

Maria Antonina Mach

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

Paweł Zając

APGEO.PL

MONITOROWANIE ZAGROŻEŃ DEFORMACJI TERENU Z UŻYCIEM TEMPORALNEGO SYSTEMU INTELIGENTNEGO NA PRZYKŁADZIE KOPALNI BOT TURÓW SA

Streszczenie: działalność górnicza niejednokrotnie powoduje wymierne straty, takie jak zniszczenie terenu, mogące wywierać wpływ na jakość życia mieszkańców gminy, na terenie której leży kopalnia. Ponadto zniszczenia te – np. osuwiska – nie pozostają bez wpływu na koszty działalności kopalni. Dlatego niezwykle istotne jest monitorowanie czynników sprzyjających powstawaniu zagrożeń, tak aby można było albo im w odpowiednim czasie zapobiec, albo zminimalizować ich skutki. W artykule zwraca się uwagę na aspekt temporalny monitoringu i proponuje temporalny system wnioskujący, który na podstawie obserwacji czynników związanych z zagrożeniami będzie w stanie przewidywać te zagrożenia, a także sugerować odpowiednie działania prewencyjne i naprawcze. Problemy te omawiane są na przykładzie BOT Turów SA.

Słowa kluczowe: szkody górnicze, deformacje terenu, monitoring, temporalny system inteligentny.

1. Wstęp

Prowadzenie eksploatacji złóż naturalnych, takich jak węgiel brunatny, nie pozostaje bez wpływu na środowisko i na warunki życia człowieka. Gminy, na terenie których działają kopalnie, borykają się z problemami tzw. szkód górniczych, do których można zaliczyć np. osuwiska, leje czy ogólnie deformacje terenu. Szkody te wpływają również na działalność kopalni, w dwóch aspektach. Po pierwsze, nieprzewidziane szkody generują dodatkowe koszty. Po drugie, tereny zdeformowane w wyniku eksploatacji podlegają później pracom rekultywacyjnym, zatem wcześniejsze oszacowanie zagrożeń pozwala zaplanować prace rekultywacyjne i wydatki na nie.

Aby przewidzieć deformacje terenu, służby górnicze prowadzą jego regularne obserwacje, monitorując czynniki zagrożenia. Badanych parametrów jest wiele, mają one różnoraki charakter i zmieniają się w czasie. Dlatego do sprawnego ich monitorowania i wysuwania wniosków konieczne jest zastosowanie wspomaganie informatycznego.

Obecnie działające systemy informatyczne, mimo iż zaawansowane technologicznie i integrujące różnorodne rozwiązania, mają jednak podstawową wadę – nie obejmują aspektu temporalnego monitorowanych parametrów (czynników).

Odpowiedzią na nakreślone powyżej wyzwania może być zastosowanie temporalnego systemu inteligentnego, tj. systemu sztucznej inteligencji, który w sposób bezpośredni i jawny przeprowadza wnioskowanie temporalne. Zatem system taki nie tylko zawiera bazę faktów, bazę reguł i mechanizm wnioskowania, lecz także w sposób bezpośredni ujmuje kwestię czasu. Pozwala on wnioskować na temat zmian zjawisk w czasie, umożliwia analizę historyczną tych zjawisk, analizę zmian przyszłych oraz – ogólnie rzecz biorąc – dynamiczną analizę przedstawionej rzeczywistości.

Artykuł zorganizowany jest następująco: część 2 charakteryzuje warunki działania BOT Turów SA i związane z jej działalnością zagrożenia. W części 3 przedstawiono pomiary, jakich dokonuje się celem identyfikacji zagrożeń. Część 4 zawiera krótką charakterystykę obecnie działających w BOT Turów systemów informatycznych wspierających monitoring zagrożeń. Wreszcie w części 5 zaprezentowano koncepcję temporalnego systemu inteligentnego, mającego usprawnić monitorowanie terenu i sugerować odpowiednio wcześniej działania naprawcze.

