczna wersja referatu

W brzeżnej części niecki na skutek wzrostu odkształceń poziomych wystąpiły liczne deformacje nieciągłe. Na skutek naprężeń ścinających wystąpiły w głębi górotworu liczne uszkodzenia otworów i infrastruktury eksploatacyjnej (Bondor, De Rouffignac 1995).

Eksploatacja złóż fluidalnych przyczynia się do wzrostu zagrożenia powierzchni terenu również w rejonach eksploatacji wód podziemnych. Tego typu eksploatacja ma miejsce na olbrzymią skalę na środkowym zachodzie Stanów Zjednoczonych, w Kalifornii, na terenach wielkich aglomeracji (np. Bangkok, Tokyo, Osaka, Szanghaj, Houston, Las Vegas), gdzie budynki i infrastruktura nie są w fazie wznoszenia zabezpieczane na deformacje rozciągające (Poland 1984).

Aby ocenić zagrożenie infrastruktury technicznej na terenach podlegających deformacjom podłoża stosuje się zazwyczaj metody eksperckie. Mają one zasadniczą wadę – znaczny subiektywizm i uzależnienie wyniku od doświadczenia eksperta oceniającego odporność badanego obiektu na naprężenia wynikające z deformacji podłoża. Badania prowadzone przez Autorów pozwoliły na wprowadzenie elementów sztucznej inteligencji do ocen zagrożenia budynków na terenach górniczych (Malinowska 2011). Dzięki zastosowaniu logiki rozmytej możliwa jest obiektywizacja procesu określania zagrożenia, a dalej także ryzyka dla obiektów budowlanych. Obecnie trwają prace nad zastosowaniem tego narzędzia dla obiektów infrastruktury liniowej, co znacznie powinno poprawić zdolności analityczne przy projektowaniu tras wodociągów, rurociągów ropy, benzyny, gazociągów oraz szlaków kolejowych i drogowych.

## 2. Modelowanie obniżen powierzchni terenu dla złóż gazu i ropy naftowej i wód podziemnych

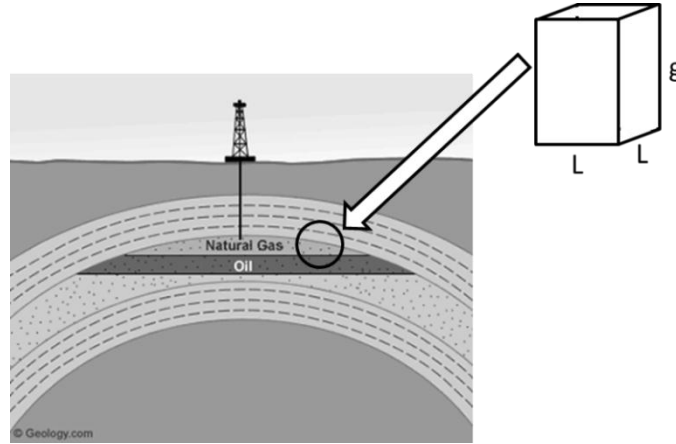
Przy założeniu, że znane są podstawowe parametry złoża eksploatowanego metodą otworową, możliwe jest zastosowanie zaadaptowanej formuły teorii geometryczno-całkowej do modelowania przemieszczeń pionowych w górotworze i na powierzchni terenu (Hejmanowski 1993; Hejmanowski 1995). Algorytm obliczeniowy oparty jest na zasadzie dyskretyzacji całego złoża w granicach, w jakich występować będzie w czasie eksploatacji spadek pierwotnego ciśnienia porowego. Każdy z elementów złożowych ma przypisane lokalne parametry, istotne dla procesu modelowania przemieszczeń w czasie. Są to przykładowo: grubość pakietu eksploatowanych skał porowatych, pierwotne ciśnienie złożowe, ciśnienie przewidywane po czasie „t” (rys. 2.1).

