

Zagrożenie powierzchni terenu powstaniem liniowych nieciągłych deformacji w warunkach współczesnej eksploatacji górnictwa węgla kamiennego w Polsce

Risk of linear discontinuous deformation of ground surface in modern hard coal mining in Poland



*Dr hab. inż. Andrzej Kowalski
prof. GIG**



*Dr inż. Olga Kaszowska**



*Mgr inż. Piotr Polanin**

Treść: W artykule przedstawiono wyniki badań liniowych nieciągłych deformacji prowadzonych w Głównym Instytucie Górnictwa. Objęto nimi szczeliny i progi, które powstały na powierzchni terenu w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym i zostały zarejestrowane przez przedsiębiorców górniczych. Uzyskano dane charakteryzujące około 400 tego typu deformacji. Analiza zgromadzonych materiałów pozwoliła na wskazanie warunków sprzyjających powstaniu liniowych nieciągłych deformacji powierzchni (LNDP). Pod uwagę wzięto m.in.: położenie względem eksploatacji i uskoków tektonicznych, krotność eksploatacji, kształtowanie się odkształceń poziomych powierzchni oraz rodzaj gruntu. Stwierdzono, że można wyróżnić dwa zasadnicze powody wystąpienia deformacji liniowych: duże wartości sumarycznych odkształceń poziomych oraz występowanie uskoków tektonicznych w zasięgu oddziaływania eksploatacji górnictwa. Przy czym statystycznie znacznie częściej obserwuje się szczeliny i progi w strefach kumulacji odkształceń rozciągających. Wynikiem przeprowadzonych badań było opracowanie metod szacowania prawdopodobieństwa wystąpienia liniowych nieciągłych deformacji powierzchni. Umiejętność oceny zagrożenia terenu takimi skutkami prowadzenia eksploatacji górnictwa jest coraz bardziej przydatna, ponieważ od lat 90. ubiegłego stulecia obserwuje się ich nasilenie. Należy dodać, że w warunkach współczesnej eksploatacji górnictwa węgla kamiennego w Polsce liniowe nieciągłe deformacje powierzchni stanowią duży problem, gdyż nawet sporadyczne przypadki ich wystąpienia w rejonach szczególnych obiektów, mogą skutkować zagrożeniem bezpieczeństwa ich użytkowania oraz bardzo dużymi kosztami naprawy szkody. Przykładem mogą być uszkodzenia nawierzchni autostrady.

Abstract: This paper presents the study results for linear discontinuous deformation carried out in the Central Mining Institute. The study includes crevices and steps which were identified by mining entrepreneurs in the Upper Silesian Coal Basin. The received data describes 400 types of deformation. The analysis enabled to indicate favorable conditions for occurrence of linear discontinuous ground deformation (polish acronym LNDP). The following factors were taken under consideration: localization from exploitation and tectonic faults, multiplicity of seams extraction, distribution of horizontal strains and type of the ground. Two main factors cause the occurrence of linear deformation: high values of total horizontal strains and tectonic faults nearby the range of mining influences. Statistically more crevices and steps are observed in accumulation zones of tensile strains. The study result was the elaboration of a probability method for occurrence of linear discontinuous ground deformation. The ability of risk assessment for the mentioned results of mining activity is more useful because since the 90's of the last century this kind of phenomenon is more common. In addition, linear discontinuous ground deformations are huge problem nowadays for hard coal mining in Poland. Even few cases of their occurrence nearby sensitive structures may reduce the safety of their use and generate high costs of covering damages. Damages of the highway surface can be the example.

Słowa kluczowe:

eksploatacja górnictwa, geomechanika, teren górnictwa, liniowe nieciągłe deformacje, ocena, metoda

Keywords:

mining exploitation, geomechanics, mining area, linear discontinuous deformations, assessment, method

*) Główny Instytut Górnictwa, Katowice

1. Wprowadzenie

Liniowe nieciągłe deformacje powierzchni (LNDP), to powstające na powierzchni szczeliny, stopnie, a także utworzone przez nie struktury w postaci schodów (kilka stopni), progów, rowów i fleksur. Kopalnie prowadzą ewidencję takich szkód, ale trafiają do niej tylko te, które są zauważalne „gołym okiem”. Tak się dzieje, gdy szczelina ma szerokość przynajmniej 0,01 m, a stopień ma wysokość nie mniejszą niż 0,05 m. LNDP są szczególnie łatwo zauważalne na drogach i w terenach zabudowanych. W ewidencji kopalń takich deformacji nieciągłych jest najwięcej. Rzadziej są rejestrowane na terenach rolnych i leśnych. Najmniej zgłoszeń dotyczy deformacji nieciągłych na nieużytkach. Nie oznacza to, że na takich terenach występują rzadko. Natomiast trudniej jest je zauważyć, a często nie ma też zainteresowanych ich zgłoszeniem. Są też rejonu nieuczęszczane lub mało uczęszczane, gdzie nie ma kto ich zobaczyć.

Liniowe deformacje nieciągłe powierzchni były obserwowane w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym od dawna. Jednak od początku lat dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia ich występowanie nasiliło się, co ma związek ze zwiększeniem koncentracji eksploatacji górniczej. Nie bez znaczenia dla ewidencjonowania deformacji nieciągłych jest rosnąca świadomość społeczeństwa. Brak akceptacji społecznej dla szkód górniczych spowodował, że deformacje nieciągłe stały się bardziej zauważalne i są zgłaszane częściej na kopalniach niż w latach wcześniejszych.

W związku z coraz większą wagą problemu w Głównym Instytucie Górnictwa (GIG) podjęto badania liniowych nieciągłych deformacji powierzchni. Analiza obejmowała materiały faktograficzne ze wszystkich kopalń węgla kamiennego czynnych w 2007 roku w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW). Odpowiedzi na pytania zawarte w ankiecie uzyskano z 31 kopalń. Dziewięć kopalń przesłało informację, że na ich obszarach górniczych nie zaobserwowano nieciągłości typu liniowego, mających związek z eksploatacją górniczą. Na pozostałych kopalniach zarejestrowano około 400 LNDP, które wystąpiły w latach 1968 - 2006. W późniejszych latach GIG już nie otrzymywał takich danych. Jednak analiza zdarzeń, o których wiedzę pozyskiwano w trakcie realizacji prac usługowo-badawczych, wskazuje na to, że proces kształtowania się LNDP nie uległ znaczącym zmianom.

