

Ocena zagrożenia osuwiskowego w kopalniach odkrywkowych na przykładzie KWB Bełchatów i KWB Turów

Jerzy Flisiak¹, Stanisław Rybicki², Marek Tylikowski³



J. Flisiak



S. Rybicki



M. Tylikowski

Estimation of landslides hazard on the example of Bełchatów and Turów brown coal pits. *Prz. Geol.*, 62: 563–569.

Abstract. In this work the types and causes as well as the actual methods of landslide hazard prognosis in open pit slopes were described. These methods are compared with evaluation criteria of landslides hazard in the open pits slopes in the present order of Polish Ministry of the Environment. Authors of this work stated that the two degrees of landslides hazard in the open pit mines distinguished in the order of the Ministry of the Environment are ambiguous and difficult in the practical application. Authors way of landslides risk evaluation was proposed.

Keywords: open pits, landslide hazard, brown coal, evaluation criteria

Minister środowiska, w następstwie odpowiednich dyrektyw Unii Europejskiej oraz Ustawy z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze, wydał Rozporządzenie z dnia 19 lutego 2013 r. w sprawie określania zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych. Jednym z wymienionych w tym dokumencie możliwych zagrożeń jest zagrożenie osuwiskowe. Może mieć ono miejsce tylko w odkrywkowym zakładzie górniczym. Rozporządzenie ustala dwa stopnie zagrożenia osuwiskowego. Do I stopnia zagrożenia zalicza się złoże lub jego część, wyrobisko lub jego część oraz zwałowisko, zwane w dokumencie przestrzeniami, jeśli na skarpie lub w zboczu wymienionych przestrzeni występują ogólnie biorąc niekorzystne warunki geologiczno-strukturalne, takie jak nachylenie warstw w stronę wyrobiska, uskoki, strefy wietrzenia, przewarstwienia słabych gruntów itp. W obrębie tych przestrzeni należy okonturować na odpowiedniej mapie rejony zagrożenia w nawiązaniu do miejsca lub miejsc występowania tych niekorzystnych warunków geologiczno-strukturalnych. Do II stopnia zagrożenia zalicza się rejony I stopnia zagrożenia, jeśli zaistniało już w nich osuwisko.

Rozporządzenie stanowi też, że podstawowym kryterium oceny zagrożenia osuwiskowego jest możliwość zaistnienia osuwiska, co można interpretować jako prawdopodobieństwo jego powstania. W niezbyt trafnej definicji osuwiska podanej w tym dokumencie pisze się też o niebezpieczeństwie stwarzanym przez osuwiska dla pracowników lub ruchu zakładu górniczego. Należy więc domniemywać, że oba te czynniki – prawdopodobieństwo powstania i szkodliwość (konsekwencja) osuwiska – powinny być uwzględnione w wydziałaniu rejonów zagrożeń.

Rozporządzenie z natury rzeczy ma charakter ogólny i jego wdrożenia do praktyki wymaga rozwiązań niektórych problemów szczegółowych. Te rozwiązania, jak się wydaje,

winny być w miarę jednolite w skali kraju dla odkrywkowych zakładów górniczych.

OSUWISKA W ODKRYWKOWYCH ZAKŁADACH GÓRNICZYCH

Na skarpach i zboczach różnych wyrobisk odkrywkowych oraz towarzyszących im zwałowisk gruntów nadkładu, rejestruje się w skali naszego kraju znaczną liczbę osuwisk. Objętości osuwających się gruntów są bardzo zróżnicowane, od kilku, kilkunastu do setek tysięcy, a nawet do kilku milionów metrów sześciennych (Patrzyk, 1995; Rybicki, 1995; Czarnecki & Frankowski, 1996; Rybicki, 1996; Jończyk i in., 2013). W wyrobiskach odkrywkowych są to w większości przypadków tzw. osuwiska strukturalne, a na zwałowiskach związane są głównie z morfologią, nośnością i stanem odwodnienia podłoża skarp i zboczy, a także wysokością skarp i intensywnością zwałowania. Słusznie więc w wymienionym na wstępie artykule rozporządzeniu przyjmuje się czynniki geologiczno-strukturalne jako kryterium wyznaczania I stopnia zagrożenia osuwiskowego. Jednak dotyczy to głównie skarp i zboczy wyrobiska profilowanych w gruntach rodzimych nadkładu (w tzw. caliznie), a w małym stopniu skarp i zboczy zwałowiska. W przypadku tego ostatniego o jego stateczności w dużym stopniu, jeśli chodzi o czynniki naturalne, decyduje morfologia podłoża zwału oraz warunki jego zawodnienia. W zwałowisku bowiem, jako w miarę jednorodnej mieszaninie gruntów nadkładu, nie wyróżnia się w zasadzie elementów strukturalnych wymienionych w rozporządzeniu (warstwowania, podzielności ławicowej, spękań ciosowych, stref wietrzenia, uskoków itp.).

O stateczności skarp i zboczy, zarówno wyrobiska odkrywkowego, jak i zwałowisk decydują jednak nie tylko naturalne czynniki geologiczno-strukturalne oraz związane

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; flisiak@agh.edu.pl.

² Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; srybicki@agh.edu.pl.

³ ProGiG-projekt, ul. Stawowa 34, 55-114 Ligota Piękna; marek.tylikowski@progig-projekt.com.pl.