2. Charakterystyka złoza „Turów” i występujących zagrożeń

Tereny, na których prowadzi działalność eksploatacyjną kopalnia BOT Turów, zaliczyć należy do trudnych pod względem geologiczno-górnico-inżynierskim. Usytuowanie Zagłębia Turowskiego przedstawia rys. 1.

Wspomniane trudności obejmują m.in.:

- uskoki w różnych kierunkach,
- nachylenia i nieciągłości serii geologicznych złoza „Turów”,
- wypiętrzenia,
- spękania.

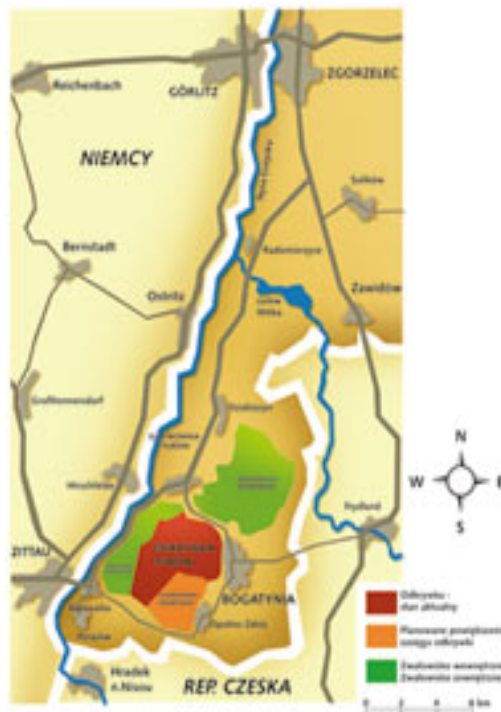
Wymienione trudności wiążą się z istnieniem zagrożeń występujących w trakcie eksploatacji złoza, takich jak utrata stateczności skarp i zboczy, osuwiska, deformacje powierzchni terenu, zaburzenia ciągłości warstw stropowych itp. Zagrożenia te powodują niekontrolowane zapadanie powierzchni, np. zapadnięcie się terenu we wsi Wilczkowice [7]. Jak piszą autorzy cytowanej pracy, główne czynniki stojące za deformacjami i osuwiskami na terenie złoza „Turów” to:

- uskoki tektoniczne,
- spękania i szczeliny odprężeniowe,
- duże nachylenie warstw litologicznych,
- wycieki wody z soczew i przestawów piaszczystych oraz z pokładów węgla.

Inne czynniki to np. opady atmosferyczne, powodujące nawodnienie szczelin.

Należy przy tym zauważyć jako niezwykle istotne, że dynamika powstających przemieszczeń w terenie jest duża, a zatem bardzo ważne jest uchwycenie zmian terenu w czasie.

Opisana sytuacja powoduje, że istnieje potrzeba ciągłego monitorowania czynników krytycznych, jako podstawy do predykcji możliwych zagrożeń, co z kolei umożliwi podjęcie odpowiednio wcześniej działań zapobiegawczych. Sposób, w jaki obecnie prowadzony jest monitoring zagrożeń w BOT Turów SA, omówiono pokrótce w punkcie 3.



Rys. 1. Usytuowanie Zagłębia Turoszowskiego

Źródło: [8].

3. Pomiary geodezyjne i geologiczne identyfikujące zagrożenia

Monitoring czynników sprzyjających występowaniu zagrożeń jest prowadzony w sposób ciągły. Jest to monitoring geodezyjny i geologiczny, który obejmuje takie elementy, jak:

- pomiary deformacji powierzchniowych i wglębnych,
- pomiary ciśnień porowych w korpusie zwałowisk,
- sondowania geostatyczne,
- obserwacje terenowe,
- jakość wód odprowadzanych ze zwałowiska,
- charakter i przebieg procesów glebotwórczych,
- proces osiadania terenu [6; 7].

Pomiary powyższe prowadzone są m.in. za pomocą technik GPS, w tym pomiarów w czasie rzeczywistym. Przykładowo, pomiary przemieszczeń punktów geodezyjnych wykonywane są co 2 tygodnie, natomiast nowo powstające szczeliny monitoruje się na bieżąco. Pozostałe przykłady częstotliwości pomiarów obrazuje tab. 1.