Elementarne przemieszczenie pionowe, które jest efektem spadku pierwotnego ciśnienia porowego w elemencie złoża można wyznaczyć w oparciu o zależność (2.1):

$$\Delta w_i(R, \Delta t) = \frac{a \cdot \Delta M(\Delta t) \cdot L^2}{r^2} \cdot \exp\left(-\pi \frac{R^2}{r^2}\right) \quad (2.1)$$

Ponieważ takie obniżenie występuje wskutek kompaktacji skały porowatej, funkcja kompaktacji występująca w równaniu (2.1) dana jest zależnością (2.2):

$$\Delta M(\Delta t) = c_m \cdot (p_{0i} - p_i(\Delta t)) \cdot g_i \quad (2.2)$$



**Rys. 2.1.** Schemat podziału złoża na elementy (obraz geologii złoża za (Geology.com))  
**Fig. 2.1.** Dividing an gas reservoir in elementary parts (picture of the reservoir geology from (Geology.com))

gdzie:

- a - współczynnik zmniejszenia objętości elementarnej pustki w górotworze,
- $\Delta M(\Delta t)$  - kompakcja,
- $\Delta t$  - różnica czasu od początku eksploatacji elementu złożowego do momentu obliczeniowego  $t$ ,
- $p_{0i}$  - pierwotne ciśnienie porowe w  $i$ -tym elemencie złożowym, w chwili rozpoczęcia eksploatacji,
- $p_i(\Delta t)$  - ciśnienie porowe w  $i$ -tym elemencie złożowym w chwili  $t$ ,
- $g_i$  - grubość złoża w elemencie złożowym,
- $R$  - odległość punktu obliczeniowego od środka geometrycznego elementu złożowego,
- $L$  - długość boku elementu złożowego,
- $r$  - promień rozproszenia oddziaływania eksploatacji elementarnej,
- $c_m$  - współczynnik kompaktacji, charakteryzujący kompakcyjność skał złoża ( Teeuw 1973, Menghini 1989)

Sumaryczne oddziaływanie całej eksploatacji złoża na dany punkt górotworu lub powierzchni terenu można wyznaczyć jako sumę oddziaływań elementarnych w danej chwili  $t$ .

$$w(R, \Delta t) = \sum_{i=1}^N \Delta w_i(R, \Delta t) \quad (2.3)$$

Dysponując wartościami obniżeń możliwe jest wyznaczenie pozostałych wskaźników deformacji, tj. nachyleń ( $T$ ) oraz krzywizn ( $K$ ) tworzącej się niecki obniżeniowej jako pierwszej i drugiej pochodnej obniżeń (Hejmanowski, Kwinta 2010). Wskaźniki związane ze składową poziomą: przemieszczenia poziome ( $u$ ,  $v$ ) i odkształcenia poziome ( $\varepsilon$ ) wyznaczyć z wykorzystaniem zależności:

$$\Delta u = -B \cdot T \quad (2.4)$$

$$\Delta\varepsilon = -B \cdot K, \quad (2.5)$$

gdzie:

B - tzw. współczynnik przemieszczenia poziomego Awierszyna,

$$B \cong \frac{r}{\sqrt{2\pi}} \quad (2.6)$$

Niecki obniżeniowe wykształcające się w rejonach eksploatacji złóż gazu ziemnego i ropy naftowej cechuje zazwyczaj duży promień rozproszenia wpływów „r”, a więc duży zasięg, znacznie wykraczający poza granice złoża. To sprawia, że obniżenia maksymalne nie osiągają zbyt znacznych wartości. Zatem także deformacje w rejonie kluczowym z punktu widzenia przedsiębiorcy (czyli otworu pionowego, głównego) nie stanowią przeważnie istotnego zagrożenia. Problemy z infrastrukturą otworów występują z tytułu dużych obniżeń w centrum niecki, co ma miejsce przy dużych miąższościach złóż i eksploatacji prowadzonej bez zastosowania profilaktyki obniżeniowej.

### 3. Sztuczna inteligencja w zastosowaniu do oceny zagrożenia obiektów

W odróżnieniu do terenów podlegających wpływom eksploatacji węgla kamiennego, rud metali, eksploatacja złóż surowców gazowych i ciekłych odbywa się w rejonach, których zabudowa i infrastruktura powierzchniowa nie są odpowiednio zabezpieczone na deformacje. Z tego względu uszkodzenia, które mają miejsce w trakcie eksploatacji złoża, są znaczne i często nawet zagrażają bezpieczeństwu użytkowników, pomimo stosunkowo niewielkich bezwzględnych wartości odkształceń poziomych.

