

**SCIENTIFIC
STUDIES**
Monographs

**PRACE
NAUKOWE**
Monografie

Aktualne problemy budownictwa na terenach górniczych i pogórniczych

Pod redakcją Mariana Kawuloka



IV KONFERENCJA
OBIEKTY BUDOWLANE NA TERENACH GÓRNICZYCH



Instytut Techniki Budowlanej

Warszawa 2021

KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor naczelny
Z-cy redaktora naczelnego

Sekretarz
Członkowie

prof. dr hab. inż. LECH CZARNECKI
prof. dr inż. LESŁAW BRUNARSKI
dr hab. inż. JADWIGA FANGRAT, prof. ITB
dr MICHAŁ GAJOWNIK
dr hab. inż. PAWEŁ LEWIŃSKI, prof. ITB
dr inż. TERESA MOŻARYN
mgr inż. JAN SIECZKOWSKI
dr inż. EWA SZEWCZAK
dr inż. SEBASTIAN WALL

Redaktor naukowy
dr hab. inż. MARIAN KAWULOK, prof. ITB

Recenzenci
prof. dr hab. inż. JAN BIAŁEK
prof. dr hab. inż. JOANNA BZÓWKA
dr hab. inż. KAROL FIREK, prof. AGH

Redaktor współpracujący
dr hab. inż. MARTA KADELA, prof. ITB

Redakcja
dr MICHAŁ GAJOWNIK, mgr Danuta SZCZEPAŃSKA

© Copyright by Instytut Techniki Budowlanej
Warszawa 2021

*Czterysta siedemdziesiąta druga pozycja
„Prac Naukowych ITB”*

ISBN 978-83-249-8615-6; 978-83-249-8616-3 (PDF)

Wydawca i Autorzy dołożyli wszelkich starań, aby publikowane informacje pochodziły z rzetelnych źródeł. Wydawca nie ponosi odpowiedzialności, ani też nie zaciąga zobowiązań w wyniku wykorzystania przez użytkowników treści niniejszej publikacji. W szczególności nie ponosi odpowiedzialności w stosunku do czytelników i/lub strony trzeciej za jakiegokolwiek poniesione straty, wydatki i szkody bezpośrednie i pośrednie, łącznie z utratą zysku i innych korzyści majątkowych, które mogły powstać lub być związane bezpośrednio lub pośrednio z treściami opublikowanymi, w tym ewentualnymi błędami lub pominięciami zawartymi w publikowanych materiałach.

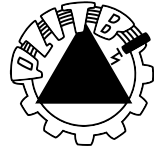


Instytut Techniki Budowlanej

Dział Wydawnictw Naukowych
02-656 Warszawa, ul. Ksawerów 21, tel.: 22 843 35 19
tel.: 22 56 64 208, e-mail: wydawnictwa@itb.pl www.itb.pl



IV KONFERENCJA
OBIEKTY BUDOWLANE NA TERENACH GÓRNICZYCH
POLSKI ZWIĄZEK INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW BUDOWNICTWA
Oddział w Katowicach



KOMITET NAUKOWO-TECHNICZNY

dr hab. inż. Marian KAWULOK, prof. ITB – Przewodniczący

dr hab. inż. Andrzej KOWALSKI, prof. GIG

dr hab. inż. Jan FEDOROWICZ, prof. WST

dr hab. inż. Krzysztof GROMYSZ, prof. PŚ

dr inż. Kazimierz KONIECZNY

dr inż. Leszek SŁOWIK

KOMITET ORGANIZACYJNY

dr hab. inż. Marta KADELA, prof. ITB – Przewodnicząca

dr inż. Natalia PIETRZAK – Z-ca Przewodniczącej

mgr inż. Michał BAL

mgr inż. Andrzej NOWAK

mgr inż. Grzegorz WASYŁOWSKI

mgr Krystyna STYRCZULA

mgr inż. Andrzej SZYDŁOWSKI

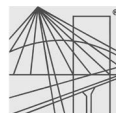
mgr inż. Maria ŚWIERCZYŃSKA

współpraca merytoryczna



Instytut Techniki Budowlanej

sponsor branżowy



Ś L Ą S K A
O K R Ę G O W A
I Z B A
I N Ż Y N I E R Ó W
B U D O W N I C T W A

Spis treści

Przedmowa	11
I. ODDZIAŁYWANIA GÓRNICZE	
1. Dokładność, trafność i wiarygodność prognoz górniczych deformacji powierzchni Andrzej KOWALSKI	15
1.1. Chaos czy determinizm procesu deformacji?	15
1.2. Rozróżnianie dokładności od wiarygodności i trafności prognozy	16
1.3. Stan wiedzy	16
1.4. Dokładność prognoz deformacji	19
1.5. Wiarygodność prognoz	21
1.6. Trafność prognoz	23
1.7. Zakończenie	24
Bibliografia	24
2. Opinie górniczo-geologiczne dla budownictwa na terenach górniczych Jerzy MAJCHRZAK	27
2.1. Wprowadzenie	27
2.2. Podstawy prawne sporządzania opinii	29
2.3. Zasady stosowane przy sporządzaniu opinii górniczo-geologicznych	31
2.4. Podsumowanie	38
Bibliografia	39
Załącznik. Wzór formularza opinii górniczo-geologicznej	41
3. Wstrząsy górnicze w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym – intensywność drgań i przyspieszenie projektowe Grzegorz MUTKE, Jacek CHODACKI, Krystyna STEC	43
3.1. Charakterystyka sejsmiczności w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym ...	43
3.2. Charakterystyka parametrów drgań powierzchni od wstrząsów górniczych	47
3.3. Prognozowanie drgań wywołanych wstrząsami	50
3.4. Intensywność sejsmiczna i Górnicza Skala Intensywności Sejsmicznej ..	52
3.5. Przyspieszenie projektowe	55
Bibliografia	56
II. BUDOWNICTWO KUBATUROWE (STATYKA)	
4. Oddziaływania górnicze i ich wpływ na obiekty budowlane Marian KAWULOK	61
4.1. Wprowadzenie	61
4.2. Rodzaje wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię	63
4.3. Oddziaływania wpływów eksploatacji górniczej na obiekty budowlane ..	64
4.4. Uwaga końcowa	71
Bibliografia	71