Tabela 1. Częstotliwość pomiarów na zwałowisku zewnętrznym BOT Turów SA

Rejon	Częstotliwość pomiarów				
	Plan Obsługi Geotechnicznej KWB Turów na rok 2005	Notatka TG/GZ-143/05/1367 z dnia 25.04.2005	Protokół nr 3/2005 z posiedzenia ZZN w dniu 6.05.2005	Wpis do „Książki kontroli stanu wyrobiska odkr. i zwałowisk oraz zagrożeń naturalnych”	Protokół nr 4/2005 z posiedzenia ZZN w dniu 2.09.2005
I	1 × na mies.	1 × na mies.	1 × na mies.	1 × na 2 tyg.	1 × na 2 tyg.
II	1 × na mies.	1 × na mies.	1 × na mies.	1 × na 2 tyg.	1 × na 2 tyg.
III	1 × na kw.	1 × na kw.	1 × na kw.	1 × na kw.	1 × na kw.
IV	1 × na mies.	4 × na mies.	4 × na mies. (punkty: 39-50, 676-683, 25 i 28)	1 × na 2 tyg. w części pd. rejonu	1 × na 2 tyg.
V	1 × na rok	1 × na rok	1 × na rok	1 × na rok	1 × na rok

Źródło: [6].

Dzięki temu, że pomiary dokonywane są w sposób ciągły (osadzone w czasie), możliwe jest kontrolowanie i rejestrowanie prędkości przemieszczeń powierzchniowych i wgłębnych górotworu. Przemieszczenia punktów geodezyjnych pozwalają opisać proces deformacji.

Jak widać z powyższego, cechy podlegające pomiarowi są dwójakiego rodzaju: ilościowe i jakościowe. Przy czym za cechę jakościową uznajemy cechę (funkcję) odwzorowującą zbiór obiektów w zbiór określeń słownych, zaś za cechę ilościową – cechę (funkcję) odwzorowującą zbiór obiektów w zbiór wartości liczbowych [1, s. 95-96]. Do cech ilościowych podlegających pomiarowi możemy przykładowo zaliczyć:

- ciśnienia porowe,
- wyniki pomiarów niwelacji precyzyjnej,
- parametry fizyko-mechaniczne skał i gruntów,
- wyniki pomiarów inklinometrycznych,
- osiadanie terenu (zmiany wysokości powierzchni terenu),
- obniżenie zwierciadła wód gruntowych (lej depresji).

Natomiast cechy jakościowe podlegające obserwacji to np.:

- stan punktów geodezyjnych (np. dobry, zły, bez zmian),
- nasilenie opadów (np. duże, średnie, niskie),
- wyniki wywiadów terenowych (obserwacje i kontrola, czy np. nie ma spękań lub niepokojących objawów).

4. Istniejące systemy informatyczne wspomagające monitoring zagrożeń naturalnych

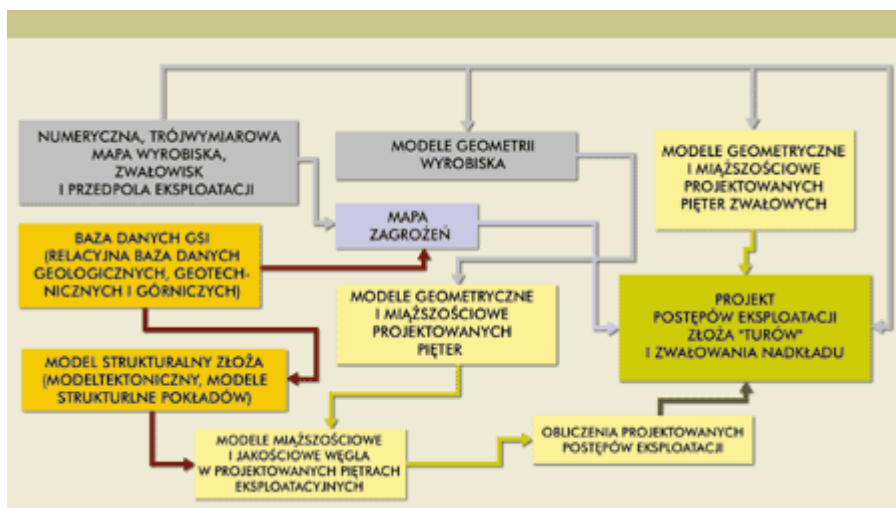
W BOT Turów wykorzystywane jest obecnie oprogramowanie służące do monitoringu zagrożeń górniczych. Jest to zestaw programów, w skład którego wchodzi: relacyjna baza danych Górniczego Systemu Informatycznego (GSI, środowisko