Celem badań przeprowadzonych w GIG było wskazanie czynników, które mają wpływ na powstanie liniowych nieciągłych deformacji powierzchni oraz sformułowanie zależności pomiędzy tymi czynnikami a ich częstością powstawania. Pozwoliło to na opracowanie metody oceny zagrożenia terenu górniczego powstaniem liniowych nieciągłych deformacji powierzchni w GZW.

2. Wyniki badań liniowych nieciągłych deformacji powierzchni prowadzonych przed 2007 rokiem

Skutki oddziaływania podziemnej eksploatacji górniczej węgla kamiennego na powierzchnię terenu w GZW w formie szczelin i stopni jako pierwszy opisał T. Klenczar (1951). Zaobserwowane LNDP wystąpiły nad eksploatacją prowadzoną na głębokościach około 300 m.

W latach 1960 - 1980 w kopalniach Rybnickiego Okręgu Węglowego zinwentaryzowano 92 liniowe deformacje nieciągłe (Palki 1981). Analiza zgromadzonych danych wykazała, że szerokość szczelin wynosiła do 0,6 m, a wysokość stopni do 0,8 m, sporadycznie do 1,2 m. Przyczynami ich powstania były:

- eksploatacja pojedynczego pokładu – 26,1%,
- eksploatacja dwóch lub więcej pokładów – 60,8%,
- eksploatacja kilku pokładów w sąsiedztwie uskoków – 13,1%.

Na początku lat 80. ubiegłego wieku zostały podjęte próby opracowania metody prognozowania wysokości stopni i szerokości szczelin, powstających na powierzchni jako skutek prowadzenia eksploatacji górniczej w rejonie uskoku tektonicznego (Tyrąła 1980, Kowalczyk 1982).

W 2005 roku, Kowalski (2005) opracował dla pola Markłowice w ROW metodę oceny zagrożenia powierzchni nieciągłościami. Analiza 57 nieciągłości zaobserwowanych w tym rejonie pozwoliła sformułować zależność zagrożenia od prognozowanych ciągłych odkształceń poziomych powierzchni.

Liniowe nieciągłe deformacje powierzchni były jeszcze przedmiotem publikacji w 2006 roku (Strzałkowski i in. 2006, Kowalski i in. 2006).

Również w innych europejskich krajach zajmowano się liniowymi deformacjami nieciągłymi. Stopnie i szczeliny powierzchni obserwowano w rejonach stref występowania poziomych odkształceń w podziemnym górnictwie węgla kamiennego w Anglii (Subsidence ... 1975) i w Niemczech (Grün 1995, Knufinke 1996, 2001, 2002, Kratzsch, Soroka 2003).

Najszerze badania przeprowadził E. Grün. Na podstawie analizy statystycznej danych o 1138 LNDP utworzył on macierz prognostyczną (Grün 1995). Metoda umożliwia prognozowanie nieciągłości na podstawie danych geologicznych i górniczych. Stosowanie macierzy Gruna w górnictwie GZW jest niemożliwe ze względu na odmienność warunków geologiczno-górnicznych.

3. Baza danych o LNDP zbudowana w GIG w latach 2008 - 2010

3.1. Charakterystyka LNDP spowodowanych podziemną eksploatacją górniczą w GZW do 2007 roku

Badania przeprowadzone w GIG w latach 2008 - 2010 polegały na zgromadzeniu danych o wszystkich LNDP zarejestrowanych przez kopalnie węgla kamiennego GZW. Stworzona baza zawiera następujące informacje: rodzaj i dane geometryczne LNDP oraz warunki geologiczno-górniczne w jakich wystąpiły. 385 nieciągłości, które zostały zinwentaryzowane wystąpiły w latach 1968 - 2006.

LNDP najczęściej powstawały w rejonach występowania odkształceń poziomych rozciągających, w szczególności, gdy wielokrotna eksploatacja górnicza powodowała ich sumowanie się. Takie warunki z reguły są w sąsiedztwie granic pól eksploatacyjnych, filarów ochronnych dla wyrobisk górniczych oraz stref uskoku tektonicznych. LNDP zarejestrowano w rejonach eksploatacji pokładów węgla kamiennego prowadzonej nie tylko na małych głębokościach, ale również na średnich i dużych głębokościach.

Zdecydowana większość nieciągłości miała związek z koncentracją krawędzi eksploatacyjnych (93%), a tylko nieliczne dodatkowo z występowaniem dużych uskoku tektonicznych (7%). Najwięcej deformacji nieciągłych związanych z dużymi odkształceniami poziomymi powierzchni wystąpiło w zachodniej i południowo-zachodniej części GZW. Eksploatacja w rejonach dużych uskoku powodowała deformacje nieciągłe głównie w części środkowej GZW (kopalnie ówczesnego Katowickiego Holdingu Węglowego).

Biorąc pod uwagę chronologię powstawania LNDP, można stwierdzić, że do 1991 roku rocznie rejestrowano ich kilka, a po 1991 – od 7 do 29. W latach 2000 - 2005 liczba defor-

macji nieciągłych kształtowała się w przedziale 15 – 35, a w 2006 roku osiągnęła 60 (rys. 1). Nie można wykluczyć, że przyrost nieciągłości ma związek z dwu-, a nawet trzykrotnym wzrostem prędkości eksploatacji w tym okresie.

Nieciągłości zarejestrowanych w danym rejonie pierwszy raz, określanych jako pierwotne było 74%, natomiast kolejne LNDP w tym samym miejscu, tzw. wtórne to 26%.