5. Uwarunkowania dotyczące projektowania obiektów na terenach górniczych	
Michał BAL	73
5.1. Wprowadzenie	73
5.2. Uwarunkowania prawne	74
5.3. Obiekty budowlane projektowane na terenach górniczych	78
5.4. Podsumowanie	83
5.5. Podstawy prawne	84
6. Ocena odporności statycznej budynków w świetle najnowszych doświadczeń	
Leszek CHOMACKI, Wiesław MIKA	85
6.1. Wprowadzenie	85
6.2. Kryteria oceny odporności budynków i uwarunkowania prawne.....	86
6.3. Metody oceny odporności statycznej budynków	87
6.4. Wiarygodność dokonywanych ocen odporności	89
6.5. Kierunki prowadzonych badań	90
6.6. Propozycje zmian w zakresie kryteriów dopuszczania eksploatacji górniczej	93
Bibliografia	94
7. Pomiarы wychylonych od pionu obiektów budowlanych	
Tomasz NIEMIEC, Radosław ZABOREK	97
7.1. Rektyfikacja i potrzeba pomiarów wychyleń obiektów	97
7.2. Pomiarы elementów pionowych i poziomych	98
7.3. Czynniki wpływające na wyniki pomiarów	100
7.4. Wymagania normatywne	101
7.5. Metody pomiaru wychyleń od pionu budynków	102
7.6. Podsumowanie	109
Bibliografia	110
8. Projektowanie usuwania wychyleń budowli ze względu na minimalizację pracy wykonywanej przez układ rektyfikujący	
Krzysztof GROMYSZ	111
8.1. Wprowadzenie	111
8.2. Charakterystyki rektyfikowanych budowli	112
8.3. Wartości charakterystyk rektyfikowanego zbiornika	115
8.4. Analiza pracy wykonanej przez siłowniki	120
8.5. Podsumowanie	121
Bibliografia	122
9. Działania <i>a priori</i> i <i>a posteriori</i> w ocenie zachowania konstrukcji na terenach górniczych	
Lidia FEDOROWICZ, Jan FEDOROWICZ	125
9.1. Wprowadzenie	125
9.2. Postępowanie <i>a priori</i> i <i>a posteriori</i> w analizach inżynierskich i badawczych	127
9.3. Podsumowanie i wnioski	132
Bibliografia	134

10. Prognozowanie uszkodzeń budynków w warunkach ciągłych deformacji terenu górniczego	
Leszek CHOMACKI	137
10.1. Wprowadzenie	137
10.2. Przegląd metod prognozowania uszkodzeń	138
10.3. Przeprowadzone badania i ich wyniki	142
10.4. Podsumowanie i wnioski	147
Bibliografia	147
11. Skuteczność wzmocnienia budynku kościoła w warunkach wpływów podziemnej eksploatacji górniczej	
Łukasz DROBIEC, Marian KAWULOK, Leszek SŁOWIK	149
11.1. Wprowadzenie	149
11.2. Opis obiektu	150
11.3. Wzmocnienia i naprawy wykonane do 2017 r.	151
11.4. Wzmocnienia i naprawy wykonane po 2017 r.	152
11.5. Warunki górnicze	154
11.6. Wyniki geodezyjnych pomiarów powierzchni i kościoła	156
11.7. Wyniki przeglądów konstrukcji po 2017 r.	160
11.8. Podsumowanie	160
Bibliografia	160
12. Uszkodzenia budynku szkoły w warunkach intensywnych wpływów górniczych	
Wiesław MIKA, Mariusz STAWINOGA	161
12.1. Wprowadzenie	161
12.2. Charakterystyka budynku	162
12.3. Warunki górnicze	164
12.4. Uszkodzenia budynku	165
12.5. Prace naprawcze i zabezpieczające	169
Bibliografia	170
13. Wpływ ujawnienia się pustek w podłożu gruntowym na konstrukcję istniejącego budynku	
Kazimierz KONIECZNY	171
13.1. Wstęp	171
13.2. Przykład I	172
13.3. Podsumowanie	182
Bibliografia	182
III. BUDOWNICTWO KUBATUROWE (DYNAMIKA)	
14. Porównanie wpływu wstrząsów górniczych na budynki z innymi wybranymi oddziaływaniami dynamicznymi	
Krzysztof GROMYSZ	185
14.1. Wprowadzenie	185
14.2. Program badań	186
14.3. Aparatura pomiarowa	189
14.4. Przebieg i wyniki pomiarów	189
14.5. Częstotliwościowa struktura drgań	191
14.6. Wpływ drgań na budynki i ludzi	195
14.7. Podsumowanie	197
Bibliografia	198

15. Metody oceny odporności dynamicznej obiektów budowlanych poddanych oddziaływaniom parasejsmicznym indukowanym eksploatacją górnictw	
Janusz RUSEK, Leszek SŁOWIK, Dagmara RATAJ, Jakub KRUPA	199
15.1. Wstęp	199
15.2. Ocena odporności dynamicznej istniejących obiektów budowlanych poddanych wpływowi wstrząsów górniczych	200
15.3. Metody oceny odporności liniowych obiektów infrastruktury podziemnej	206
15.4. Podsumowanie i wnioski końcowe	209
Bibliografia	210
16. Wpływ uwzględnienia interakcji konstrukcji z podłożem na odpowiedź dynamiczną konstrukcji	
Natalia PIETRZAK	213
16.1. Wprowadzenie	213
16.2. Interakcja konstrukcji z podłożem – uwzględnienie wpływu odkształcalnego podłoża	214
16.3. Wpływ zmiany gęstości ośrodka na rozchodzenie się fali dynamicznej	219
16.4. Podsumowanie	224
Bibliografia	224
IV. INŻYNIERIA KOMUNIKACYJNA I INFRASTRUKTURA	
17. Wpływ deformacji ciągłych terenu na nawierzchnie drogowe w świetle najnowszych badań	
Marta KADELA, Beata PARKASIEWICZ	229
17.1. Wprowadzenie	229
17.2. Problematyka oceny wpływu oddziaływań górniczych na nawierzchnie drogowe	231
17.3. Analiza numeryczna układu nawierzchnia drogowa-podłoże górnicze na wybranym przykładzie	234
17.4. Podsumowanie	239
Bibliografia	239
18. Elementy oceny bezpieczeństwa obiektów mostowych poddanych wpływowi eksploatacji górnictw	
Piotr BĘTKOWSKI	241
18.1. Wpływ górniczych deformacji terenu na obiekty mostowe	241
18.2. Profilaktyka. Wymagania projektowe	243
18.3. Kontrola stanu technicznego	246
18.4. Pomiary	247
18.5. Monitoring	248
18.6. Nowoczesne zarządzanie informacją	249
18.7. Podsumowanie	251
Bibliografia	251
19. Zastosowanie czujnika hydraulicznego do ciągłego geometrycznego pomiaru przemieszczeń pionowych gruntu	
Rafał SIEŃKO, Łukasz BEDNARSKI, Tomasz HOWIACKI	253
19.1. Wstęp	254
19.2. Automatyczny czujnik hydrauliczny	257
19.3. Budowa czujnika hydraulicznego	258