SQLServer), mapy cyfrowe w środowisku MicroStation oraz pakiet specjalistycznych programów górniczych, korzystających z bazy danych (np. programy Convert, Werktor, Inklin firmy PRGW Sosnowiec) [3]. Baza danych zawiera informacje geologiczne, geotechniczne, geodezyjne, miernicze i technologiczne. Znajdują się w niej m.in. następujące tabele:

- *SKP* – wyniki pomiarów geodezyjnych,
- *Litologia* – informacje o litologii warstw geologicznych,
- *Osiadania* – wyniki pomiarów niwelacji,
- *Ciśnienia porowe* – wyniki pomiarów ciśnień porowych,
- *Analizy geotechniczne* – parametry fizykomechaniczne skał i gruntów,
- *Skład granulometryczny* – parametry składu ziarnowego na podstawie analiz sietowych i areometrycznych,
- *Pomiary inklinometryczne* – wyniki pomiarów inklinometrycznych [3; 9].

Jest oczywiste, że informacje dotyczące tektoniki, warunków wodnych czy parametrów geotechnicznych skał stanowią o bezpieczeństwie eksploatacji złoża. Dane te muszą więc być na bieżąco aktualizowane, za co odpowiedzialne są służby geologiczna, miernicza i geotechniczna [9].

Ogólną strukturę funkcjonującego rozwiązania przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Struktura GSI w BOT Turów SA

Źródło: [9].

Dzięki informacjom z bazy danych można określić prędkość i wielkość osiadania gruntów, kierunek i wartość przemieszczeń poziomych skarp i zboczy, ocenić wpływ eksploatacji na stateczność skarp i zboczy oraz osiadania terenów wokół wyrobiska odkrywkowego.

Należy jednak w tym miejscu zwrócić uwagę na to, że choć omówione w punkcie 2 pomiary geodezyjne i geotechniczne obejmują cechy zarówno ilościowe, jak i jakościowe, to w opisywanej bazie danych zapisywane są jedynie cechy o charakterze ilościowym. Ponadto – co równie ważne – baza ta jest klasyczną bazą atemporalną. Nie jest zatem możliwe zapisanie w niej informacji o dynamice zjawisk i ich historii, co stanowi poważną wadę, ponieważ dynamika zmian terenu jest duża (por. punkt 1).

Ogólnie ograniczenia klasycznej, relacyjnej bazy danych można ująć następująco:

a) klasyczna baza danych nie jest w stanie uchwycić zmienności w czasie czynników odpowiedzialnych za zagrożenia górnicze, pomijając ich wymiar temporalny;

b) nie umożliwia zatem śledzenia ewolucji tych zmian;

c) nie pozwala uchwycić zależności przyczynowo-skutkowych, ponieważ są one osadzone w czasie (relacja przyczyna–skutek);

d) nie umożliwia prognozowania zmian w terenie, ponieważ dostarcza wyłącznie danych bieżących, które są zbyt słabą podstawą do formułowania przewidywań. Możliwa jest jedynie analiza bieżąca.