z nimi także właściwości geomechaniczne gruntów i warunki hydrogeologiczne, ale i czynniki górniczo-technologiczne. Złoże eksploatowane odkrywkowo jest przestronią, gdzie w sposób ciągły zmienia się położenie skarp i zboczy, zarówno w planie poziomym, jak i w pionie. Kierunki postępu frontów eksploatacji i zwałowania, a także długości tych frontów tworzących odcinki zboczy wyrobiska lub zwałowiska, uzależnione są w dużej mierze od czynników górniczo-technologicznych i tylko w pewnym stopniu są lub mogą być korzystnie dla stateczności zboczy, dostosowywane do czynników geologiczno-strukturalnych. Projektując geometrię skarp i zboczy wyrobiska i zwałowiska w poszczególnych fazach ich rozwoju (wysokości skarp i nachylenie, szerokości poziomów między skarpami, generalne pochylenia zboczy), bierze się pod uwagę rozpoznane czynniki geologiczno-strukturalne oraz zbadane geomechaniczne właściwości gruntów i wykonuje odpowiednie numeryczne analizy stateczności. Ma to zapewnić projektowanej geometrii zboczy stateczność przy postulowanej wartości wskaźnika stateczności (bezpieczeństwa). W praktyce jednak wskutek niemożliwości pełnego rozpoznania czynników geologiczno-strukturalnych oraz cech geomechanicznych gruntów, osuwiska na zboczach lokalnie występują. Całkowita eliminacja osuwisk na zboczach i skarpach wyrobiska i zwałowiska wymagałaby bowiem zaprojektowania ich geometrii w sposób ekonomicznie i technologicznie nieuzasadniony. Warunki geologiczno-inżynierskie skarp i zboczy odkrywki ulegają ciągłym zmianom w czasie (dodatkowe rozpoznawanie czynników geologiczno-strukturalnych w miarę postępu eksploatacji, możliwe zmiany technologii górniczej oraz warunków hydrogeologicznych wskutek odwadniania kopalni itp.). Ocena zagrożeń osuwiskowych w odkrywkowych zakładach górniczych jest więc procesem dynamicznym dokonywanym w pewnych przedziałach czasowych i musi podlegać ciągłej weryfikacji w miarę postępu rozpoznania warunków geologiczno-inżynierskich i ewentualnych zmian w zakresie prac górniczych.

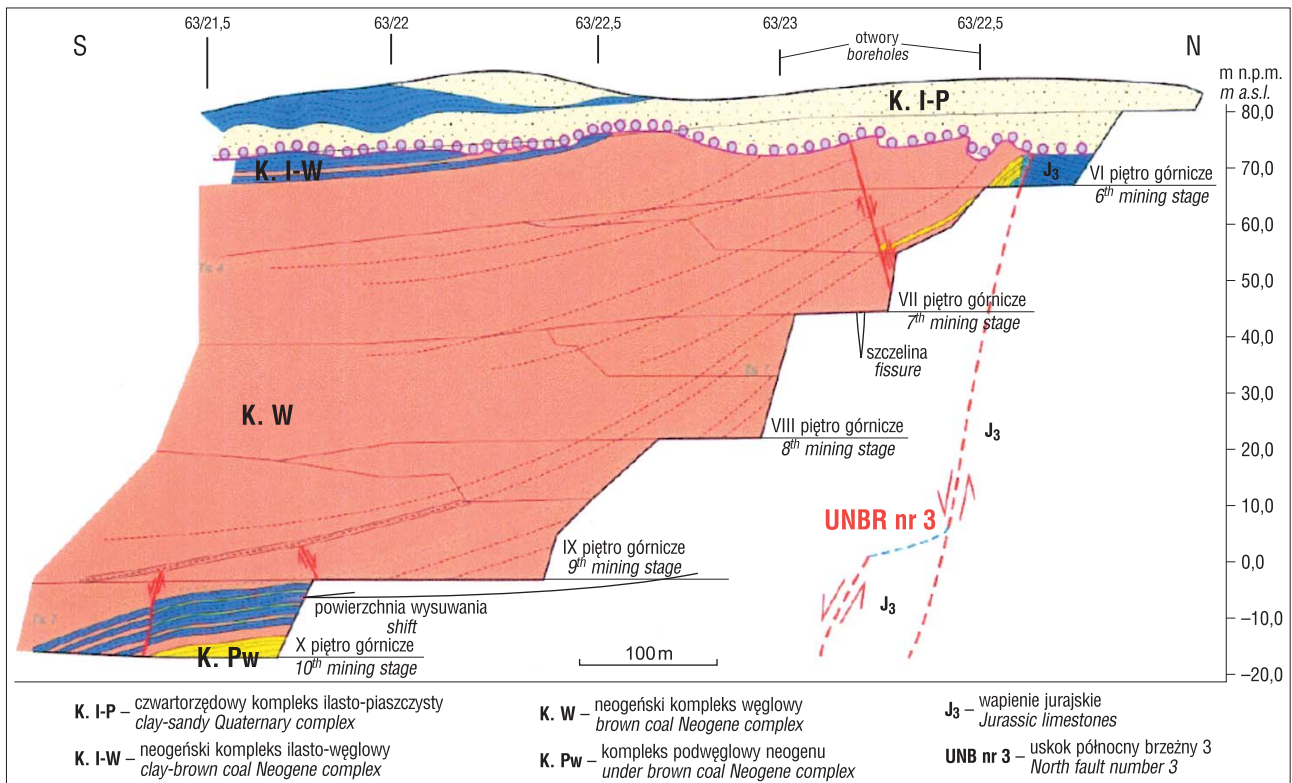
**PRZYCZYNY OSUWISK
ORAZ DOTYCHCZASOWE SPOSOBY
OCENY ZAGROŻEŃ OSUWISKOWYCH
W KOPALNIACH ODKRYWKOWYCH
NA PRZYKŁADZIE
KWB TURÓW I KWB BEŁCHATÓW**

Kilkudziesięcioletnie doświadczenia w eksploatacji węgla brunatnego, zwłaszcza w odkrywkowych kopalniach Turów i Bełchatów, dały podstawy do oceny warunków i przyczyn powstawania w nich osuwisk oraz wypracowania sposobów prognostycznej oceny zagrożeń osuwiskowych.