Analiza zagospodarowania terenu, w którym zostały stwierdzone liniowe deformacje nieciągłe prowadzi do wniosku, że ponad połowa (53%) została zainventaryzowana na drogach, 25% na terenach rolnych, a 12% na terenach zabudowanych (rys. 2)

81% nieciągłości powstało na obszarach, gdzie przypowierzchniowa warstwa gruntu jest spoista. Pozostałe 19% - na gruntach niespoistych.

Większość zarejestrowanych LNDP to stopnie (79%). Znacznie mniej jest struktur złożonych, a najmniej – szczelin (rys. 3).

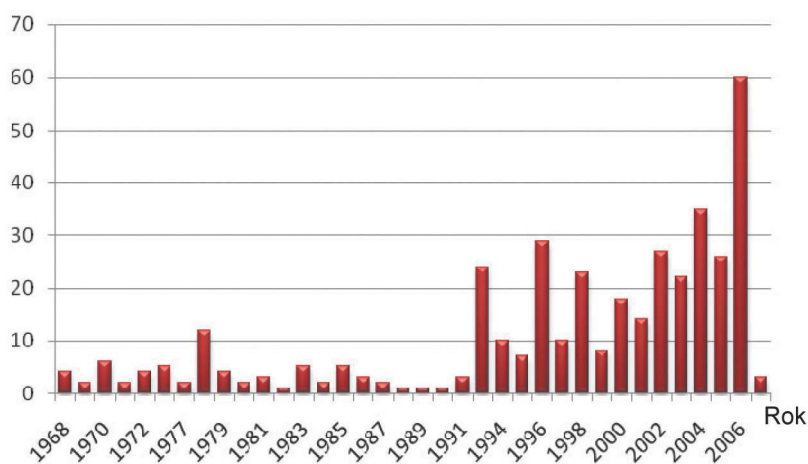
Z analizy danych geometrycznych LNDP wynika, że:

- ponad połowa stopni to struktury pojedyncze,
- 91% stopni ma wysokość do 30 cm,
- 70% stopni ma długość do 100 m, choć zarejestrowano 1 stopień o długości 800 m,
- 78% szczelin ma szerokość do 10 cm.

Nieciągłości w rejonie krawędzi eksploatacyjnych występują średnio w odległości kątowej od krawędzi eksploatacyjnej $11^{\circ} \pm 7^{\circ}$, a w rejonie naroży eksploatacyjnych – średnio $7^{\circ} \pm 8^{\circ}$.

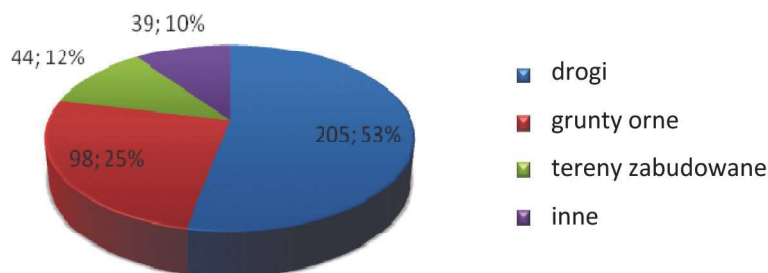
Najwięcej nieciągłości powstało równoległe do krawędzi eksploatacyjnych wzdłuż wybiegu ściany, w drugiej kolejności

Liczba LNDP



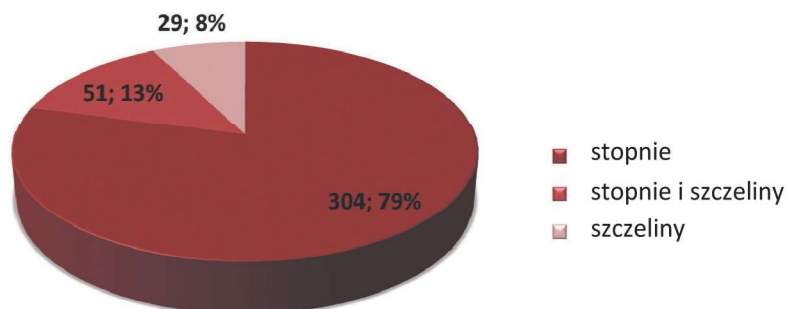
Rys. 1. Występowanie LNDP w ujęciu chronologicznym (Kowalski i in. 2004)

Fig. 1. Occurrence of linear discontinuous ground deformation in chronological order (Kowalski et al. 2004)



Rys. 2. Struktura LNDP w zależności od zagospodarowania terenu, w którym powstały (Kowalski 2015)

Fig. 2. Percentage distribution of linear discontinuous ground deformation in relation to their occurrence in land development (Kowalski 2015)



Rys. 3. Struktura LNDP w zależności od formy (Kowalski 2015)

Fig. 3. Percentage distribution of linear discontinuous ground deformation in relation to their type (Kowalski 2015)

w rejonie krawędzi startowej i między krawędziami dwóch lub więcej ścian.

4. Prawdopodobieństwo powstania LNDP o określonych cechach geometrycznych

Funkcje prawdopodobieństwa powstania LNDP o określonych cechach geometrycznych próbowano opisać różnymi rozkładami. Wstępne dopasowania wykazały, że najlepsze są rozkłady Poissona oraz rozkład wykładniczy i ucięty rozkład normalny (tylko w zakresie nieujemnych wartości zmiennej losowej).

Dokonano dopasowania parametrów tych rozkładów do praktycznych danych. Parametr rozkładu Poissona λ wyznaczono z bazy danych o liczbie stopni w każdej obserwacji. Dla wartości 0,4473 uzyskano najlepsze dopasowanie rozkładu do rzeczywistego. Wyniki obliczeń dla założonych rozkładów prawdopodobieństwa wystąpienia stopni terenowych

w zależności od liczby stopni oraz wysokości i długości stopnia przedstawiono na rysunkach od 4 do 6.