19.4. Instalacja czujnika w nasypie drogowym	259
19.5. Przykładowe wyniki pomiarów przemieszczeń pionowych	261
19.6. Wnioski	263
Bibliografia	264
20. Uszkodzenia i zabezpieczenia sieci gazowej na terenach objętych wpływami górniczymi	
Piotr KALISZ	265
20.1. Wprowadzenie	265
20.2. Oddziaływanie eksploatacji górniczej na gazociągi	266
20.3. Stosowane zabezpieczenia sieci gazowej na terenach górniczych	268
20.4. Skutki oddziaływania eksploatacji górniczej na gazociągi	272
20.5. Zakończenie	275
Bibliografia	276
21. Wpływ deformacji górniczych na zmianę oddziaływań na słupy linii energetycznych	
Grzegorz WANDZIK	277
21.1. Wprowadzenie	277
21.2. Klasyfikacja oddziaływań na linie elektroenergetyczne	278
21.3. Zagrożenia związane z deformacjami terenu	278
21.4. Czynniki decydujące o wrażliwości linii	279
21.5. Metody obliczeniowe	281
21.6. Ocena wrażliwości. Przykładowe analizy	283
Bibliografia	288

SŁOWO WSTĘPNE

Po krótkiej przerwie spowodowanej epidemią covid-19 spotykamy się znowu już na IV Konferencji z cyklu *Obiekty budowlane na terenach górniczych*. Pragniemy ten czas poświęcić zagadnieniom związanym z prawidłowym projektowaniem nowych i utrzymaniem istniejących obiektów budowlanych na terenach górniczych. Podejmowana tematyka jest jednym z bardzo ważnych zagadnień dotyczących bezpieczeństwa użytkowania obiektów budowlanych przez mieszkańców gmin górniczych w Polsce.

Konferencja tradycyjnie jest organizowana przez Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa, Oddział w Katowicach, przy merytorycznym patronacie Instytutu Techniki Budowlanej. Instytut podjął się jednocześnie wydania niniejszej monografii zawierającej podstawy merytoryczne konferencji. Koordynatorem prac wydawniczych między autorami poszczególnych rozdziałów monografii a wydawnictwem ITB była dr hab. inż. Marta Kadela, profesor Instytutu.

Hasło przewodnie tegorocznej konferencji brzmi: *Aktualne problemy budownictwa na terenach górniczych i pogórnicych*. Przez uwzględnienie w tytule także terenów pogórnicych podkreślamy ich coraz większe praktyczne znaczenie.

Obrady zaplanowano w następujących sesjach:

- prawnej,
- górniczej

oraz czterech budowlanych:

- obiekty kubaturowe, zagadnienia statyczne,
- obiekty kubaturowe, zagadnienia dynamiczne,
- inżynieria komunikacyjna i infrastruktura,
- wybrane przykłady szkód górniczych.

Autorami referatów są uznani specjaliści w zakresie poruszanej tematyki. Dziękuję im za gotowość do opracowania referatów, jak również do udziału w konferencji, zaś wszystkim uczestnikom życzę w pełni udanych obrad.

Przewodniczący
Komitetu Naukowo-Technicznego Konferencji
Dr hab. inż. Marian Kawulok

1. DOKŁADNOŚĆ, TRAFNOŚĆ I WIARYGODNOŚĆ PROGNOZ GÓRNICZYCH DEFORMACJI POWIERZCHNI

Andrzej Kowalski¹

Streszczenie: W rozdziale w sposób syntetyczny scharakteryzowano podstawowe pojęcia, które najogólniej kojarzą się z dokładnością prognoz deformacji powierzchni spowodowanych podziemną eksploatacją górniczą. Porównano je z prognozami pogody z uwagi na okres, na jaki są wykonywane, a także na złożoność procesów fizycznych. Przedstawiono stan wiedzy i badań oraz czynniki wpływające na prognozy i pomiary deformacji. Przedstawiono także przykłady wykonanej oceny dokładności prognoz i jej wiarygodności, wykonywanych *a priori*, oraz oceny trafności prognoz wykonywanych *a posteriori*.

1.1. Chaos czy determinizm procesu deformacji?

Według autora istnieje analogia między prognozami pogody i deformacji górniczych. Z uwagi na skalę ośrodka, opis pogody jest bardziej złożony niż opis deformacji górotworu, pomimo że pomiary elementów atmosfery są bardziej dostępne niż wnętrza górotworu.

Ma to wyraz w trafności prognoz. Jak wiadomo, najtrafniejsze są krótkoterminowe prognozy pogody (do około 3 dni), prognozy długoterminowe – na przykład kwartalne lub półroczne – są obarczone trafnością wynoszącą 50%. Krótkoterminowe prognozy deformacji powierzchni obejmują jeden rok, a w niektórych przypadkach krótszy okres. Natomiast prognozy dla nowego budownictwa na terenach górniczych są wykonywane na okres kilkunastu a nawet kilkudziesięciu lat – są to prognozy długoterminowe.

W środowisku meteorologów funkcjonuje tzw. atraktor Lorenza [16]. W jego strukturze poszczególne linie, odpowiadające zarysowi skrzydeł motyla, zmieniają swój tor w zależności od zmiany odpowiadających im warunków początkowych. W popularnym przedstawieniu graficznym linie obrazujące zmiany badanych parametrów ogniskują się w taki sposób, że oglądany w odpowiednim rzucie wykres przypomina skrzydła motyla lub maskę sowy.