Projektowanie pochyłeń i wysokości poszczególnych skarp oraz całych zboczy (w górnictwie odkrywkowym pod pojęciem zbocze rozumie się zespół skarp) w wyrobisku i na zwałowisku, już w fazie sporządzania Projektu Zagospodarowania Złoża (PZZ) oraz późniejsza korekta geometrii zboczy uwzględniają, oprócz wymogów technologicznych (np. rodzaje koparek oraz zwałowarek nakładu), na ogół przeciętne (przeważające) warunki geologiczno-inżynierskie decydujące o stateczności skarp i zboczy. W miejscach jednak o gorszych warunkach, głównie

na skarpach wyrobiska (strefy zawodnienia, zaburzenia w zaleganiu warstw, zwiększone pochylenia warstw oraz ich kontaktów w stronę wyrobiska, występowanie słabszych przewarstwień gruntu, uskoki itp.) nie wyklucza się całkowicie możliwości powstania lokalnych osuwisk. Role czynników geologiczno-strukturalnych ujawniły analizy powstających dotychczas osuwisk, gdzie stwierdzono, że około 85–90 % z nich miało charakter osuwisk strukturalnych, a tylko około 10–15 % było z przyczyn zawodnienia lub innych (Patrzyk, 1996; Rybicki, 1996; Tylikowski i in., 2000; Jończyk i in., 2013). Ilustruje to przykład zaburzeń strukturalnych w strefach zagrożeń osuwiskowych kopalni Bełchatów (ryc. 1). Analizując więc rozpoznawaną budowę geologiczno-strukturalną, warunki hydrogeologiczne oraz wyniki badań cech geotechnicznych warstw gruntowych i stref kontaktów tych warstw, wyznaczano dotychczas granice obszarów potencjalnie zagrożonych. Obejmują one zarówno pojedyncze poziomy eksploatacyjne, a także zespoły kilku poziomów (skarp). Granice te, w miarę postępu w rozpoznaniu geologiczno-inżynierskim (nowe otwory wiertnicze, kartowanie skarp i poziomów eksploatacyjnych), są korygowane w kolejnych dokumentacjach geologiczno-inżynierskich, projektach robót górniczych oraz innych opracowaniach. Wsparciem dla prognoz w wyznaczaniu stref zagrożeń osuwiskowych są też numeryczne analizy stateczności w przekrojach przez obszary zagrożeń. W praktyce uznawano, że jeśli obliczony wskaźnik stateczności $FS \leq 1,2$ dla zboczy stałych (przejściowo stałych) oraz $FS \leq 1,1$ dla zboczy roboczych (krótkotrwałych), to występuje już duże prawdopodobieństwo wystąpienia osuwiska i obszar należy uznać za zagrożony. Przykładowe rozmieszczenie prognozowanych rejonów zagrożeń osuwiskowych w odkrywce węgla brunatnego Bełchatów ilustruje rycina 2.

W numerycznych analizach stateczności dla rejonów zagrożonych podstawową sprawą był i jest właściwy dobór do obliczeń parametrów geotechnicznych warstw gruntowych, a zwłaszcza parametrów osłabionych stref strukturalnych wykorzystywanych jako powierzchnie poślizgu osuwiskowego. W odkrywkach węgla brunatnego są to głównie strefy kontaktu pokładów węgla z przedzielającymi je warstwami ilów, powierzchnie paleosuwiskowe, kontakty zawodnionych utworów czwartorzędu z ilami paleogeńsko-neogeńskimi oraz utworów paleogeńsko-neogeńskich ze zwietrzelinami starszego podłoża. Dotychczasowe badania laboratoryjne prób z tych stref kontaktowych (Kaczmarczyk, 2003) wykazują, że np. kąt tarcia wewnętrznego na kontakcie il-węgiel wynosi od 3° do 10° w zależności od stopnia jego zawodnienia i naruszenia, a spójność od 10 do 30 kPa, podczas gdy w obrębie samych kontaktujących się warstw kąt tarcia wewnętrznego i spójność są wyraźnie większe. Wyniki laboratoryjnych badań cech wytrzymałościowych powierzchni strukturalnych w nadkładzie złóż węgla brunatnego były wielokrotnie potwierdzane przez tzw. odwrotne analizy stateczności zaistniałych osuwisk, dla których zidentyfikowano przebieg powierzchni poślizgu osuwiskowego (Mazurek, 1986; Tylikowski i in., 2000). Tak więc nawet niewielkie kilkustopniowe pochylenia powierzchni strukturalnych w stronę wyrobiska, przy małych wartościach parametrów wytrzymałości na ścinanie, stwarzają zagrożenie powstania osuwisk.



Ryc. 1. Przekrój geologiczny 63 SN (N) przez rejon zagrożeń osuwiskowych XIII/N w odkrywcze Bełchatów (Jończyk i in., 2013)
Fig. 1. Geological cross-section 63 SN (N) through the instability hazard region XIII/N in the open pit Belchatów (Jończyk et al., 2013)

W dotychczasowej praktyce w kopalni Bełchatów i częściowo kopalni Turów wykonywano dwa rodzaje prognoz zagrożeń osuwiskowych: 1) prognozy długoterminowe służące do projektowania geometrii zboczy wyrobiska z wyprzedzeniem wieloletnim oraz 2) prognozy krótkoterminowe. Te pierwsze wykonują na ogół wyspecjalizowane biura projektowe lub placówki naukowe dla potrzeb kopalni w oparciu o rozpoznanie czynników geologiczno-strukturalnych, a te drugie głównie służby geologiczne i technologiczne kopalni dla potrzeb bezpieczeństwa bieżącej pracy koparek lub zwałowarek we fragmentach frontów eksploatacji i zwałowania. Opracowuje się je w oparciu o wiertnicze rozpoznanie czynników geologicznych, bieżące obserwacje i kartowanie skarp i poziomów wyrobiska lub zwałowiska, badania cech geotechnicznych prób gruntów, analizy stateczności, obserwacje zjawisk wodnych itp. Ogólnie biorąc w wyznaczaniu stref zagrożeń osuwiskowych uwzględniano dotychczas kryteria jakościowe oraz ilościowe. W tych pierwszych można wyróżnić kryteria:

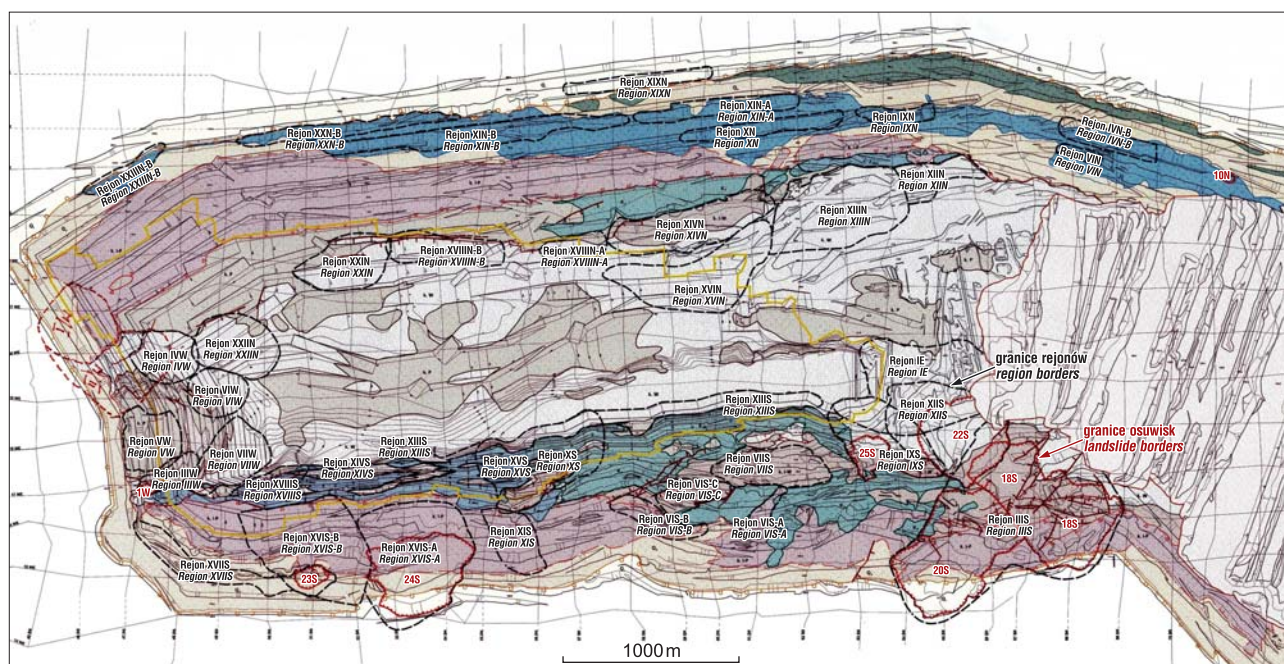
- strukturalne,
- litologiczne,
- hydrogeologiczne,
- geotechniczne.

Do kryteriów ilościowych zalicza się:

- wartości liczbowe wskaźników stateczności;
- wartości bezpiecznych, ostrzegawczych i krytycznych prędkości poziomych przemieszczeń gruntów;
- wartości ciśnień porowych wody w gruntach zwałowiska.

Ocena zagrożenia osuwiskowego I stopnia, o której mowa w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 19

lutego 2013 r., odpowiadałaby tu głównie dotychczasowym ocenom długoterminowym wykonywanym dla kopalni, podczas gdy oceny krótkoterminowe miałyby raczej charakter weryfikujący i udokładniający te pierwsze oceny. Trafność dotychczasowych prognoz zagrożeń osuwiskowych w kopalniach Turów i Bełchatów jest stosunkowo duża. W większości przypadków w rejonach wskazanych jako zagrożone powstały mniejsze lub większe w pełni rozwinięte osuwiska albo wystąpiły pierwsze ich przejawy w postaci deformacji nieciągłych (szczelin) lub wystąpiły ostrzegawcze wartości przemieszczeń gruntów rejestrowane na reperach powierzchniowych oraz wgłębnym inklinometrach. W wielu wypadkach po wystąpieniu tych pierwszych przejawów ruchu osuwiskowego podejmowano przeciwdziałania w postaci lokalnych zmian profilu zbocza w zagrożonym rejonie, poszerzenia półek między skarpami, podparcia zbocza zwałowiskiem itp., nie dopuszczając do pełnego rozwinięcia się osuwiska. Biorąc pod uwagę powstałe osuwiska oraz wystąpienia ich pierwszych przejawów można stwierdzić, że trafność dotychczasowych prognoz ruchów osuwiskowych w rejonach wskazanych jako zagrożone w kopalniach Turów i Bełchatów można ocenić na około 70%. Osuwiska lub ich pierwsze przejawy na ogół nie obejmują całego wydzielonego rejonu zagrożenia, lecz jego najsłabsze miejsca, a ich dalszy ewentualny rozwój w rejonie był z reguły ograniczany górnictwymi i geotechnicznymi pracami interwencyjnymi. W nielicznych tylko przypadkach osuwiska, na ogół małe, powstały poza wydzielonymi rejonami zagrożenia. Z reguły obejmowały one pojedyncze skarpy w miejscach niedostatecznie rozpoznanych mniejszych zaburzeń strukturalnych w zaleganiu warstw gruntów, zwykle w postaci tektonicz-



Ryc. 2. Kontury zboczy odkrywki Bełchatów oraz numery i granice zasięgu wydzielonych rejonów zagrożeń osuwiskowych i powstałych osuwisk. Kolorami zaznaczono wychodnie różnych warstw gruntowych kompleksu czwartorzędowego, neogenu oraz jury i kredy

Fig. 2. Outlines of Bełchatów open-pit slopes together with numbers and range of landslides and regions of instability hazard. Colours indicate outcrops of different soil layers (quaternary, neogen, jurassic and cretaceous formations)

nych lub glaciektonicznych zafałdowań i mniejszych uskokuń oraz powierzchni paleosuwiskowych.

AKTUALNE SPOSOBY OKREŚLANIA REJONÓW ZAGROŻENIA OSUWISKOWEGO I ORAZ II STOPNIA W KOPALNIACH TURÓW I BEŁCHATÓW

Spełniając wymogi Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 19 lutego 2013 r., dla kopalń Turów i Bełchatów zostały opracowane odpowiednie dokumentacje, w których przedstawiono sposoby określania i lokalizację rejonów I i II stopnia zagrożenia osuwiskowego skarp i zboczy wyrobisk oraz zwałowisk (Czarnecki i in., 2013; Rybicki i in., 2013). W dokumentacjach tych przyjęto częściowo różniące się sposoby określania rejonów zagrożeń, uznając jednak czynniki geologiczno-strukturalne za zasadnicze kryterium wydzielenia rejonów I stopnia zagrożenia osuwiskowego. W dokumentacji dla Kopalni Bełchatów wyeksponowano też rolę szkodliwości (konsekwencji) osuwisk w stosunku do infrastruktury kopalni, jako element oceny zagrożenia.