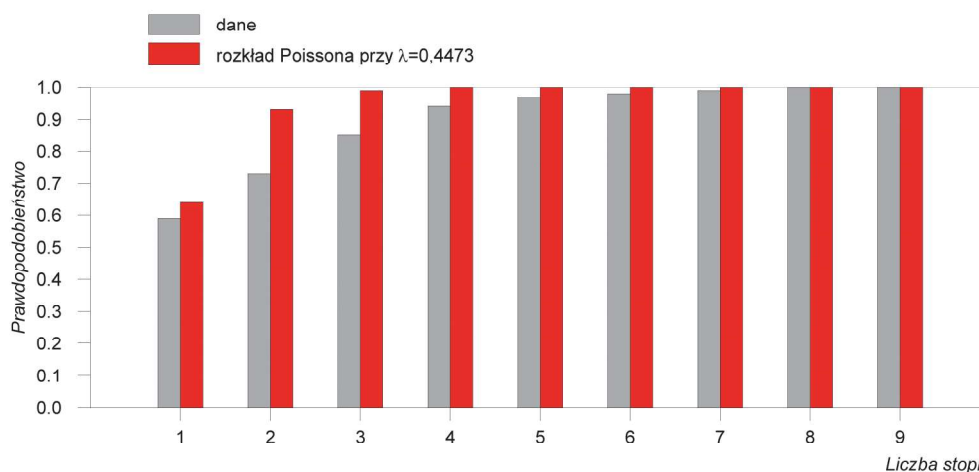
Wartości współczynników determinacji R^2 świadczą o dobrym dopasowaniu rozkładów teoretycznych do wyników obserwacji terenowych.

Próby dopasowania rozkładów teoretycznych do wyników obserwacji szczelin nie doprowadziły do uzyskania wystarczająco dużych wartości współczynników determinacji. Przypuszczalnie wynika to z małej liczebności próby.

5. Zagrożenie powierzchni terenu powstaniem nieciągłości liniowych

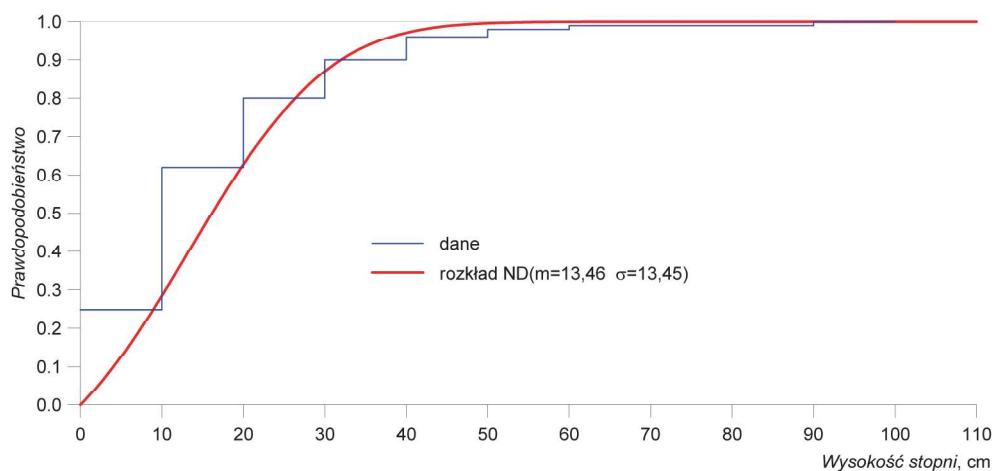
5.1. Warunki sprzyjające powstaniu LNDP w rejonach koncentracji krawędzi eksploatacyjnych

Na podstawie wstępnej analizy zgromadzonych danych wytypowano czynniki, które mogą być istotne z uwagi na zagrożenie powierzchni LNDP. Są to:



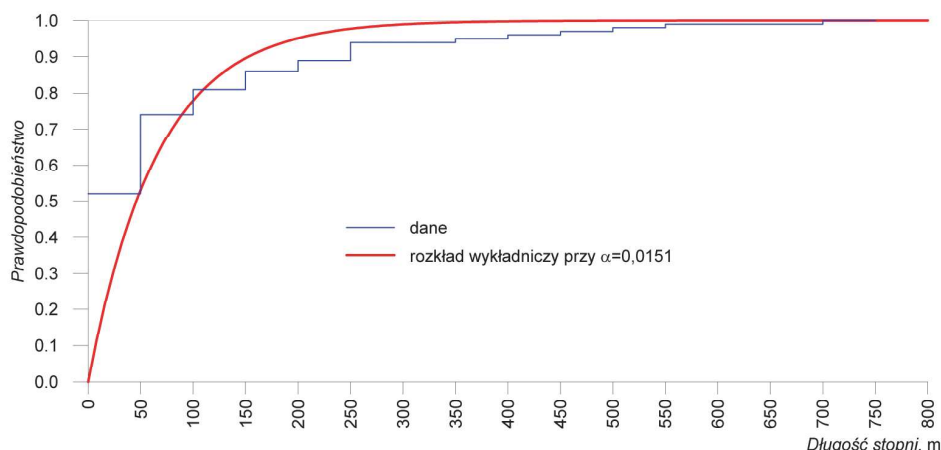
Rys. 4. Prawdopodobieństwo wystąpienia stopni w liczbie nie większej niż zadana ($R^2=0,8711$) (Kowalski i in. 2004)

Fig. 4. Probability of step occurrence in the number equal or less than the setpoint ($R^2 = 0.8711$) (Kowalski et al. 2004)



Rys. 5. Prawdopodobieństwo wystąpienia stopni o wysokości nie większej niż zadana ($R^2=0,9515$) (Kowalski i in. 2004)

Fig. 5. Probability of step occurrence with height equal or less than the setpoint ($R^2 = 0.9515$) (Kowalski et al. 2004)



Rys. 6. Prawdopodobieństwo wystąpienia stopni o długości nie większej niż zadana ($R^2=0,9800$) (Kowalski i in. 2004)

Fig. 6. Probability of step occurrence with length equal or less than the setpoint ($R^2 = 0.9800$) (Kowalski et al. 2004)

- grubość eksploatowanego pokładu,
- głębokość eksploatacji,
- grubość nadkładu warstw karbońskich,
- rodzaj przypowierzchniowej warstwy gruntu,
- występowanie uskoków tektonicznych,
- liczba eksploatowanych pokładów (tzw. krotność eksploatacji),
- czas pomiędzy eksploatacją kolejnych pokładów,
- maksymalne odkształcenia poziome (określone na podstawie obliczeń),
- położenie nieciągłości względem eksploatacji,
- kąt wystąpienia nieciągłości γ (kąt pomiędzy poziomem a linią poprowadzoną od krawędzi eksploatacyjnej do nieciągłości).