Przez analogię do motyla lub sowy – prognozowane wartości wskaźników deformacji dla zmiennych warunków początkowych można ukażać jako strukturę jeżozwierz lub węża, którą obejmuje rozproszenie procesu deformacji. Proces deformacji powierzchni jest probabilistyczny, ale nie chaotyczny.

¹ dr hab. inż., prof. Głównego Instytutu Górnicztwa

1.2. Rozróżnianie dokładności od wiarygodności i trafności prognozy

Na początku należałoby rozróżnić i zdefiniować powyższe pojęcia, bowiem nie są one jednakowo interpretowane. Jak zauważają R. Hejmanowski i A. Malinowska [2], dokładność to dbałość o szczegóły, staranne wykonanie prognozy, natomiast wiarygodność prognoz oznacza coś, co zasługuje na zaufanie.

Autor [6] za dokładność prognozy przyjmuje przedział wartości prognozowanego wskaźnika deformacji, w którym będzie zawierała się jego średnia wartość z założonym odchyleniem standardowym – jest ona określana *a priori*.

Wiarygodność to, zgodnie z definicją, prawdopodobieństwo parametru w konkretnym kontekście ustalonych obserwacji i modelu [17]. Ma podobną postać do prawdopodobieństwa danych dla parametru (czyli funkcji gęstości lub masy).

Trafność prognozy określa się *a posteriori*, jej miarą są odchyłki między wartościami prognozowanymi i pomierzonymi wskaźnika deformacji. Jest pojęciem bardziej ogólnym, gdyż zawiera nie tylko dokładność, a także niedokładności wynikające z prognozy i pomiaru deformacji.

Bardzo obszerną i interesującą ocenę niepewności prognoz przedstawił J. Ostrowski w monografii [10] (rozdz. 7, s. 401), pod oryginalnym tytułem „Dlaczego się nie zgadza?” Zwraca tam uwagę na to, że:

- najczęściej stosowany model Knothego-Budryka [4] upraszcza górotwór i nie jest możliwe precyzyjne określenie, w jakim stopniu prognozy „mijają się” z rzeczywistością,

- wyniki pomiaru deformacji, opisujące rzeczywistość (naturę), pozwalają jedynie na fragmentaryczne i niedoskonałe rozpoznanie skutków eksploatacji.

J. Ostrowski stwierdza także, że badanie niezgodności wyników prognoz deformacji z jej obrazem zarejestrowanym pomiarami pozwala na podejmowanie trafniejszych decyzji w zakresie planowania eksploatacji górniczej w aspekcie ochrony terenów górniczych. (...) *Dlatego nawet niedoskonałe oszacowania są lepsze niż żadne (...)*.

1.3. Stan wiedzy

Tematem dokładności, wiarygodności i trafności prognoz zajmowało się wielu badaczy, przykładowo: E. Popiołek i J. Ostrowski [9], W. Naworyta i A. Sroka [10], R. Hejmanowski i A. Malinowska [2], E. Popiołek [11], J. Białek i A. Mierzejewska [1], J. Ostrowski [11], T. Niemiec [10], a także autor [5, 6].

Chronologicznie analizę rozbieżności prognozowanych i obserwowanych wskaźników deformacji jako pierwsi opisali E. Popiołek i J. Ostrowski [11], którzy wyspecyfikowali ich główne przyczyny. Są nimi:

1) niezrealizowanie założeń projektu eksploatacji, tj. inny niż zakładano zakres eksploatacji (kształt i wielkość pola), inna grubość wybieganego pokładu, a także sposób likwidacji przestrzeni poeksploatacyjnej,

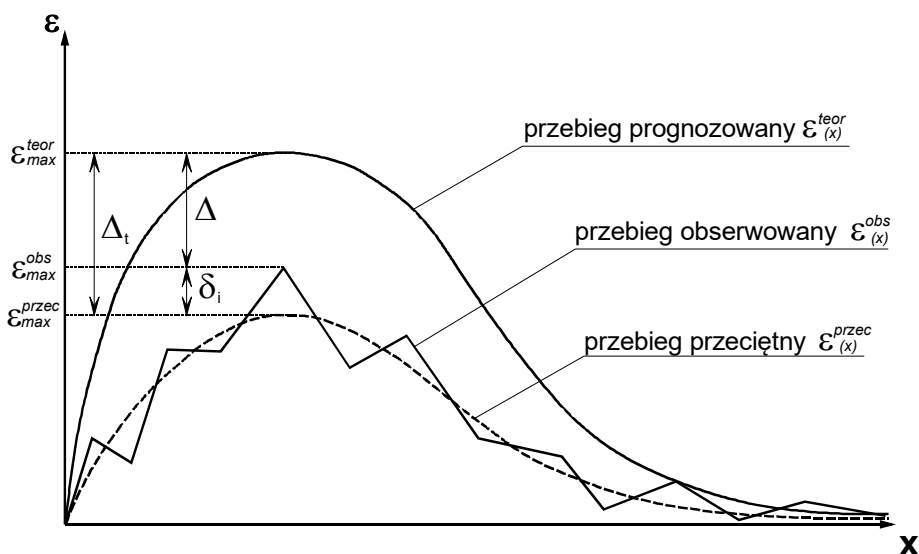
2) czynnik losowy wynikający z rozproszenia przebiegu wskaźników deformacji wokół średniej wartości (przeciętnej),

3) błąd teorii wynikający z nieadekwatności modelu prognostycznego do rzeczywistości.

W odniesieniu do 3. przyczyny J. Ostrowski [11] zauważa, że wynik modelowania dotyczy „rzeczywistości” modelu, ponieważ wszystkie dane w modelu traktuje się jako bezbłędne. Modelowanie nie dotyczy obiektywnej rzeczywistości. Prognoza wymusza jego konfrontację z rzeczywistością, ponieważ wymaga danych charakteryzujących konkretne uwarunkowania geologiczne i górnicze.

Problem dobrych danych do prognoz deformacji jest podstawowy, gdyż jeśli wyjściowe dane będą złe, to i wynik prognozy, mimo dobrego modelu i programu komputerowego, będzie zły.