W dokumentacji dla kopalni Bełchatów wydzielono 26 rejonów zagrożeń zboczy stałych Pola Bełchatów (ryc. 2) i 34 rejonów zagrożenia Pola Szczerców. Za podstawę wydzielenia tych rejonów przyjęto:

a) różny stopień zagrożenia ze względu na lokalizację rejonu w stosunku do obiektów i urzędzeń kopalni oraz zagrożeń dla pracowników kopalni (skutki zagrożenia),

b) różny stopień rozpoznania budowy geologiczno-strukturalnej w prognozowanych rejonach zagrożeń.

Wydzielono pięć kategorii stopnia zagrożenia (I–V) oraz cztery kategorie stopnia rozpoznania budowy geologiczno-strukturalnej (A–D). Kategoria I obejmuje rejon

największej skali (skutkach) zagrożenia, w których prognozuje się rozwój osuwisk (np. zagrożenia zboczy transportowych). Kategorie II i III obejmują rejon

o średniej i małej skali zagrożenia, gdzie skutki ewentualnych osuwisk mogą być mniejsze (np. zagrożenia taśmociągów, systemu odwodnienia, ciągów komunikacyjnych itp.). Dalsze kategorie stopnia zagrożenia obejmują rejon

wydzielone początkowo w kategorii I–III, jeśli przeprowadzono w nich mniej lub bardziej skuteczne prace zabezpieczające, poprawiające warunki stateczności (Kurpiewska i in., 2013).

Kategoria rozpoznania warunków geologiczno-strukturalnych A oznacza słabe rozpoznanie górotworu nadkładu niewielką ilością otworów wiertniczych, a kategoria D najlepsze rozpoznanie tych warunków otworami wiertniczymi, kartowaniem powierzchniowym skarp i poziomów zboczy oraz monitoringiem powierzchniowym reperów i wgłębny pomiarami inklinometrycznymi, wskazującymi na przekroczenie kryteriów stanu ostrzegawczego deformacji gruntów. W trakcie prowadzenia prac górniczych i dalszego rozpoznawania budowy geologiczno-strukturalnej gruntów nadkładu rejon

zagrożeń mogą być przekwalifikowane z jednej kategorii do drugiej.

Dla zwałowiska wewnętrznego w odkrywce Bełchatów i zewnętrznego w odkrywce Szczerców uznano w dokumentacji, iż zaliczają się one w całości do I stopnia zagrożenia osuwiskowego, zgodnie z kryteriami podanymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 19 lutego 2013 r., z uwagi na losową zmienność rodzajów zwałowanych gruntów oraz niskie wartości parametrów geotechnicznych.

W dokumentacji dla kopalni Turów wydzielono w wyrobisku jeden duży rejon I stopnia zagrożenia osuwiskowego, obejmujący aktualnie urabianą górną bryłę góro-

tworu wraz z tą jej częścią, która stanowić będzie końcowe zboczne stałe wyrobiska. Jako podstawowe kryterium wydzielenia tego rejonu przyjęto konsekwentnie do wyrobiska pochylenia warstw gruntów nadkładu, a w szczególności pochylenia powierzchni strukturalnych (kontaktów warstw), które są wykorzystywane jako powierzchnie poślizgu osuwiskowego (np. kontakty ilów i węgla brunatnego). Uznano jednak, że zagrożenie stwarzają pochylenia powierzchni strukturalnych (α_{str}) większe od połowy wyprowadzonej trwałej wartości kąta tarcia wewnętrznego (ϕ_i) na danej powierzchni w warunkach górotworu odwodnionego ($\alpha_{str} \geq 0,5\phi_i$). Dotychczasowe badania terenowe i laboratoryjne wykazują, że wyprowadzona trwała wartość kąta tarcia wewnętrznego powierzchni strukturalnych o charakterze ilastym w górotworze odwodnionym w kopalni Turów waha się w zakresie $\phi_i = 7^\circ-12^\circ$. Przyjmując połowę mniejszej wartości kąta tarcia wewnętrznego z tego przedziału otrzymuje się $0,5\phi_i = 3,5^\circ$. Stwierdza się też, na podstawie badań laboratoryjnych oraz odwrotnych analiz stateczności dla osuwisk zaistniałych w kopalni Turów, że trwały kąt tarcia wewnętrznego na powierzchniach strukturalnych w warunkach zawodnienia górotworu wynosi najczęściej około $3,5^\circ-4,5^\circ$ i w takich właśnie warunkach zachodzą zazwyczaj procesy osuwiskowe na zboczach wyrobiska. Stąd też wartość kąta $\alpha_{str} \geq 3,5^\circ$ przyjęto jako podstawowe kryterium strukturalne wydzielenia I stopnia zagrożenia osuwiskowego.

W dokumentacji wykonanej dla kopalni Turów (Rybicki i in., 2013) zaproponowano, aby oprócz kryteriów jakościowych dodatkowym kryterium wydzielenia I stopnia zagrożenia osuwiskowego była wartość wskaźnika stateczności zaprojektowanego profilu zbocza (FS) w granicach FS = 1,1–1,5. Przy wartości tego wskaźnika mniejszej od 1,1 występuje już II stopień zagrożenia osuwiskowego, a przy wartości większej od 1,5 zbocze nie jest zagrożone.

Każde osuwisko jest procesem przebiegającym w dłuższym lub krótszym czasie i jako dalsze dodatkowe kryterium I lub II stopnia zagrożenia osuwiskowego zaproponowano we wspomnianej wyżej dokumentacji przyjmowanie wartości prędkości poziomych deformacji gruntów na zboczach wyrobiska. Deformacje te są dotychczas powszechnie kontrolowane, zarówno w kopalni Turów, jak i Bełchatów, a także i w innych odkrywkach. W oparciu o dotychczasowe pomiary deformacji, a także dane literaturowe (Vaunat i in., 1994; Rybicki i in., 2000; Zavis & Zavodni, 2000) uznano, że prędkości przemieszczeń poziomych w granicach 5–10 mm/d są już ostrzegawcze i oznaczają I stopień zagrożenia osuwiskowego, a większe od 10 mm/d mają już charakter inicjalny procesu osuwiskowego i winny oznaczać II stopień zagrożenia osuwiskowego.