#### 3.1. Możliwość zastosowania logiki rozmytej

##### 3.1.1 Założenia modelu rozmytego

Ocena zagrożenia uszkodzeniami obiektów poddanych wpływom deformacji powierzchni terenu jest procesem wieloetapowym. Złożoność ta wynika z szeregu czynników które wpływają na dokładność ostatecznej oceny zagrożenia obiektów takich jak (Hejmanowski, Malinowska 2007; 2009):

- wiarygodność, aktualność, dokładność informacji o czynnikach górniczo-geologicznych generujących przekształcenia powierzchni terenu,
- dokładność modeli prognostycznych wykorzystanych do estymacji deformacji powierzchni terenu,
- aktualność i dokładność parametrów modeli prognostycznych,
- aktualność, wiarygodność informacji o czynnikach wpływających na odporność obiektów,
- dokładność metody oceny odporności obiektów,
- subiektywność specjalistów szacujących deformacje powierzchni terenu oraz odporność obiektów,
- trafność przyjętych kryteriów oceny zagrożenia obiektów.

W świetle powyższych czynników należy mieć świadomość że ostateczny wynik oceny zagrożenia obiektów poddanych wpływom deformacji powierzchni terenu jest zmienną

obciążoną bardzo dużą niepewnością. Cytując za twórcą logiki rozmytej Zadeh'em słuszne jest stwierdzenie że (Zadeh 1965): „, Złożoność i precyzja występują w zależności odwrotnej w tym sensie, że jeżeli złożoność rozpatrywanego problemu wzrasta, to zmniejsza się możliwość jej precyzyjnej analizy”

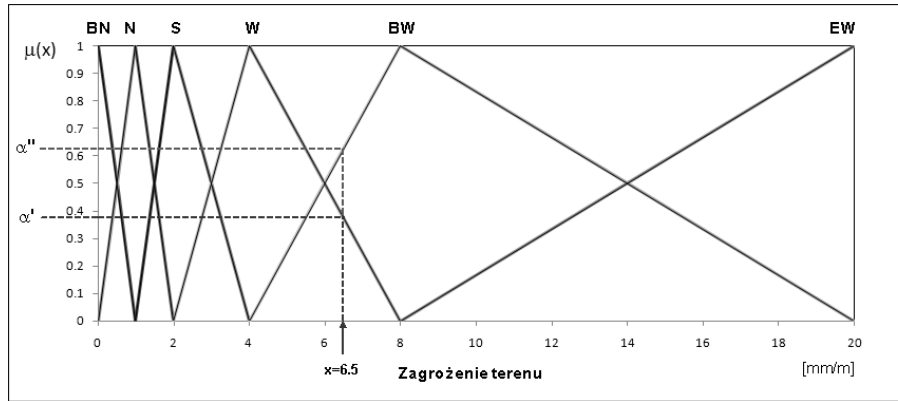
Powyższe przesłanki oraz stale rosnące niezadowolenie z obecnie stosowanych metod oceny zagrożenia obiektów na terenach podlegających deformacjom stały się punktem wyjścia do nowych badań. Badania te oparte są o elementy wnioskowania rozmytego a narzędziem wspierającym integrację danych, weryfikację ich wiarygodności i wykonywanie analiz będzie GIS (Geographic Information System). Idea wykorzystania logiki rozmytej przy ocenie zagrożenia obiektów będących pod wpływem deformacji pozwala na uwzględnienie niepewności zmiennych jakimi są zagrożenie (generowane przez ciągle deformacje powierzchni terenu) i odporność (wynikająca z eksperckiej oceny odporności obiektów budowlanych czy infrastruktury liniowej).