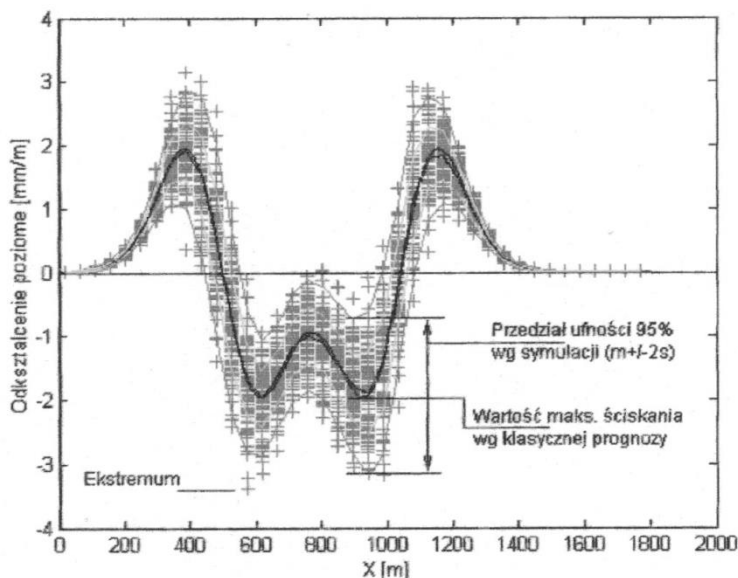
Na rysunku 1 przedstawiono rozkłady wskaźnika deformacji według E. Popiołka, które uznaje się klasyczne.



Rys. 1. Prognozowany, obserwowany i przeciętny przebieg odkształceń poziomych i obniżień nad dużym polem eksploatacyjnym

Badania dotyczące dokładności prognoz prowadzili S. Stocks i A. Sroka [15], później były kontynuowane przez W. Noworytę i A. Srokę [9]. Do oceny dokładności prognozy zastosowali metodę symulacji geostatystycznej. Modelowanie to polega na wykonaniu wielokrotnych obliczeń dla założonych różnych danych wyjściowych, zarówno górniczych, jak

i parametrów teorii (modelu). Parametry do symulacji przyjęto, zakładając, że są wyznaczone z błędem względnym o wartości 5%. Przykład takiej symulacji geostatystycznej przedstawiono na rysunku 2.



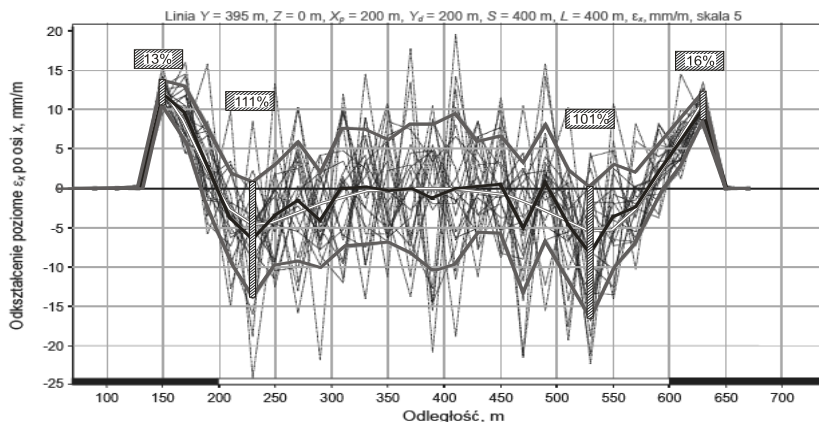
Rys. 2. Graficzne przedstawienie wyników geostatystycznej symulacji poziomego odkształcenia wg [14]

Kolejne badania dotyczące wiarygodności prognozy przemieszczeń pionowych (obniżeń) prowadzili R. Hejmanowski i A. Malinowska [2], w oparciu o przestrzenną analizę statystyczną prognozowanych i pomierzonych obniżeń. Wykazali, że jest możliwe wyznaczanie błędu prognozy charakteryzującej jej dokładność, a także określenie wiarygodności prognozy.

W nawiązaniu do przedstawionej oceny dokładności wyznaczania wskaźników deformacji należy przywołać prace prowadzone na Politechnice Śląskiej przez J. Białka i A. Mierzejowską. Opracowali algorytmy do oceny dokładności wyznaczonych parametrów teorii: α , $\text{tg}\beta$ oraz obrzeża, stosując do opisu obniżeń wzór Białka [1]. Parametry teorii wyznacza się z wykorzystaniem metody najmniejszych kwadratów z użyciem programu komputerowego TGB. Do określania błędów średnich parametrów zastosowali metodę polegającą na wyznaczaniu składowych macierzy wariancyjno-kowariancyjnej, opartej na wartościach pochodnych cząstkowych obniżeń względem wartości kolejnych parametrów.

T. Niemiec [10] do przykładu obliczeniowego obrazującego opis deterministyczny (zielona linia) wprowadza opis stochastyczny dla n róż-

nych przebiegów symulacji generowanych losowo. Przykładowo, na rysunku 3 przedstawiono rozkład prognozowanych odkształceń poziomych wzdłuż linii dla $n = 20$ symulacji. Znając wartości wskaźników dla wszystkich punktów linii i wszystkich n przebiegów (czarne kropki), można określić średnie wartości (czerwona linia) i odchylenie standardowe $\pm\sigma_D$ (niebieskie linie) niektórych wybranych wskaźników deformacji. W charakterystycznych miejscach pokazano wartości współczynników zmienności (na żółtym tle).