W przypadku skarp i zboczy zwałowiska wewnętrznego w kopalni Turów do I stopnia zagrożenia osuwiskowego zaliczono te rejon, gdzie podłoże zwałowiska (dno odkrywki) nachylone jest konsekwentnie do kierunku zboczy zwału pod kątem $\alpha_{str} \geq 3,5^\circ$. Jako kryterium dodatkowe (ilościowe) przyjęto wartość ciśnienia porowego wody w gruncie zwałowym w granicach 0,5–0,9 wartości ciśnienia hydrostatycznego na danej głębokości pomiaru. Ciśnienie porowe w granicach 0,9–1,25 wartości ciśnienia hydrostatycznego kwalifikuje dany rejon zwału do II stopnia zagrożenia osuwiskowego. Dotychczasowe wyniki badań

wskazują bowiem, że ciśnienia porowe w gruntach zwałowych większe od 1,25 ciśnienia hydrostatycznego na danej głębokości pomiaru powodowały już powstawanie osuwisk.

PROPOZYCJA UJEDNOLICENIA OCEN ZAGROŻENIA OSUWISKOWEGO W KOPALNIACH ODKRYWKOWYCH

Pojęcie zagrożenia osuwiskowego, sposoby jego określenia oraz rola czynników, które o nim decydują, są przedmiotem wielu publikacji naukowych (Edil & Shultz, 1983; Berggren i in., 1991; Christian i in., 1994; Chowdhury, 1994). Powszechnie uważa się, że zagrożenie osuwiskowe danego zbocza, czyli możliwość (prawdopodobieństwo) powstania osuwiska, zależy od wielu czynników. Niektóre z nich można wyrażać parametrycznie (np. cechy geotechniczne gruntów), inne mają charakter nieparametryczny (np. model budowy geologicznej zbocza). Parametry geotechniczne gruntów decydujące o stateczności zbocza najczęściej traktuje się jako zmienne losowe. W praktyce geologii inżynierskiej i w geotechnice powszechnie stosowanym wskaźnikiem określającym stateczność zbocza jest wskaźnik stateczności (bezpieczeństwa) określony stosunkiem sił lub ich momentów utrzymujących zbocze w równowadze do sił lub ich momentów, dążących do zachwiania stateczności. Wartość liczbowa tego wskaźnika (FS), określana w sposób deterministyczny lub probabilistyczny, jest przyjmowana za miarę zagrożenia osuwiskowego. Im mniejsza wartość tego wskaźnika, tym większe jest prawdopodobieństwo wystąpienia osuwiska. Należy jednak pamiętać, że wskaźnik stateczności sam jest zmienną losową i nie określa dokładnie warunków stateczności.

Różni autorzy na podstawie doświadczeń praktycznych, podają nieco różniące się przedziały wartości wskaźnika stateczności, określające większy lub mniejszy stopień (prawdopodobieństwo) zaistnienia osuwiska. Według Edila i Shultza (1982) zagrożenie osuwiskowe jest duże, jeśli wskaźnik stateczności FS < 1,2; średnie, jeśli FS = 1,2–1,7; małe, jeśli FS > 1,7. Chowdhury (1994) przyjmuje z kolei, że wartość wskaźnika stateczności FS > 1,5 oznacza małe zagrożenie.

W literaturze naukowej oprócz pojęcia zagrożenie osuwiskowe (*landslide hazard*) używane jest też pojęcie ryzyka osuwiskowe (*landslide risk*). Berggren i in. (1991) definiują je jako kombinację prawdopodobieństwa powstania osuwiska i konsekwencji (skutków), jakie ono może wywołać (utrata życia ludzkiego, zniszczenia budowli itp.):

$$\text{ryzyko} = \text{prawdopodobieństwo} \times \text{konsekwencje}$$

Te konsekwencje wyraża się najczęściej w sposób finansowy, np. jako koszt naprawy zniszczonej przez osuwisko budowli. Prawdopodobieństwo powstania osuwiska można tu w przybliżeniu wyrazić wartością liczbową wskaźnika stateczności (FS) lub ogólnie, przedziałem jego wartości i przypisanym mu opisowym terminem stopnia zagrożenia.

Celem pewnego ujednoczenia ocen zagrożenia osuwiskowego przedstawionych w dokumentacjach dla kopalni Turów i Bełchatów oraz spełnienia wytycznych Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 19 lutego 2013 r.,

jak i uwzględnienia praktycznych potrzeb kopalń, proponuje się wydzielać w odkrywkowych zakładach górniczych pięć stopni zagrożenia osuwiskowego. Jest ono rozumiane jako prawdopodobieństwo zaistnienia potencjalnego osuwiska i wyrażone głównie liczbowymi wartościami wskaźnika stateczności (FS), w przekrojach obliczeniowych przez rejon zagrożenia, wydzielone wstępnie w oparciu o przesłanki geologiczno-strukturalne:

1° – zagrożenie bardzo duże (wskaźnik stateczności w zakresie $1,0 \leq FS < 1,1$ lub/i gdy prędkości poziomych przemieszczeń gruntów na zboczu wyrobiska przekraczają 10 mm/d, a na zboczach zwałowiska ciśnienia porowe wody w gruncie zwałowym wynoszą 0,9÷1,25 wartości ciśnienia hydrostatycznego na głębokości pomiaru. Uznaje się to jednocześnie za wystąpienie II stopnia zagrożenia osuwiskowego, o którym mowa w wymienionym wyżej rozporządzeniu. Rejonami II stopnia zagrożenia osuwiskowego według wymogów tego rozporządzenia są też tutaj przestrzenie wyrobiska i zwałowiska, gdzie już powstało osuwisko wraz z postulowanym przez autorów niniejszej pracy obligatoryjnym 25-metrowej szerokości pasem zagrożenia wokół makroskopowo widocznych granic osuwiska.