Proponowana metoda pozwala na ocenę ryzyka wystąpienia w obiekcie szkody górniczej. Poniżej zostaną przedstawione tylko podstawowe założenia tej metody, szczegółowe założenia i etapy budowy systemu rozmytego przedstawiono w artykule (Malinowska A., 2011). Algorytm postępowania zakłada pozyskanie informacji o czynnikach górniczo-geologicznych, a następnie określenie maksymalnych deformacji powierzchni terenu pod każdym z obiektów. Czynnikiem determinującym zagrożenie dla mieszkalnych obiektów kubaturowych jest odkształcenie poziome. Jest to pierwsza zmienna rozmytego modelu wnioskującego. Odporność obiektów budowlanych na terenach górniczych oceniana jest najczęściej przy wykorzystaniu punktowej metody (Przybyła, Świądrowski, 1968). W wyniku estymacji wytrzymałości budynków tą metodą, każdemu obiektowi przypisana zostaje punktowa wartość odporności na odkształcenia poziome. Odwrotność odporności czyli wrażliwość jest drugą zmienną niezbędną do rozmytej oceny zagrożenia szkodą budynków. Uwzględnienie niepewności w estymacji zagrożenia wystąpieniem szkody w budynkach odbywa w procesie wnioskowania rozmytego. W celu określenia zmiennej wyjściowej zdefiniowano na nowo pojęcie, którym było zagrożenie uszkodzeniem obiektu budowlanego wyrażane w skali punktowej. Zmienna ta pozwoli na punktowe określenie stopnia zagrożenia uszkodzeniem budynku, które może prowadzić do zagrożenia bezpieczeństwa użytkownika.

Pierwszym etapem budowy rozmytego systemu wnioskowania było zdefiniowanie przestrzeni rozważań dla zmiennych wejściowych i wyjściowych. Przyjęto, że prognozowane ekstremalne odkształcenia poziome, mogą przyjmować wartości z przedziału [0,20] mm/m, gdzie wartości liczbowe wyznaczone są z dokładnością do dwóch miejsc po przecinku (Rys. 3.1). Odporność obiektu budowlanego określana na podstawie metody punktowej może przyjmować teoretycznie od 0 do 150 punktów, jednak w rzeczywistości obiekty budowlane nie mają więcej niż 100 punktów odpornościowych. Dlatego też, przedział dla zmiennej określającej wrażliwość budynków na terenach górniczych ograniczono, definiując go w granicach [0,100] (Rys. 3.2). Zmienna wyjściowa, którą jest zagrożenie uszkodzeniem obiektu budowlanego, charakteryzowana jest przez punkty, które mogą przyjmować wartości od 0 do 100 (Rys. 3.3). Kolejno określono zmienne lingwistyczne dla zbiorów rozmytych i zdefiniowano kształt funkcji przynależności dla tych zmiennych.

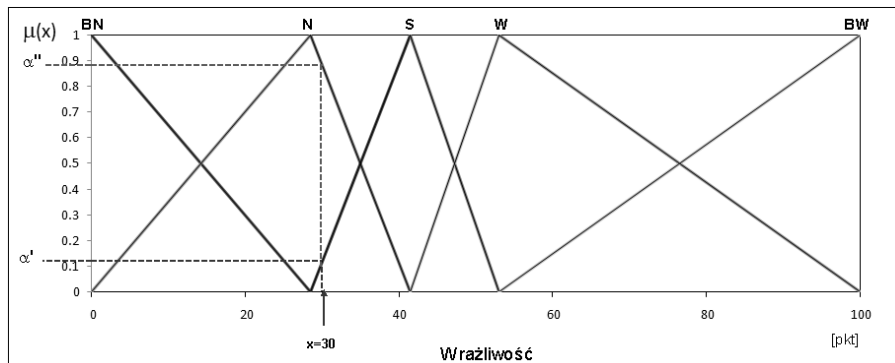
Dalszym etapem wnioskowania rozmytego jest rozmycie ostrych wartości zmiennych wejściowych w procesie fuzyfikacji (Rys. 3.1, Rys. 3.2). Tym samym zostaje określony ich stopień przynależności do zbiorów rozmytych w dziedzinach zagrożenie terenu i wrażliwość

objektu. W tym etapie ujęta zostaje niepewność wynikająca z niedokładności danych górniczo-geologicznych, modeli, parametrów i eksperckich ocen odporności obiektów budowlanych.



Rys. 3.1. Rozmycie ostrej wartości zagrożenia terenu.