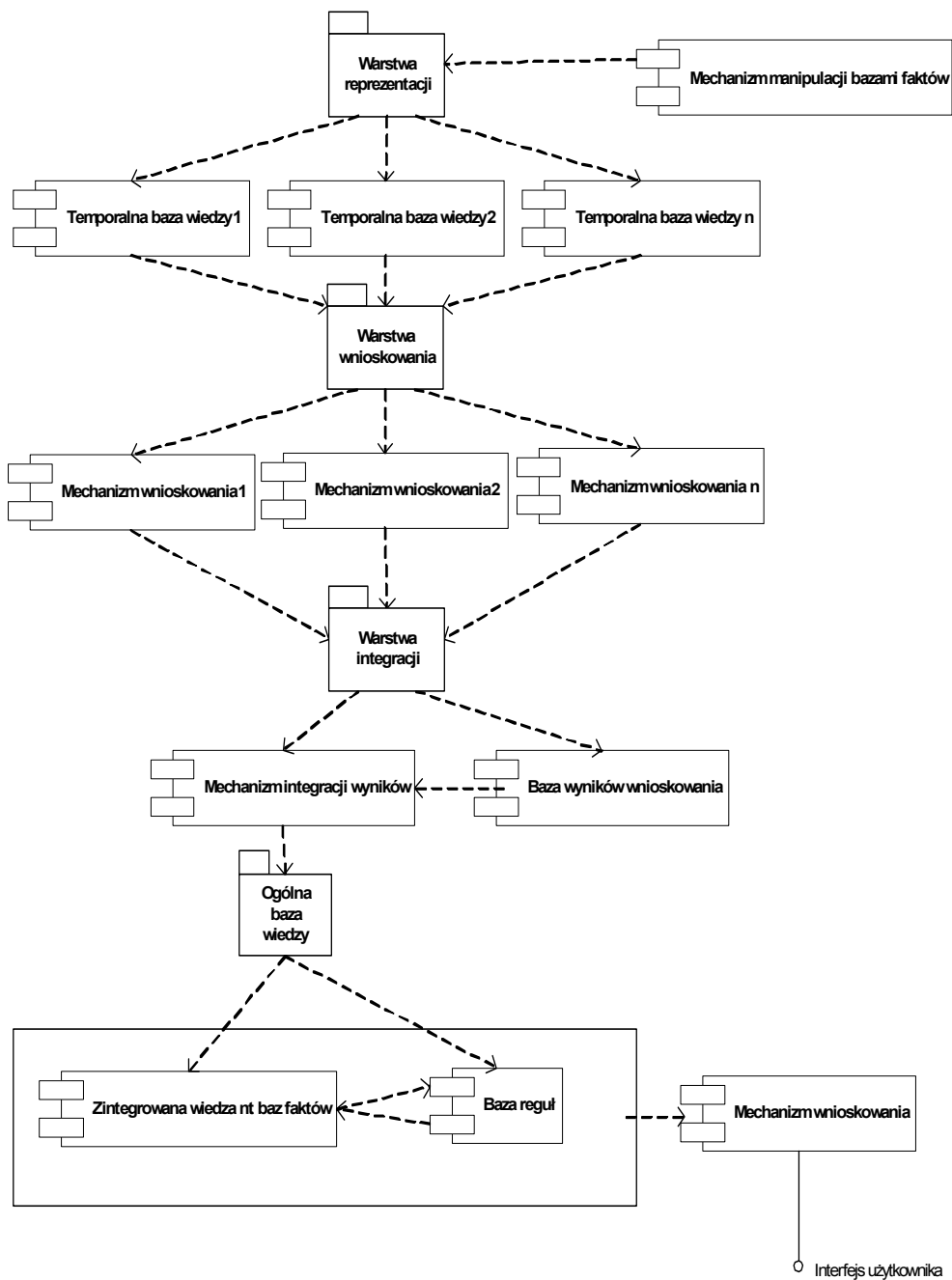
Z powyższych względów analizy, o których mowa wyżej, dokonywane są nie przez system, lecz przez kadrę inżynierską kopalni na podstawie danych z bazy. Wydaje się, że umożliwienie generowania takich analiz w sposób automatyczny stanowiłoby istotne usprawnienie i pomoc dla służb odpowiedzialnych za monitoring zagrożeń.