2° – zagrożenie duże (wskaźnik stateczności w zakresie $1,1 \leq FS < 1,3$ lub/i gdy prędkości poziomych przemieszczeń gruntów na zboczach wyrobiska zawarte są w granicach 2÷10 mm/d, a ciśnienia porowe w gruntach zwałowiska wynoszą 0,5÷0,9 wartości ciśnienia hydrostatycznego na głębokości pomiaru. Uznaje się to za wystąpienie I stopnia zagrożenia osuwiskowego, o którym mowa w cytowanym rozporządzeniu.

3° – zagrożenie średnie (wskaźnik stateczności w zakresie $1,3 \leq FS < 1,5$). Uznaje się to za wystąpienie I stopnia zagrożenia osuwiskowego według ww. rozporządzenia.

4° – zagrożenie małe (wskaźnik stateczności w zakresie $1,5 \leq FS < 1,7$). Uznaje się to za wystąpienie I stopnia zagrożenia osuwiskowego według ww. rozporządzenia.

5° – zagrożenie bardzo małe (wskaźnik stateczności jest $FS \geq 1,7$). Uznaje się to za wystąpienie I stopnia zagrożenia osuwiskowego według ww. rozporządzenia.

Do analiz stateczności zboczy stałych kopalń odkrywkowych powinno się stosować parametry wyprowadzone trwałego oporu ścinania danych warstw gruntowych i stref kontaktów warstw w profilu zbocza.

Dla kopalni odkrywkowych bardzo ważne są też konsekwencje (szkodliwość) potencjalnych osuwisk. Winny być one także uwzględniane w ogólnej ocenie zagrożeń osuwiskowych. Proponuje się wydzielenie trzech poziomów tej szkodliwości:

- A – duża szkodliwość,
- B – średnia szkodliwość,
- C – mała szkodliwość.

Ocena szkodliwości potencjalnego osuwiska w wydzielonym rejonie zagrożenia musi tu być subiektywnie określana w każdej kopalni, z uwagi na położenie danego rejonu w stosunku do jej obiektów, rodzajów obiektów, rodzajów maszyn, technologii eksploatacji itp. Na przykład osuwisko na zboczu transportowym kopalni ma dużą szkodliwość, a na zboczu bez istotnych obiektów – małą.

Kompilując liczbowe wartości wskaźnika stateczności i liczbowe wartości wag, przypisanych trzem poziomom

szkodliwości osuwiska ($A = 1, B = 2, C = 3$) proponuje się, zgodnie z sugestią Berggrena i in. (1992), określać i wydzielać na mapach rejonu ryzyka osuwiskowego (R) jako iloczyn tych dwóch rodzajów wartości, wydzielać pięć stopni tego ryzyka według następujących wartości:

- I_R – ryzyko osuwiskowe bardzo małe: $R > 4,8$;
- II_R – ryzyko osuwiskowe małe: $3,2 < R \leq 4,8$;
- III_R – ryzyko osuwiskowe średnie: $1,6 < R \leq 3,2$;
- IV_R – ryzyko osuwiskowe duże: $1,1 < R \leq 1,6$;
- V_R – ryzyko osuwiskowe bardzo duże: $1 < R \leq 1,1$.

Przykładowo, przy wartości wskaźnika stateczności $FS = 1,8$ i przy małej szkodliwości osuwiska $C = 3$, wartość $R = 5,4$ (ryzyko bardzo małe I_R stopnia), a np. przy $FS = 1,5$ i dużej szkodliwości osuwiska $A = 1$, wartość $R = 1,5$ (ryzyko duże IV_R stopnia). Powyższa klasyfikacja może być stosowana przy wartościach wskaźnika stateczności większych od jedności ($FS > 1,0$).

Proponowana metoda wyznaczania rejonów ryzyka osuwiskowego powinna dotyczyć tylko skarp i zboczy stałych wyrobiska i zwałowiska. Aktualizacja map występowania rejonów ryzyka oraz stopnia jego kwalifikacji mogłaby być dokonywana przy każdej zmianie Planu Ruchu Zakładu Górniczego. Są to zazwyczaj okresy 2–3 letnie.

UWAGI KOŃCOWE

Dotychczasowe metody oceny zagrożeń osuwiskowych stosowane w odkrywkowych kopalniach węgla brunatnego, a zwłaszcza w kopalni Bełchatów i Turów, tylko częściowo wpisują się w wymagania stawiane w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 19 lutego 2013 r. W stosunku do tego dokumentu, który ma charakter ogólny, stosowane dotychczas metody są bardziej szczegółowe i wszechstronne, uwzględniające praktyczne potrzeby bezpieczeństwa w kopalniach. Wymagają one jednak pewnego sformalizowania i możliwie ujednoczenia dla wszystkich kopalń odkrywkowych, z zachowaniem oczywistej specyfiki wynikającej z różnic warunków geologiczno-strukturalnych, a częściowo technologicznych każdej kopalni odkrywkowej.

Wobec niejednoznaczności oceny zagrożenia osuwiskowego zawartej w ww. rozporządzeniu, jak również tylko częściowej jej zgodności ze stosowanymi w praktyce sposobami tej oceny, wynikającymi z potrzeb kopalń, autorzy niniejszej pracy sugerują ocenę tą oprócz na przedstawionej propozycji. W szczególności podstawową miarą zagrożenia osuwiskowego winien być, czego nie sugeruje cytowane rozporządzenie, numerycznie określany wskaźnik stateczności zbocza, który już od dawna jest uznanym i stosowanym w geologii inżynierskiej i geotechnice parametrem oceny prawdopodobieństwa wystąpienia osuwisk skarp i zboczy.

Autorzy niniejszej pracy proponują wydzielenie na mapach kopalnianych rejonów różnych stopni ryzyka osuwiskowego (pięciu zamiast dwóch jak w cytowanym rozporządzeniu), jako bardziej przydatnego dla kopalń sposobu oceny zagrożenia, w ramach którego mieszczą się podane w rozporządzeniu I i II stopień zagrożenia osuwiskowego. Intencją oceny tego zagrożenia jest zarówno prognozowanie możliwości powstania osuwiska (prawdopodobieństwo powstania), jak i stwarzanego przez nie nie-

bezpieczeństwa dla pracowników i ruchu zakładu górniczego.