Fig. 3.1. Fuzzification of crisp values of surface hazard into grades of membership for linguistic terms of fuzzy sets



Rys. 3.2. Rozmycie ostrej wartości wrażliwość obiektu budowlanego

Fig. 3.2. Fuzzification of crisp values of building vulnerability into grades of membership for linguistic terms of fuzzy sets

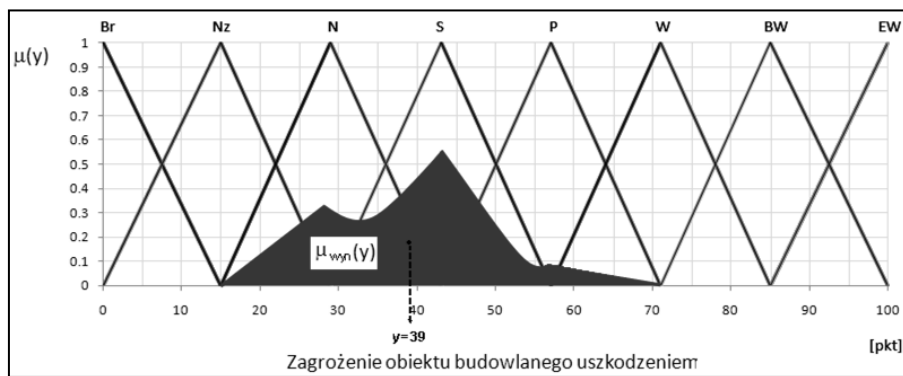
Następnym etapem jest proces inferencji, w którym na podstawie rozmytych danych wejściowych określany jest stopień spełnienia przesłanek. Z przesłanek z kolei wynika stopień spełnienia konkluzji dla poszczególnych reguł (Shahinkar i in. 2008). Najistotniejszym elementem tego procesu jest baza reguł, w której określone są wszystkie zależności pomiędzy zmiennymi wejściowymi i wyjściowymi (Tabela 3.1).

Kolejnym etapem jest proces agregacji w którym tworzona jest wynikowa funkcja przynależności. Ten i poprzedni etap ujmują rozmytość wynikającą z niepewności zależności pomiędzy zmiennymi.

Ostatnim etapem wnioskowania jest określenie punktowej wartości zagrożenia wystąpieniem szkody górniczej. Estymacja ta przeprowadzana jest w procesie defuzyfikacji (Rys. 3.3).

**Tabela 3.1.** Aktywacja reguł w bazie  
**Table 3.1.** Activation rules in the rule base

		Zagrożenie terenu						
		0	I	II	III	IV	V	
Wrażliwość obiektów	□	BN	N	S	W	BW	EW	
	4	BN	Brak	Brak	Brak	Nieznaczne	Niskie	Średnie
	3	N	Brak	Brak	Nieznaczne	Niskie	Średnie	Poważne
	2	S	Brak	Nieznaczne	Niskie	Średnie	Poważne	Wysokie
	1	W	Nieznaczne	Niskie	Średnie	Poważne	Wysokie	B. Wysokie
	0	BW	Niskie	Średnie	Poważne	Wysokie	B. Wysokie	Ekstr. Wysokie



**Rys. 3.3.** Określenie ostrej wartości zagrożenia obiektu budowlanego uszkodzeniem  
**Fig. 3.3.** Estimation crisp value of hazard of building damage

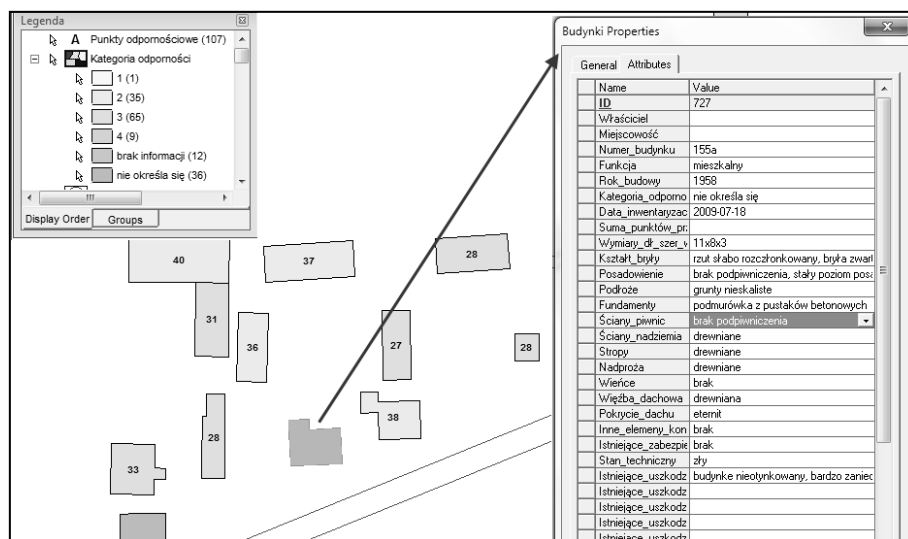
Punktowa ocena zagrożenia stanowi przesłankę do podjęcia decyzji o dalszym postępowaniu. Opisany powyżej proces wnioskowania rozmytego przeprowadzony został przy wykorzystaniu pakietu Matlab Fuzzy toolbox (MathWorks). Istnieje jednak szereg programów open source dedykowanych sztucznej inteligencji, które również pozwalają na zaimplementowanie tego modelu.