5. Koncepcja temporalnego systemu inteligentnego na potrzeby monitoringu zagrożeń naturalnych

W pracy [5] zaproponowano koncepcję temporalnego systemu inteligentnego na potrzeby analizy otoczenia przedsiębiorstwa. Model ten jest na tyle elastyczny, że można z łatwością zaadaptować go na potrzeby monitoringu zagrożeń, prowadzonego w BOT Turów SA.

Za celowością zastosowania tej koncepcji przemawia to, że proponowany model systemu zorientowany jest czasowo (co pozwoli uwzględnić historię i dynamikę obserwowanych zjawisk), a także ma możliwość analizowania cech o charakterze zarówno ilościowym, jak i jakościowym. Schemat systemu przedstawiono na rys. 3.

Ze względu na niejednorodność badanych cech terenu oraz ich zmienność w czasie, u podstaw architektury temporalnego systemu inteligentnego leżą dwa główne założenia: pierwszym jest wykorzystanie formalizmów temporalnych do reprezentacji i wnioskowania na temat zmian badanych elementów, drugim – założenie o zastosowaniu tzw. kapsuł wiedzy. Tą nazwą określamy indywidualne temporalne bazy wiedzy, które składają się na pierwszą warstwę systemu, czyli warstwę reprezentacji. Można powiedzieć, że baza wiedzy systemu składa się z subbaz (kapsuł wiedzy), z których każda stanowi zamkniętą całość, odnosi się do jednej badanej cechy terenu.



Rys. 3. Model architektury temporalnego systemu wnioskującego

Źródło: opracowanie własne.

Kapsuła wiedzy formalnie reprezentowana jest za pomocą wybranego formalizmu temporalnego, zawiera wiedzę temporalną oraz reguły wnioskowania właściwe danemu formalizmowi. Kapsułę wiedzy definiujemy jako czwórkę:

$$KW_n = \{W_n, A_n, R_n, O_n\},$$

gdzie: W_n – wiedza zawarta w n -tej kapsule,

A_n – aksjomaty logiki, w której sformalizowana jest wiedza,

R_n – reguły wnioskowania właściwe danej logice,

O_n – zakładana ontologia czasu.

Zatem warstwę reprezentacji stanowi spektrum n baz wiedzy (kapsuły), gdzie n jest liczbą reprezentowanych badanych elementów terenu. Wybór logik temporalnych do warstwy reprezentacji wiedzy zależy przede wszystkim od charakterystyk dziedziny, od wynikającej z nich struktury czasu oraz od własności samego formalizmu.

Ze względu na niejednorodność badanych cech, w każdej z kapsuł wiedzy może być użyty inny formalizm temporalny, a zatem mogą być stosowane różne – zależne od formalizmu – reguły wnioskowania o zmianach. Dodatkowo do każdej z kapsuł wiedzy przypisany jest mechanizm wnioskowania, tak aby o zmianach badanych cech można było wnioskować w sposób indywidualny.

Proponowany system zawiera warstwę integracji/unifikacji, która odpowiada za hybrydyzację wiedzy o badanych elementach i za stworzenie jednolitej reprezentacji poszczególnych wyników wnioskowania. Hybrydyzacja temporalna to proces przekształcania heterogenicznej wiedzy temporalnej, który prowadzi do uzyskania jednolitej reprezentacji, z zachowaniem informacji o charakterystykach temporalnych i istotnych własnościach przekształcanej wiedzy. Dzięki temu możliwe staje się proces dalszego wnioskowania, odnoszącego się do badanych cech traktowanych jako całość. W powiązaniu z regułami wnioskowania ta zunifikowana reprezentacja tworzy tzw. ogólną bazę wiedzy. Kwestia sformułowania reguł wnioskowania dla tej ogólnej bazy wiedzy nie jest trywialna. Reguły te można uzyskać np. w drodze konsultacji z ekspertami, którzy posiadają wiedzę na temat charakteru badanych cech i ich wpływu na zagrożenia górnicze. Wnioskowanie ma dotyczyć zmian otoczenia w czasie, dlatego reguły powinny być w postaci temporalnej, czyli posiadać jawną część temporalną (daną *explicite*).