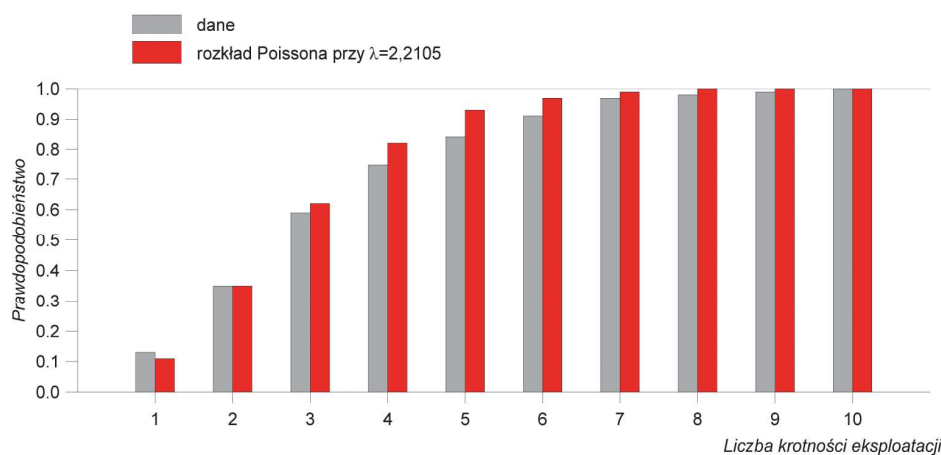
Maksymalne odkształcenia poziome w rejonie nieciągłości obliczono wykorzystując wzory teorii ruchów górotworu Budryka-Knohego.

Badania statystyczne powiązań przyczynowo-skutkowych pomiędzy wymienionymi czynnikami a powstaniem i parametrami LNDP polegały na przeprowadzeniu testów χ^2 dla nieparametrycznych hipotez statystycznych. Wykazano, że rodzaj nieciągłości, struktura, i położenie względem konturu pola eksploatacyjnego zależą przede wszystkim od:

- odkształceń poziomych ϵ_{sumy} (sumarycznych spowodowanych eksploatacją wszystkich ścian) lub ϵ_{in} (odkształceń od ostatniej ściany – inicjującej LNDP),
 - liczby eksploatowanych pokładów,
 - czasu pomiędzy eksploatacją kolejnych pokładów,
 - maksymalnych odkształceń poziomych ϵ_{max} .
- Czynnikami drugorzędowymi są:
- rodzaj gruntu,
 - krotność eksploatacji,
 - czas pomiędzy eksploatacją ścianami ostatnią i poprzednią Δt_{in} .
- Stwierdzono, że liczba nieciągłości elementarnych zależy jedynie od krotności eksploatacji.

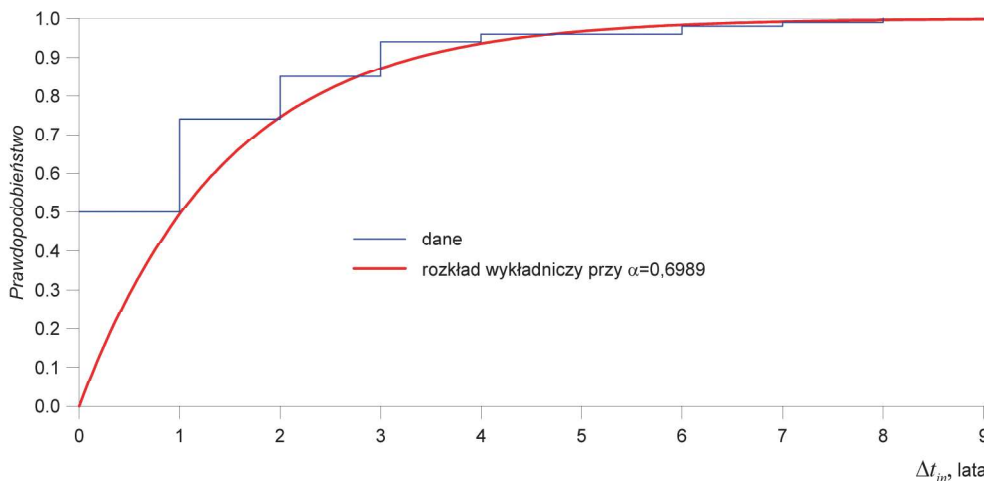
5.2. Prawdopodobieństwo powstania nieciągłości w rejonach koncentracji krawędzi eksploatacyjnych

Badania korelacji pomiędzy powstaniem LNDP w formie stopni a czynnikami górnictwami wykazały, że najlepsze dopasowanie otrzymano dla: krotności eksploatacji (rys. 7), czasu Δt_{in} (rys. 8) oraz poziomych odkształceń ϵ_{sumy} (rys. 9) i ϵ_{in} (rys. 10) w przypadku nieciągłości pierwotnych, a w przypadku nieciągłości wtórnych – dla poziomego odkształcenia ϵ_{in} (rys. 11).