Propozycja wykorzystania w praktyce zaprezentowanej metody polega na integracji modelu w systemie informacji geograficznej. Tym samym ocena zagrożenia obiektów będzie

przeprowadzona automatycznie. Ma to szczególnie duże znaczenie na rozległych terenach będących w zasięgu wpływów działalności górniczej, które są intensywnie zagospodarowane. Znaczenie to wzrośnie dodatkowo dla rejonów eksploatacji gazu ziemnego i ropy naftowej i dużych zasięgów tworzących się w takich warunkach niecek obniżeniowych. Schemat postępowania przy ocenie zagrożenia obiektów projektowanym wydobyciem przedstawiono poniżej.

### 3.1.2 Zastosowanie praktyczne

Przedsiębiorca górniczy planując eksploatację zobligowany jest do oceny zagrożenia obiektów znajdujących się w zasięgu wpływów projektowanej eksploatacji (Dz. U. z dnia 1 lipca 2002 r.). Dlatego też, w każdym nowym rejonie który jest zabudowany a przewidywane jest szkodliwe oddziaływanie na powierzchni prowadzonych robót górniczych konieczne jest przeprowadzenie inwentaryzacji tych obiektów. Każdemu z obiektów nadana zostaje odporność przy wykorzystaniu metody punktowej. Dane dotyczące obiektów zintegrowane zostają w systemie GIS (Rys. 3.4).



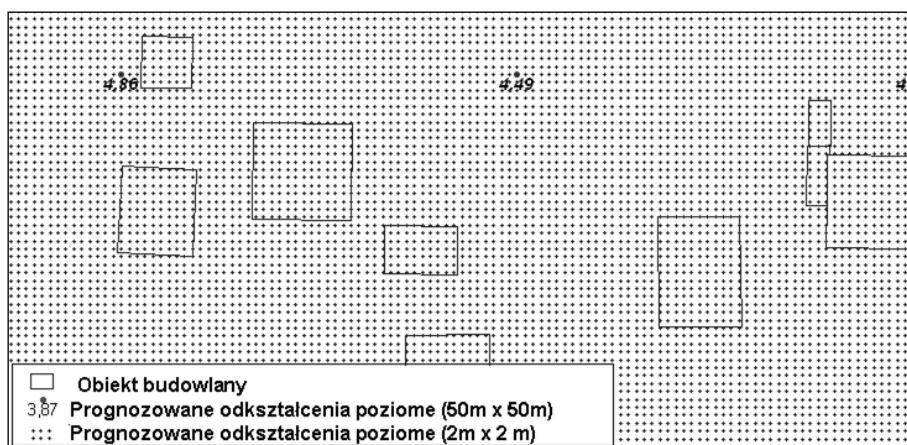
Rys. 3.4. Integracja danych w GIS

Fig. 3.4. Data integration in GIS

Przedsiębiorca górniczy zobligowany jest również do określenia zagrożenia, jakie może wystąpić na powierzchni terenu. W tym celu musi on sporządzić "prognozę wpływu działalności górniczej na przeobrażenia w środowisku. Przewidywany wpływ eksploatacji górniczej na powierzchnię w całym okresie prowadzenia ruchu zakładu górniczego" (Dz. U. Z dnia 1 lipca 2002 r.). W części szczegółowej do planu ruchu określone są typy zagrożeń, których prognozę należy sporządzić, a jednym z nich są deformacje ciągłe. Tego typu prognoza dla eksploatacji złóż fluidalnych scharakteryzowana została w rozdz. 2. Baza danych GIS zostaje zasilona danymi dotyczącymi przewidywanych deformacji ciągłych