Składowa systemu odpowiedzialna za manipulację kapsułami wiedzy (w pierwszej warstwie) ma umożliwić, w powiązaniu z interfejsem użytkownika, nie tylko utrzymanie indywidualnych baz wiedzy, lecz także analizę historyczną zmian badanych elementów w czasie. Można rozważyć użycie np. rachunku sytuacyjnego, gdyż był z powodzeniem zastosowany do utrzymania temporalnych baz danych i formułowania zapytań o charakterze temporalnym. Mechanizm manipulacji bazami wiedzy (kapsułami) leży właściwie niejako na pograniczu warstw reprezentacji i wnioskowania. Do warstwy reprezentacji przynależy on w tym sensie, że konieczna jest reprezentacja zmian wszystkich badanych elementów terenu w czasie. Innymi słowy, należy opisać zmianę w czasie wszystkich baz wiedzy o elementach

terenu, potraktowanych jako całość. Jest to tzw. metawiedza temporalna, czyli wiedza o tym, jak ewoluowała w czasie wiedza dziedzinowa [4, s. 313]. Natomiast do warstwy wnioskowania mechanizm ten należy o tyle, że – aby zapewnić spójność zmieniającej się w czasie wiedzy – należy zaimplementować w nim również reguły spełniania ograniczeń temporalnych. Problem spełniania ograniczeń temporalnych (TCSP) zaś to jedno z podejść do wnioskowania temporalnego.

Wnioskowanie prowadzone w odniesieniu do poszczególnych źródeł wiedzy oraz wnioskowanie dotyczące ogólnej (zintegrowanej) bazy wiedzy dają użytkownikowi informację na temat „stanu bieżącego”, czyli tego, jak elementy decydujące o zagrożeniach kształtują się w danym momencie, pozwalają także na obsługę zapytań historycznych. W temporalnym systemie inteligentnym wnioskowanie temporalne umiejscowione jest w warstwie drugiej, czwartej oraz częściowo w warstwie pierwszej (por. rys. 3). Dzięki koncepcji kapsuł wiedzy istnieje dość duża swoboda wyboru rodzaju wnioskowania i strategii sterowania nim, ze względu na pokrewieństwo kapsuł wiedzy do koncepcji opartej na paradygmacie obiektowym. Jak bowiem piszą J. Chromiec i E. Strzemieczna, „do danych zapisanych obiektowo można stosować właściwie wszystkie strategie wnioskowania”, ponadto część mechanizmu wnioskowania można „zaszyć” wewnątrz obiektów [2, s. 64]. Jak już powiedziano, w każdej kapsule zawarte są reguły wnioskowania właściwe danej logice temporalnej. Najczęściej dotyczą one uporządkowania faktów/zdarzeń w czasie, więc można uznać je za reguły spełniania ograniczeń temporalnych.

Ostatnia warstwa systemu odpowiada za realizację trzech zadań. Po pierwsze, wnioskowania na temat elementów terenu (badanych cech) jako całości. Jest to wnioskowanie prowadzone odnośnie do wiedzy zgromadzonej w ogólnej, zintegrowanej bazie wiedzy, a jego celami są: analiza historyczna i bieżąca, wnioski dotyczące powiązań pomiędzy elementami terenu itp. Po drugie, wnioskowanie w tej warstwie ma na celu także analizę zmian przyszłych. Po trzecie, w ostatniej warstwie znajduje się interfejs użytkownika, odpowiedzialny za komunikację i obsługę zapytań.

6. Podsumowanie

W artykule zaproponowano temporalny system inteligentny, który wspierałby służby górnicze kopalni w monitorowaniu zagrożeń wynikających z działalności górniczej, a skutkujących deformacjami terenu.