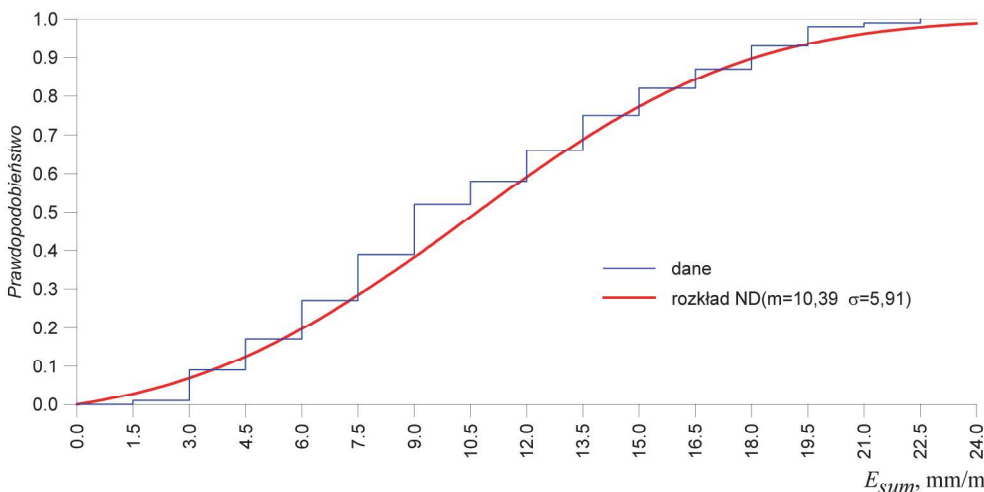


Rys. 7. Prawdopodobieństwo powstania nieciągłości w przypadku krotności eksploatacji nie większej niż zadana ($R^2=0,9171$) (Kowalski i in. 2004)

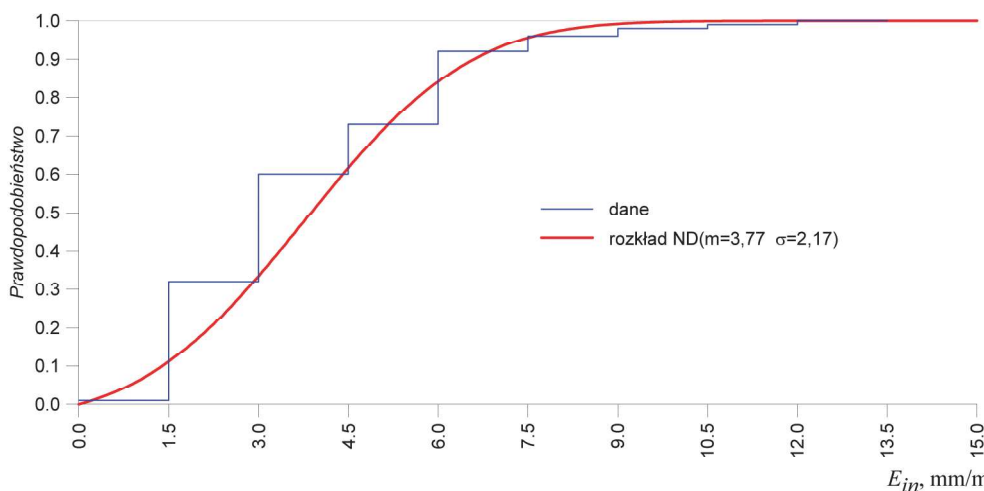
Fig. 7. Probability of discontinuity occurrence in relation to multiplicity of seam extraction equal or less than the setpoint ($R^2 = 0.9171$) (Kowalski et al. 2004)



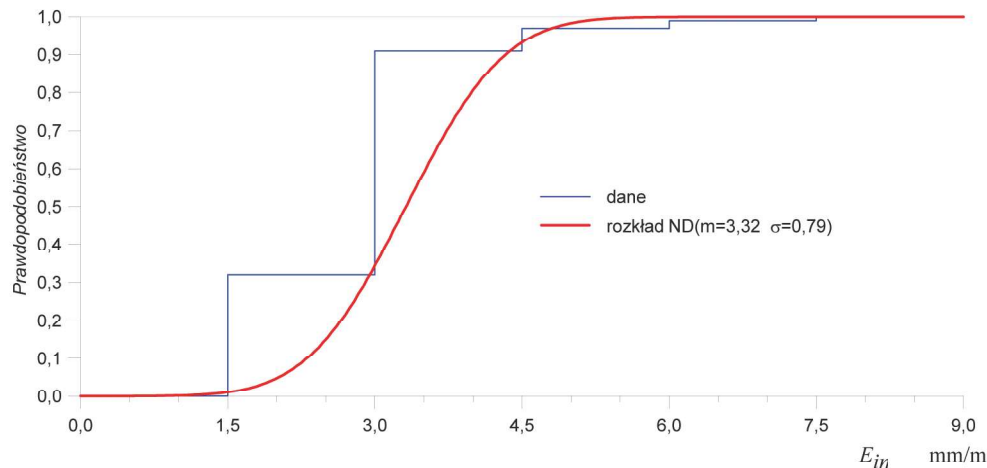
Rys. 8. Prawdopodobieństwo powstania nieciągłości w przypadku czasu pomiędzy eksploatacją ostatnią i poprzednią ścianą Δt_{in} nie dłuższego niż zadany ($R^2=0,9925$) (Kowalski i in. 2004)
Fig. 8. Probability of discontinuity occurrence in relation to time between last and previous long-wall extraction Δt_{in} no longer than setpoint ($R^2=0,9925$) (Kowalski i in. 2004)



Rys. 9. Prawdopodobieństwo powstania nieciągłości pierwotnej przy poziomym odkształceniu sumarycznym ϵ_{sum} nie większym niż zadane ($R^2=0,6984$) (Kowalski i in. 2004)
Fig. 9. Probability of primary discontinuity occurrence in relation to total horizontal strains ϵ_{sum} equal or less than setpoint ($R^2=0,6984$) (Kowalski i in. 2004)



Rys. 10. Prawdopodobieństwo powstania nieciągłości pierwotnej przy poziomym odkształceniu inicjującym ϵ_{in} nie większym niż zadane ($R^2=0,7297$) (Kowalski i in. 2004)
Fig. 10. Probability of primary discontinuity occurrence in relation to the horizontal strain ϵ_{in} equal or less than the setpoint ($R^2 = 0.7297$) (Kowalski et al. 2004)