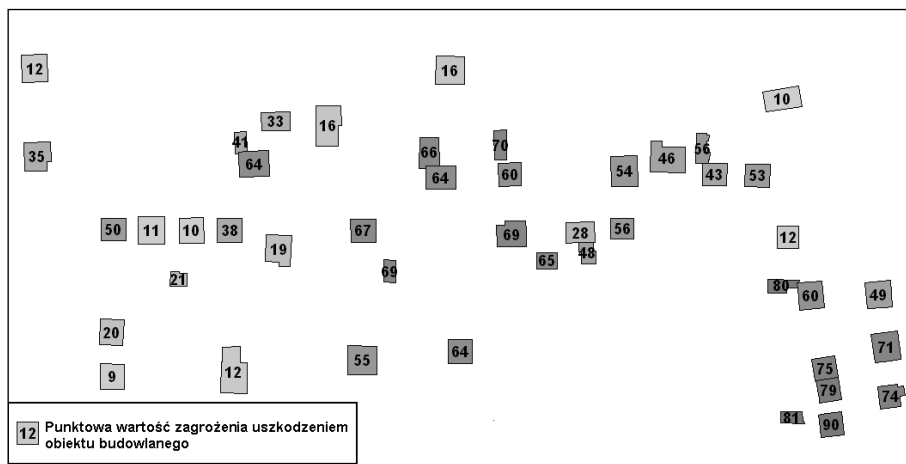


w zasięgu wpływów szkodliwych. Dla każdego obiektu budowlanego zostają wyznaczone maksymalne wskaźniki deformacji które stanowią dla niego potencjalne zagrożenie (Rys. 3.5).



Rys. 3.5. Prognozowane odkształcenie poziome, główne  
Fig. 3.5. Surface deformation - predicted

W oparciu o powyższe informacje przy wykorzystaniu rozmytego modelu wnioskującego możliwe jest określenie ilości punktów świadczących o zagrożeniu danego obiektu szkodą górniczą (Rys. 3.6).



Rys. 3.6. Wyniki oceny zagrożenia obiektów  
Fig. 3.6. Results of buildings hazard estimation

Zaprezentowana metoda pozwala przede wszystkim na szybką ocenę zagrożenia uszkodzeniem dużej ilości obiektów oraz uwzględnienie niepewności w ocenie zagrożenia wystąpieniem szkody górniczej.

### 3.2. Perspektywy dalszych badań – infrastruktura liniowa

Metoda przedstawiona w poprzednim rozdziale dotyczy jedynie obiektów budowlanych spełniających kryteria, które umożliwiają oszacowanie ich odporności metoda punktową. Badania aktualnie prowadzone w ramach projektu badawczego mają na celu opracowanie metody zagrożenia obiektów liniowych zlokalizowanych na terenach podlegających deformacjom w uwzględnieniu niepewności. Problemy wielokrotnie poruszane przez ekspertów to (Skinderowicz 1975; Mokrosz 2010):

- brak kierunkowości w estymacji deformacji zagrażającym tym obiektom,
- subiektywizm oceny odporności obiektów liniowych,
- brak jasnych kryteriów granicznych przy szacowaniu ryzyka uszkodzeniem,
- niedokładność prognoz deformacji powierzchni generowana przez zmienne wymieniowe w poprzednim rozdziale,
- nieuwzględnianie istotności obiektów liniowych,
- brak uwzględnienia okresu w jakim deformacje będą osiągały wartości maksymalne (np. w przypadku odkształceń poziomych),
- rozległość obiektów liniowych (w sensie przestrzennym).

Przy wykorzystaniu metod sztucznej inteligencji i systemów informacji geograficznej podjęta zostanie próba częściowego rozwiązania powyższych problemów.

#### Afiliacja

Badania zostały zrealizowane w ramach grantu Narodowego Centrum Nauki, nr UMO-2011/1/ST10/06958.