Wydaje się, że proponowany system przewyższa aktualnie stosowane rozwiązania informatyczne w dwóch kwestiach: po pierwsze, pozwala w sposób jawny ująć zmiany badanych parametrów (kwestia temporalna), a po drugie, pozwala monitorować również cechy jakościowe – podczas gdy obecnie stosowane systemy oparte na paradygmacie bazodanowym takiej możliwości nie oferują.

Oczywiście, prezentowana koncepcja nie jest ostateczna, można wytyczyć kilka kierunków badawczych, z których najistotniejsze wydają się: koncepcja integracji przedstawionego systemu z mapami cyfrowymi opracowanymi w środowisku

MicroStation (z których korzysta BOT Turów SA), wybór formalizmów temporalnych do reprezentacji monitorowanych cech terenu i wdrożenie systemu. Prace w tych kierunkach będą kontynuowane.

Literatura

- [1] Borys T., *Kategoria jakości w statystycznej analizie porównawczej*, Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej nr 284, Seria: Monografie i Opracowania 23, AE, Wrocław 1984.
- [2] Chromiec J., Strzemieczna E., *Sztuczna inteligencja. Metody konstrukcji i analizy systemów eksperckich*, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1995.
- [3] Dymarski J., Wojnar B., *Zastosowanie technologii SIP do prognozowania zagrożeń naturalnych w BOT KWB Turów SA*, „Węgiel Brunatny” 2005, nr 2/51, <http://www.ppwb.org.pl/wb/51/6.php> (dostępny 12.06.2009).
- [4] Lorentzos N.A., Yialouris C.P., Sideridis A.B., *Time-evolving rule-based knowledge bases*, „Data & Knowledge Engineering” 1999, Vol. 29, No. 3, s. 313-335.
- [5] Mach M.A., *Temporalna analiza otoczenia przedsiębiorstwa. Techniki i narzędzia inteligentne*, AE, Wrocław 2007.
- [6] Milkowski D., *Warunki końcowego formowania najwyższych pięter zwalowiska BOT KWB Turów SA*, „Węgiel Brunatny” 2006, nr 2/55, <http://www.ppwb.org.pl/wb/55/10.php> (dostępny 12.06.2009).
- [7] Milkowski D., Górecka A., Wójcicka-Milewska M., *Zabezpieczenie i monitoring osuwisk powstałych na Zboczu Północnym wyrobiska odkrywkowego BOT KWB Turów S.A.*, „Węgiel Brunatny” 2008, nr 2/63, <http://www.ppwb.org.pl/wb/63/7.php> (dostępny 12.06.2009).
- [8] Uberman R., Kaczarewski T., *Analiza możliwości rekultywacji i zagospodarowania terenów pogórnicznych w KWB „Turów” S.A.*, „Węgiel Brunatny” 2005, nr 1/50, <http://www.ppwb.org.pl/wb/50/10.php> (dostępny 27.06.2009).
- [9] Żwirski T., *Aplikacja nowoczesnego systemu informatycznego dla efektywnej gospodarki złożem w kopalni węgla brunatnego na przykładzie BOT KWB Turów SA*, „Węgiel Brunatny” 2006, nr 1/54, <http://www.ppwb.org.pl/wb/54/8.php> (dostępny 12.06.2009).

MONITORING OF TERRAIN DAMAGES WITH THE USE OF A TEMPORAL INTELLIGENT SYSTEM ON THE EXAMPLE OF TURÓW LIGNITE MINE

Summary: Mining activities cause very often measurable harms, such as terrain damages, which can affect the quality of life in municipalities, where the coal mine is set. Moreover, these damages – e.g. landslides – also affect the costs of mining activities. Therefore it is essential to monitor factors responsible for harms, in order to prevent from damages or to minimize their effects. In the paper the temporal aspect of monitoring process is stressed and a temporal intelligent system is proposed – a system which, on the basis of observations concerning harmful factors, will be able to predict these harms and to suggest appropriate preventive or corrective activities. These problems are discussed on the example of Turów lignite mine.