Rys. 11. Prawdopodobieństwo powstania nieciągłości wtórnej przy poziomym odkształceniu inicjującym ϵ_{in} nie większym niż zadane ($R^2=0,9974$) (Kowalski i in. 2004)

Fig. 11. Probability of secondary discontinuity occurrence in relation to the horizontal strain ϵ_{in} equal or less than the setpoint ($R^2 = 0.9974$) (Kowalski et al. 2004)

Największe współczynniki determinacji R^2 otrzymano dla zależności powstawania nieciągłości od krotności eksploatacji, czyli liczby wcześniej wybranych pokładów (rys. 7), a także od długości czasu pomiędzy eksploatacją ostatniego pokładu, który inicjuje wystąpienie nieciągłości, a eksploatacją wcześniejszego pokładu (rys. 8). Na wystąpienie nieciągłości zasadniczy wpływ mają odkształcenia poziome, przy czym współczynniki determinacji dla nieciągłości pierwotnych są znacznie mniejsze niż dla nieciągłości wtórnych.

Badania statystyczne zależności LNDP w formie stopni od warunków górniczych wykazały, że:

- największy wzrost prawdopodobieństwa występuje ze wzrostem krotności eksploatacji do czwartego pokładu, mniejszy wzrost jest obserwowany do siódmego pokładu, dalszy wzrost jest znikomy,
- około 50% nieciągłości wystąpiło, kiedy pomiędzy eksploatacją ostatnią i poprzednią upłynął czas nie dłuższy niż 1 rok,
- prawdopodobieństwo powstania nieciągłości pierwotnej rośnie ze wzrostem poziomych odkształceń sumarycznych – gdy osiągają wartość około 10 mm/m, to jest równe 0,5,
- prawdopodobieństwo powstania nieciągłości pierwotnej rośnie ze wzrostem poziomych odkształceń inicjujących – w tym przypadku już przy wartości około 4 mm/m jest równe 0,5,
- prawdopodobieństwo powstania nieciągłości wtórnej rośnie ze wzrostem poziomych odkształceń inicjujących – gdy osiągają wartość około 3,5 mm/m, to jest równe 0,5.

Próby określenia zależności prawdopodobieństwa powstania szczelin od czynników górniczych nie dały zadowalających wyników. Uzyskano małe współczynniki determinacji, co może wynikać z małej liczby obserwacji.

6. Metody oceny zagrożenia wystąpieniem LNDP

Badania statystyczne pozwoliły na wskazanie czynników, które mają wpływ na zagrożenie powierzchni powstaniem deformacji nieciągłych w formie stopni. Są to: odkształcenia poziome, warunki geologiczne (spójność warstw przypowierzchniowych i występowanie uskoków) oraz warunki górnicze (krotność eksploatacji i długość czasu pomiędzy ostatnią i poprzednią eksploatacją). Te badania oraz wcześniejsze, w szczególności prowadzone w Niemczech

(Soroka, Hejmanowski 2005), wskazują na jeszcze jeden czynnik. Jest to prędkość eksploatacji i jej skokowe zmiany. Wzrost postępów ścian oraz zatrzymywanie eksploatacji w soboty i niedziele powodują zwiększenie częstości powstania LNDP.

Wyniki badań wykorzystano do opracowania metod prognozowania zagrożenia wystąpieniem LNDP. Zaproponowano dwie metody (Kowalski 2015):

- metodę odkształceń poziomych,
- metodę punktową.

W metodzie odkształceń poziomych należy obliczyć odkształcenia poziome rozciągające spowodowane dokonaną i projektowaną eksploatacją górniczą.

Prawdopodobieństwo wystąpienia LNDP pierwotnych określa się jako:

- małe, gdy odkształcenia sumaryczne są większe od +9 mm/m, a spowodowane eksploatacją projektowaną – większe od +3 mm/m,
 - średnie, gdy odkształcenia sumaryczne przekroczą +12 mm/m, a inicjujące +3 mm/m,
 - duże, gdy odkształcenia sumaryczne przekroczą +15 mm/m, a prognozowane są większe od +6 mm/m.
- Prawdopodobieństwo wystąpienia LNDP wtórnych ocenia się w zależności od wartości prognozowanych odkształceń poziomych rozciągających. Zagrożenie jest następujące:
- małe, gdy odkształcenia spowodowane eksploatacją projektowaną są większe od +1,5 mm/m,
 - średnie, gdy odkształcenia prognozowane przekroczą +3 mm/m,
 - duże, gdy odkształcenia prognozowane przekroczą +4,5 mm/m.

Zaleca się opracowywanie map izolinii odkształceń poziomych rozciągających sumarycznych i prognozowanych. Takie mapy mogą być podstawą do wykreślenia granic obszarów zagrożonych, z wyróżnieniem stopnia zagrożenia.

W przypadku LNDP wtórnych należy również wykreślić strefy, w których już występowały takie deformacje nieciągłe.

Metoda punktowa opracowana w GIG polega na przypisaniu wartości liczbowych najważniejszym czynnikom. Liczba punktów jest oceną wpływu każdego z nich na powstanie zagrożenia. W metodzie punktowej uwzględniono 4 czynniki: dokonaną eksploatacją górniczą, projektowaną eksploatacją górniczą, budowę geologiczną oraz prędkość postępu frontu eksploatacyjnego. Zasady są następujące:

- Dokonanej eksploatacji górniczej przypisuje się 1 punkt za każde 2 mm/m maksymalnych odkształceń rozciągających, maksymalnie do 8 punktów.
- Projektowanej eksploatacji przypisuje się 1 punkt za każdy 1 mm/m maksymalnych prognozowanych odkształceń rozciągających, maksymalnie do 6 punktów.
- Warunki geologiczne ocenia się w skali czteropunktowej. Gdy występuje nadkład i nie ma uskoków tektonicznych należy przypisać 0 punktów, w warunkach skrajnie odmiennych – 4 punkty. W warunkach pośrednich – 2 lub 3 punkty. Schemat do wyznaczania tej wartości zaproponował A. Kowalski (2015).
- Prędkości postępu można przypisać 0, 2 lub 4 punkty. Wartościami granicznymi są: 50 m/m-c i 2,5 m/dobę oraz 120 m/m-c i 6 m/dobę.
Stopień zagrożenia ocenia się, jako:
 - mały, gdy liczba punktów jest większa od 8 i nie większa niż 12,
 - średni, gdy liczba punktów przekracza 12 ale nie jest większa niż 16,
 - duży, gdy liczba punktów jest większa od 16.
 W przypadku, gdy punktów jest mniej niż 8 należy uznać, że zagrożenie nie występuje.