Rys. 3. Rozkład wartości odkształceń poziomych ϵ_x wzdłuż linii na powierzchni dla $n = 20$ symulacji
 biała linia – przebieg zdeterminowany, czarne przerywane linie – serie losowe,
 czarna linia – przeciętna z serii losowych, szara linia – odchylenie standardowe,
 zakreskowane linie – współczynnik zmienności wg [10]

1.4. Dokładność prognoz deformacji

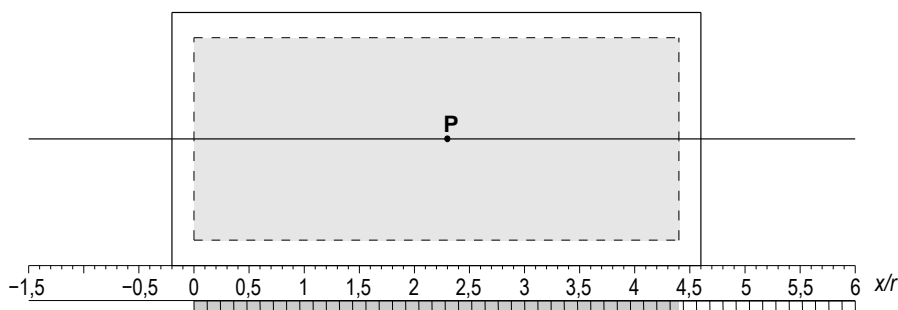
O dokładności prognoz deformacji można „mówić” odnośnie do prognoz krótkoterminowych, dla których są określone dane wyjściowe dotyczące zakresu projektowanej eksploatacji oraz parametrów teorii, które są niezbędne do obliczeń prognostycznych.

Dane do projektowanej eksploatacji obejmują przyjęcie konturu parceli eksploatacyjnej (ściany), a także kierunku jej postępu oraz wysokości i głębokości eksploatacji, które są obarczone pewnymi niedokładnościami. Drugi zakres niedokładności (błędów) wynika z wartości przyjmowanych do prognozy parametrów teorii (współczynnika eksploatacyjnego, parametru górotworu, obrzeża eksploatacyjnego, a dla pokładów nachylonych – wartości nachylenia i współczynnika odchylenia od pionu); najczęściej wymienione parametry generalizuje się.

Autor, stosując wyznaczone parametry i ich błędy (odchylenia standardowe), proponuje określać błąd prognozy, korzystając z prawa przenoszenia błędów [5, 6]. Według A. Sroki [14] takie podejście jest z for-

malnych względów nie do zastosowania, jednak przyczyn nie podaje. Można się domyślać dwóch przyczyn takiego stanowiska: pierwszej, że wyznaczane parametry mogą być od siebie zależne, oraz wartości błędów mogą nie być małe. Autor wykazał, że nie zawsze tak jest, bo wyznaczone empirycznie wartości błędów względnych parametrów wynoszą dla współczynnika eksploatacyjnego i parametru górotworu 5%, choć mogą też osiągnąć 14% [5]. Podobne oszacowanie wartości błędów parametrów przedstawiła A. Mierzejowska [8].

Poniżej przedstawiono przykład określenia błędu prognozy obniżeń dla prostokątnego pola eksploatacyjnego o wymiarach długości ściany 400 m i wybiegu 1200 m, zgodnie z linią pomiarową zlokalizowaną symetrycznie wzdłuż ściany eksploatacyjnej, której schemat przedstawiono na rysunku 4. Głębokość eksploatacji 500 m. Błąd ten obliczono na drodze modelowania matematycznego dla $w_{max} = 1,0$ m, $tg\beta = 2,0$ oraz obrzeża eksploatacyjnego równego 50 m dla założonych dwóch grup błędów średnich parametrów, które wynoszą dla grupy 1: $\sigma_a = \pm 0,04$, $\sigma_{tg\beta} = \pm 0,1$ i $\sigma_p = \pm 0,1p$ oraz dla grupy 2: $\sigma_a = \pm 0,1$, $\sigma_{tg\beta} = \pm 0,3$ i $\sigma_p = \pm 0,1p$.



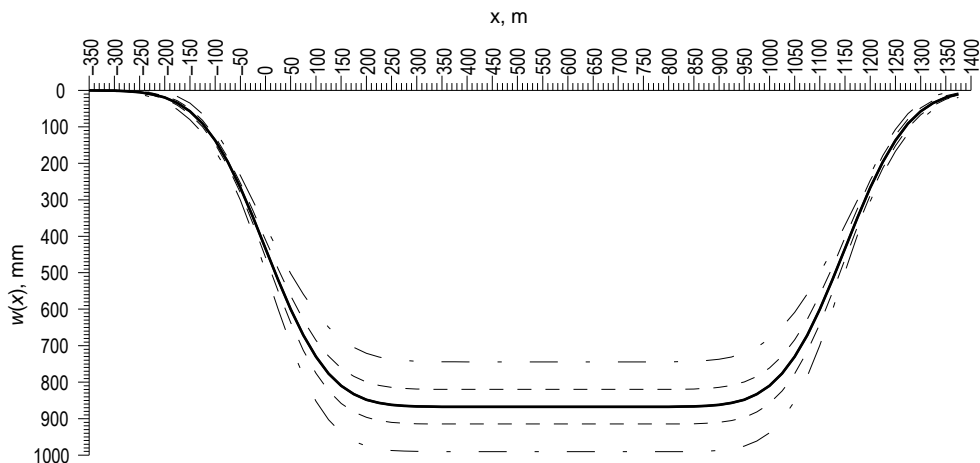
Rys. 4. Schemat eksploatacji, jej etapów (1–38) oraz wybranego do analizy przekroju obliczeniowego wg [5]

Wyznaczony błąd średni prognozy obniżeń dla ustalonej niecki obniżeniowej wzdłuż linii przekroju przedstawiono na rysunku 5, a współczynnik zmienności (dla założonych dwóch grup odchyłeń standardowych parametrów) – na rysunku 6.

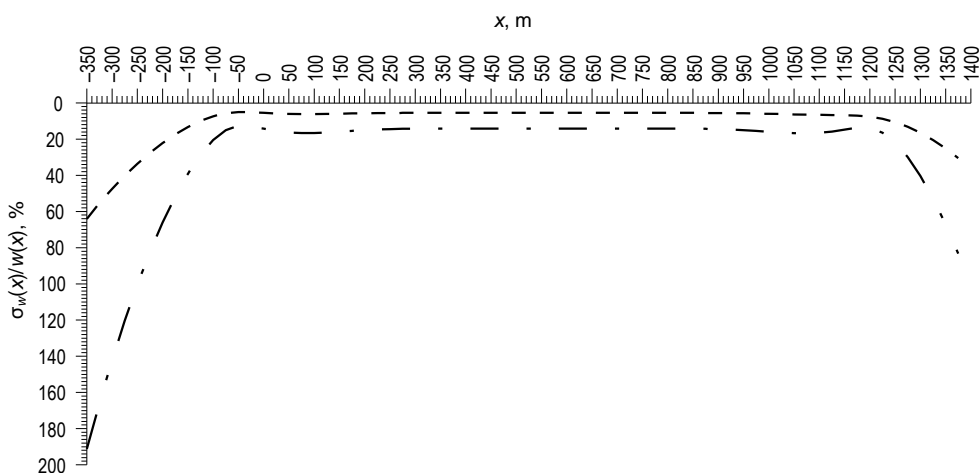
Z rysunków 5 i 6 wynika, że:

- największe odchylenia standardowe obniżeń wystąpiły w rejonie dna niecki i wynosiły dla dwóch grup błędów odpowiednio 50 i 145 mm, zaś współczynniki zmienności wynosiły 5% i 14,5%,

- współczynniki zmienności w przekroju niecki, odniesione do wielkości jej obniżenia, były największe w rejonie na zewnątrz pola eksploatacyjnego; mogą wzrastać w kierunku zaniku obniżeń nawet do 100% i więcej, co najczęściej w praktyce nie ma istotnego znaczenia, w tym rejonie niecki obniżenia są małe.



Rys. 5. Niecki obniżeniowe z zaznaczonymi wstęgami odchyłek standardowych dla dwóch grup odchyłek standardowych parametrów wg [5]

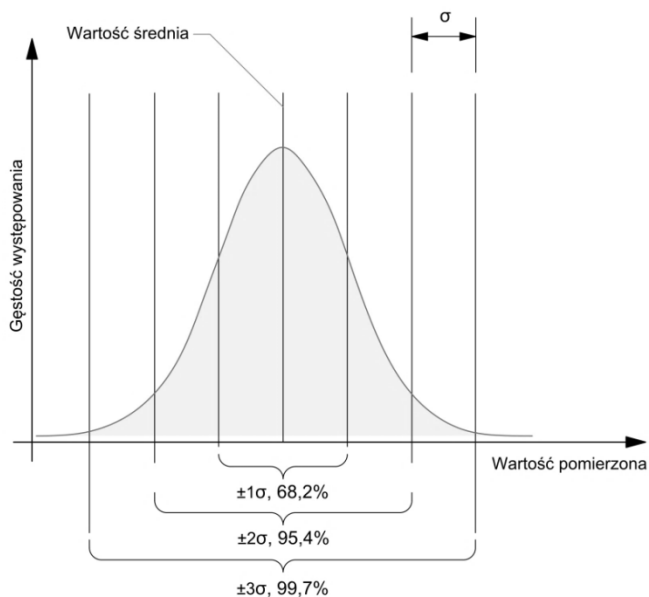


Rys. 6. Współczynnik zmienności dla ustalonej niecki obniżeniowej dla obydwu grup odchyłek standardowych parametrów wg [5]

1.5. Wiarygodność prognoz

Wiarygodność wyraża się określeniem prawdopodobieństwa, z jakim nie zostanie przekroczona dana wartość błędu. Do opisu losowego rozproszenia wskaźników deformacji powierzchni stosuje się funkcję gęstości prawdopodobieństwa rozkładu normalnego Gaussa (rys. 7). Jak wynika z rysunku 7, najczęstsze błędy (odchylenia standardowe) są dla wartości średniej. Im większy jest błąd, tym rzadziej się pojawia. Zaznaczona na rysunku wartość odchylenia standardowego σ jest charak-

terystyczna dla metod i wzorów rachunku błędów oraz prawdopodobieństwa ich występowania.



Rys. 7. Gęstość prawdopodobieństwa według rozkładu normalnego

Ponieważ błąd pomiaru i prognozy może być mniejszy lub większy, w zależności od jego wartości określane jest prawdopodobieństwo, że nie będzie przekraczał prognozowanej wartości wskaźnika deformacji, i tak dla:

- $n = 1,0 \sigma$, czyli wartości jednego odchylenia standardowego, prawdopodobieństwo wystąpienia wskaźnika deformacji wynosi 68,2%,
- $n = 2,0 \sigma$ prawdopodobieństwo wystąpienia wskaźnika deformacji wynosi 95,4%,
- $n = 3,0 \sigma$ prawdopodobieństwo wystąpienia wskaźnika deformacji wynosi 99,7%.

Graficzny obraz wiarygodności prognozy obniżenia dla dwóch i jednego odchylenia standardowego przedstawiają wykresy odpowiednio na rysunku 2 oraz 3 i 5, gdzie prawdopodobieństwo nieprzekroczenia wartości prognozowanej wynosi odpowiednio 95,4% i 68,2%.

Według J. Kwiatka [7] w budownictwie istotne jest jednostronne przekroczenie z określonym prawdopodobieństwem wartości prognozowanego wskaźnika, co powoduje, że prawdopodobieństwo wystąpienia wskaźnika deformacji wynosi dla:

- $n = 1,0 \sigma - 84,2\%$,
- $n = 2,0 \sigma - 98,7\%$,
- $n = 3,0 \sigma - 99,8\%$.

1.6. Trafność prognoz

Przy uwzględnieniu zauważonych przez E. Popiołka i J. Ostrowskiego przyczyn rozbieżności prognoz od wyników pomiaru, w GIG [6] przy wykonywaniu ekspertyz, a także w ramach prac badawczych, porównywane są prognozy wskaźników deformacji ze wskaźnikami zmierzonymi później po zakończeniu eksploatacji górniczej (*sic!*).

Efektem porównania wskaźników deformacji było określenie odchyłek względnych dla ekstremalnych wskaźników deformacji na liniach pomiarowych według wzoru [6]

$$\theta_D = \frac{D_{\text{prog}} - D_{\text{obs}}}{D_{\text{obs}}} 100\%$$

gdzie:

- θ_D – wartość dodatnia, jeśli prognozowane wartości są większe od obserwowanych, a ujemna, jeśli prognozowane wartości są mniejsze od obserwowanych,
- D_{prog} – największa prognozowana wartość wskaźnika deformacji w odniesieniu do wartości bezwzględnej,
- D_{obs} – największa obserwowana bezwzględna wartość wskaźnika deformacji.