#### Literatura

- [1] Bondor P.L., De Rouffignac E. (1995): Land subsidence and well failure in the Belridge diatomite oil field, Kern county, California. Part II. Applications. Proceedings of the fifth international symposium on land subsidence FISOLS'95 (ed. by F.B.J. Barends, F.J.J. Brouwer, F.H).
- [2] Hejmanowski R. (1993) Zur Vorausberechnung förderbedingter Bodensenkungen über Erdöl- und Erdgaslagerstätten. Doctor's thesis, Technical University Clausthal, Clausthal-Zellerfeld.(ger.)
- [3] Hejmanowski R. (1995) Prediction of surface subsidence due to oil- or gasfield development. Proceedings of the fifth international symposium on land subsidence FISOLS'95 (ed. by F.B.J. Barends, F.J.J. Brouwer, F.H).
- [4] Hejmanowski R., Malinowska A. (2007): Ocena wiarygodności prognozy przemieszczeń pionowych w oparciu o przestrzenną analizę statystyczną. WUG: Bezpieczeństwo pracy i ochrona środowiska w górnictwie, nr 2.
- [5] Hejmanowski R., Malinowska A.(2009): Evaluation of reliability of subsidence prediction based on spatial statistical analysis, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Volume 46, Issue 2, str. 432-438.
- [6] Hejmanowski R., Kwinta A.: Modelowanie deformacji ciągłych powierzchni terenu w warunkach zmiennego zalegania złoża. Gospodarka Surowcami Mineralnymi. Tom 26, Zeszyt.3, 2010.
- [7] Malinowska A.(2011): A fuzzy inference-based approach for building damage risk assessment on mining terrains. Engineering Structures. Vol. 33, Issue 1.

- [8] Menghini M.L. (1989): Compaction monitoring in the Ekofisk area chalk fields. Journal of Petroleum Technology, July .
- [9] Mokrosz R. (2010): Oczekiwania dotyczące prognoz wpływów eksploatacji górniczej dla celów projektowania obiektów budowlanych. Konferencji: Bezpieczeństwo i ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych/konferencja naukowo-szkoleniowa , Wyd. GIG, Katowice.
- [10] Poland J.F.(1984): Guidebook to studies of land subsidence due to ground-water withdrawal. UNESCO. Paris.
- [11] Przybyła H., Świądrowski W. (1968): Określenie kategorii odporności istniejących obiektów budownictwa powszechnego na wpływy eksploatacji górniczej. OTG nr8, Katowice.
- [12] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 14 czerwca 2002 r.w sprawie planów ruchu zakładów górniczych (Dz. U. z dnia 1 lipca 2002 r.).
- [13] Shahinkar A., Shahriar K., Asadi A., Akbari A.D.: Feasibility study of oil mining – a fuzzy AHP decision making approach. Gospodarka Surowcami Mineralnymi. Tom 24, Zeszyt.4/2, 2008.
- [14] Skinderowicz B. (1975): Projektowanie eksploatacji pokładów węgla pod trasami kolejowymi. Materiały konferencyjne: Wybrane problemy ochrony obiektów kolejowych na terenach górniczych. Wyd. Zespół Wydawniczy Zarządu Oddziału SITG, Katowice.
- [15] Teeuw D.(1973): Laboratory measurement of compaction properties of Groningen reservoir rock. Verhandlingen Kon. Ned. Gel. Min. Gen., DEEL Vol.28.
- [16] Zadeh L.A.(1965): Fuzzy sets. Information and Control, vol. 38, No. 1,pp 1-14.
- [17] Geology.com – portal internetowy
- [18] The MathWorks: <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/fuzzy/>

### **Method of surface deformations prediction in the natural gas and petroleum mining areas with technical infrastructure risk assessment method**

#### Key words

Fuzzy logic, modeling, roc mass deformation, natural gas, oil development

#### Summary

Exploitation of natural gas and oil under certain geological and mining conditions could generate continuous deformation of the surface. Therefore there is a requirement to analyze the possibility of occurrence unfavorable phenomenon on the ground surface, to monitor lan subsidence and surface deformations during mining and to protect surface infrastructure located in the range of mining influences. Surface deformations can cause hazard to the buildings and surface structures, but also infrastructure belonging to the mine.

In the paper the issue of surface deformation caused by mining of liquid and gaseous resources has been presented. For the purpose of building protection and infrastructure risk assessment model based on the elements of fuzzy logic has been implemented.

*Przekazano: 29 marca 2012 r.*