Na tle przedstawionej propozycji sugeruje się nowelizację Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 19 lutego 2013 r. wraz z ogólnym zaleceniem zobowiązującym odkrywkowe zakłady górnicze do opracowania sposobów postępowania w wydzielonych rejonach ryzyka osuwiskowego, zapewniających bezpieczeństwo pracowników i ruchu zakładu górniczego. W przeciwnym wypadku wydzielanie rejonów zagrożenia nie ma wystarczającego uzasadnienia.

Autorzy dziękują kopalniom Turów i Bełchatów za udostępnienie dokumentacji zagrożeń osuwiskowych oraz innych materiałów i danych o osuwiskach. Dziękujemy także recenzentom niniejszej pracy za ich konstruktywne uwagi.

LITERATURA

- BERGGREN B., FALLSVIK J. & VIBERG L. 1992 – Mapping and evaluation of landslide risk in Sweden. In Proc. 6th Inter. Sym. on Landslides. D.H. Bell (editor). Christchurch, N.Z., 873–878.
- CHRISTIAN J.T., LADD C.C. & BAECHER G.B. 1994 – Reliability applied to slope stability analysis. *J Geotech Eng. Div. ASCE*: 180–207.
- CHOWDHURY R.N. & XU D.W. 1994 – Slope system reliability with general slip surfaces. *Soils Found*: 99–105.
- CZARNECKI L. & FRANKOWSKI R. 1996 – Złoże Bełchatów – 30 lat dokumentowania. *Górn. Odkrywk.*, 38 (3): 36–45.
- CZARNECKI L., ORGANIŚCIAK B. & SĘDOR A. 2013 – Dokumentacja dla zaliczenia do stopni zagrożeń osuwiskowych w Zakładzie Górniczym KWB Bełchatów (niepublikowane).
- EDIL T.B. & SHULTZ M.N. 1983 – Landslide hazard potential determination along a shoreline segment. *Eng. Geology*, 19, 159–177.
- JOŃCZYK W., ORGANIŚCIAK B. & SĘDOR A. 2013 – Ograniczanie zagrożeń osuwiskowych dla poprawy bezpieczeństwa robót górniczych na przykładzie Kopalni Bełchatów. *Mat. Konf. „Szkoła Górnictwa Odkrywkowego”*. AGH Kraków, 21–22 marca 2013 r.
- KACZMARCZYK R. 2003 – Geotechniczne właściwości stref kontaktów ilasto-węglowych w górotworze niektórych kopalni węgla brunatnego. *Pr. Nauk. Inst. Gór. Polit. Wroc.*, nr 103. Konferencje nr 36: 65–72.
- KURPIEWSKA J., WCISŁO A., CZARNECKI L. & JURCZUK M. 2013 – Kategoryzacja rejonów zagrożeń geologiczno-inżynierskich wydzielonych w kopalniach odkrywkowych jako narzędzie podnoszące bezpieczeństwo eksploatacji na przykładzie wyrobiska Szczerców. *Górn. Odkrywk.*, 54 (1): 5–12.
- MAZUREK J. 1986 – Wytrzymałość gruntów skarp osuwiskowych - obliczenia odwrotne. *Górnictwo*, 10 (1): 11–30.
- PATRZYK J. 1995 – Warunki geologiczno-górnictwa eksploatacji węgla brunatnego ze złoże Bełchatów w zakresie niektórych zagrożeń geotechnicznych. *Węgiel Brunatny*, 3(12): 19–23.
- PATRZYK J. 1996 – Zagrożenie osuwiskowe w KWB Bełchatów. *Miesięcznik WUG*, nr 2/96: 13–16.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 19 lutego 2013 r. w sprawie określania zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych (Dz.U. 2013, poz. 230).
- RYBICKI S. 1995 – Stan bezpieczeństwa geotechnicznego kopalni Turów. *Węgiel Brunatny*, 1'(10) 95: 21–23.
- RYBICKI S. 1996 – Zjawiska osuwiskowe w krajowych kopalniach węgla brunatnego, ich skala, charakter i uwarunkowania. *Mat. Konf. n.t.: „Problemy Geotechniczne w Praktyce Inżynierskiej”*. Kraków, luty 1996. Wyd. Polit. Krakowskiej: 157–164.
- RYBICKI S., CZARNECKI L. & ORGANIŚCIAK B. 2000 – Zagrożenia geotechniczne w KWB Bełchatów, ich uwarunkowania, możliwości prognozy oraz zapobiegania. *Mat. Symposium pt. „25 lat doświadczeń KWB Bełchatów”*. Bełchatów, 17–18 stycznia 2000 r.: 19–26.
- RYBICKI S., CAŁA M., FLISIAK J. & KOWALSKI M. 2013 – Dokumentacja określająca rejon I i II stopnia zagrożenia osuwiskowego w odkrywkowych zakładzie górniczym KWB Turów. Kraków, grudzień 2013 r. (niepublikowane).
- TYLIKOWSKI M., SOWIŃSKI L., WOJTURSKA M. & MAJEWSKA M. 2000 – Określenie rzeczywistych parametrów fizyko-mechanicznych gruntów na podstawie obliczeń odwrotnych w zaistniałych rejonach osuwiskowych pola Bełchatów. *Biuro Proj. Górn. i Geolog. PROGIG*. Wrocław (niepublikowane).
- VAUNAT J., LEROUEIL S. & FAURE R.M. 1994 – Slope movements: A geotechnical perspective. 7th Int. IAEG Congress. Balkema, Rotterdam: 1637–1646.
- ZAVIS M. & ZAVODNI S.M. 2000 – Time dependent movements of open-pit slopes. *Slope stability in Surface Mining*. Ed. by Hustrulid W. i in. Pub. by the Society for Mining, Metall. And Explor. Inc. Littleton Colorado: 81–87.