7. Podsumowanie

Badania przeprowadzone w Zakładzie Ochrony Powierzchni i Obiektów Budowlanych GIG w latach 2008 - 2010 zakończono sformułowaniem następujących wniosków:

1. Według stanu na koniec 2007 roku w rejestrach kopalń węgla kamiennego GZW znajdowało się około 400 liniowych nieciągłych deformacji powierzchni, które powstały w latach 1968 – 2007.
2. Liniowe nieciągłe deformacje powierzchni w GZW to w 80% pojedyncze stopnie terenowe o wysokości 0,1 ÷ 1,1 m. Większość stopni (około 63%) ma wysokość do 0,2 m. Szerokość szczelin i ich liczba są bardzo zróżnicowane. Z reguły mają szerokość do 0,1 m i długość do 100 m. Największa długość zarejestrowanych deformacji nieciągłych to 800 m. Nieciągłości w rejonie krawędzi eksploatacyjnych występują średnio w odległości katowej $11^{\circ} \pm 7^{\circ}$ od niej, a w rejonie naroży eksploatacyjnych średnio $7^{\circ} \pm 8^{\circ}$.
3. Wyniki badań statystycznych pozwalają na wskazanie sposobów ograniczenia występowania LNDP. Są to działania z zakresu profilaktyki górniczej: minimalizowanie deformacji powierzchni powodowanych eksploatacją górniczą, wydłużanie czasu między eksploatacjami, zmiana kierunku eksploatacji oraz regulowanie postępu eksploatacji.
4. Możliwe jest wyznaczenie stref zagrożonych LNDP. W artykule przedstawiono dwie metody: odkształceń poziomych i punktową. Każda z nich pozwala na ocenę stopnia zagrożenia w skali trzystopniowej: od małego, poprzez średni do dużego.

W kolejnych latach GIG już nie otrzymywał danych o LNDP zarejestrowanych przez kopalnie po 2006 roku. Jednak na podstawie analizy zdarzeń, o których pozyskiwano wiedzę w trakcie realizacji prac usługowo-badawczych, można stwierdzić, że proces kształtowania się LNDP nie uległ znaczącym zmianom.

Literatura

- GRÜN E. 1995 - Analyse und Prognose von Unstetigkeiten als Folge bergbaubedingter Bodenbewegungen im linksniederrheinischen Steinkohlengebiet. Dissertation. RWTH. Aachen.
- KLENCZAR T. 1951 - Szkody górnicze. PTW. Katowice.
- KNUFINKE P. 1996 - Zur Entstehung von Erdstufen über Abbauflächen des Steinkohlenbergbau. Glückauf 57 nr 4.
- KNUFINKE P. 2001 - Über die Entwicklung von Unstetigkeiten an der Oberfläche im linksrheinischen Steinkohlengebiet. Das Markscheidewesen 108 nr 1.
- KNUFINKE P. 2002 - Beobachtungen bei der Bildung einer Erdstufe. Das Markscheidewesen 109 nr 1.
- KOWALCZYK Z. 1982 - Der Einfluss tektonischer Sprünge auf Geländedformationen in Gebieten mit bergmännischem Abbau. Das Markscheidewesen 89 Nr 3.
- KOWALSKI A. 2005 - O liniowych nieciągłościach powierzchni. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie” nr 12, s. 25-32.
- KOWALSKI A. 2015 - Deformacje powierzchni w Górnśląskim Zagłębiu Węglowym. GIG, Katowice.
- KOWALSKIA., JĘDRZEJEC E., GRUHLIK P. 2004 - Linear discontinuous deformations of the surface in the upper silesian coal basin. Archives of Mining Sciences 55, 2. Kraków, s. 331-346.
- KOWALSKI A., MAJCHER M., MIELCAREK Z., WOJTACHA P. 2006 - Doświadczenia z eksploatacji górniczej ZG „Piekary” pod dzielnicą Brzeziny Śląskie. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie”. nr 11. s. 28-35.
- KRATZSCH H. 1997 - Bergschädenkunde. Deutscher Markscheider-Verein e.v., Bochum.
- PALKI J. 1981 - Zakres, formy i przyczyny występowania deformacji nieciągłych terenu, w warunkach Rybnickiego Okręgu Węglowego. „Ochrona Terenów Górniczych” nr 56.
- SROKA A, HEJMANOWSKI R. 2005 - Zagrożenia powierzchni terenu w warunkach współczesnej technologii eksploatacji górniczej. W: Problemy eksploatacji górniczej pod terenami zagospodarowanymi. GIG. Katowice, s. 506-511.
- SROKAA. 2003 - Der Einfluss von Hochleistungsstren auf das Gebirge und die Tagesoberfläche. Glückauf Forschungshefte 64 Nr 3.
- STRZAŁKOWSKI P., PIWOWARCZYK J., ŁAPAJSKI K. 2006 - Występowanie deformacji nieciągłych liniowych w świetle analiz warunków geologiczno-górnictwowych. „Przeгляд Górnictwa” nr 5. Subsidence Engineers Handbook. National Coal Board. Mining Department, 1975.
- TYRAŁA A. 1980 - Wpływ uskoków tektonicznych na zaburzenia obniżenia powierzchni wywołanych przez eksploatację górniczą. GIG. Katowice (praca doktorska - niepublikowana)

Artykuł wpłynął do redakcji – styczeń 2018
Artykuł akceptowano do druku 20.02.2018