Rzeczywiste ekstremalne wartości wskaźników deformacji określono bez wcześniejszego wygładzenia zmierzonych wartości. Z obliczonych średnich wartości odchyłek, a także ich odchyłeń standardowych, wynika, że:

- średnie wartości odchyłek obniżeń i odkształceń poziomych dla całego zbioru są zbliżone do zera. Świadczy to o tym, że na ogół wskaźniki te prognozowano prawidłowo, mniejsze odchylenie standardowe dla obniżeń potwierdzają doświadczenia – wskaźnik ten kontroluje się z większym poziomem ufności niż odkształcenie poziome. Odchylenie standardowe określenia największego prognozowanego obniżenia wynosi 14%. Przyjmując rozkład odchyłek θ_w według rozkładu normalnego, można stwierdzić, że prognozowane obniżenia nie zostaną przekroczone o 14%, z prawdopodobieństwem 68%, a o 28% – z prawdopodobieństwem 95%;

- statystycznie największe nachylenia prognozowane są mniejsze o 16% od stwierdzanych później za pomocą pomiarów. Prognozowane największe nachylenia nie zostaną przekroczone o 14% z prawdopodobieństwem 68%, a o 28% – z prawdopodobieństwem 95%;

- prognozowane największe odkształcenia poziome, zarówno dodatnie, jak i ujemne, nie zostaną przekroczone o 25% z prawdopodobieństwem 68%, a o 50% – z prawdopodobieństwem 95%;

- statystycznie ekstremalne krzywizny prognozowane są mniejsze o około 50% od stwierdzanych później za pomocą pomiarów. Po uwzględnieniu systematycznego składnika odchyłek krzywizn, prognozowane

ekstremalne krzywizny nie zostaną przekroczone o 20% z prawdopodobieństwem 68%, a o 40% – z prawdopodobieństwem 95%.

1.7. Zakończenie

Fundamentalne stwierdzenie dotyczące konieczności prowadzenia systematycznych i starannych pomiarów deformacji powierzchni wynika między innymi z liczących ponad 80 lat doświadczeń. Już T. Klenczar pisał, że: (...) *sprawdzianem najlepszych teorii o przebiegu wpływów odbudowy mogą być dopiero ujawniające się na powierzchni następstwa, gdyż tylko te mogą być za pomocą pomiarów we wszystkich szczegółach wystarczająco uchwycone* (...). Dalej zauważył, że: (...) *Element pomiarowy jest bowiem bezsprzecznie pierwszą i najważniejszą podstawą do należytego oceniania problemów związanych z kwestią wpływów górniczych* (...) [3] (s. 18).

Prognozy są i będą wykonywane z pewnym odchyleniem od wartości pomierzonych, które należy określać, nie ma idealnego górotworu, spełniającego założenia danej teorii.

Istotnym problemem jest interpretowanie wskaźników deformacji spowodowanej eksploatacją wielokrotną w długim czasie. Problem ten wynika z przyczyn formalnych, związanych głównie z klasyfikacją terenów górniczych (kategoria), znajdującą się w planach ruchu kopalń, które sporządzane są najczęściej na 3 lata. W kolejnych planach ruchu kategorie terenu górniczego są określane ponownie, nie występuje sumowanie wskaźników deformacji.

Aby dyskusja miała więc szansę na postęp, powinna być prowadzona z poszanowaniem wiedzy już znanej, ale i niewiedzy, z odwagą do poznawania rozwiązań, a także z pokorą.

Bibliografia

- [1] BIALEK J., MIERZEJOWSKA A.: Oszacowanie dokładności parametrów $tg\beta$, A_{obr} , a , wyznaczonych na podstawie pomiarów niepełnych niecek obniżeniowych. *Przegląd Górniczy* 2012, t. 68, nr 8, s. 180–184
- [2] HEJMANOWSKI R., MALINOWSKA A.: Ocena wiarygodności prognozy przemieszczeń pionowych w oparciu o przestrzenną analizę statystyczną. *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko*. Wydanie specjalne: Bezpieczeństwo i ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych, Katowice 2006, s. 123–129
- [3] KLENCZAR T.: *Szkody górnicze*. Chrześcijańska Drukarnia „Nakładowa”, Warszawa 1939
- [4] KNOTHE S.: *Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej*. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1984
- [5] KOWALSKI A.: Nieustalone górnicze deformacje powierzchni w aspekcie dokładności prognoz. *Prace Naukowe GIG. Studia-Rozprawy-Monografie*, nr 871. GIG, Katowice 2007

- [6] KOWALSKI A.: Deformacje powierzchni na terenach górniczych kopalń węgla kamiennego. GIG, Katowice 2020
- [7] KWIATEK J.: Obiekty budowlane na terenach górniczych. GIG, Katowice 2007
- [8] MIERZEJOWSKA A.: Modelowanie wpływu wielkości błędów średnich przyjmowanych wartości parametrów teorii wpływów na błąd średni prognozy obniżen, nachylen i krzywizn terenu. *Przegląd Górniczy* 2014, t. 70, nr 8, s. 171–176
- [9] NOWORYTA W., SROKA A.: Ocena niepewności prognozy wskaźników deformacji terenu metodą symulacji geostatystycznej. [W:] VIII Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych. GIG, Katowice 2005, s. 374–388
- [10] NIEMIEC T.: Model dyskretny i stochastyczny oddziaływania eksploatacji górniczej. GIG, Katowice 2020
- [11] OSTROWSKI J.: Deformacje powierzchni terenu górniczego. Agencja Wydawniczo-Poligraficzna Art-Tekst, Kraków 2015
- [12] POPIOŁEK E., OSTROWSKI J.: Próba ustalenia głównych przyczyn rozbieżności prognozowanych i obserwowanych wskaźników deformacji. *Ochrona Terenów Górniczych* 1981, nr 58, s. 3–9
- [13] POPIOŁEK E.: Ochrona terenów górniczych. AGH, Kraków 2009
- [14] SROKA A.: Ocena wpływu projektowanej eksploatacji górniczej na obiekty budowlane z uwzględnieniem wiarygodności prognoz. Wydanie specjalne: Bezpieczeństwo i ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. GIG, Katowice 2006, s. 323–335
- [15] STOCK S., SROKA A.: Bergschadenmindernde Abbauplanung und Analysen beim Abbau im Bereich einer Pipeline. [In:] XIth International Congress of the Society for Mine Surveying, Cracow 2000
- [16] ŻYCIŃSKI J.: Świat matematyki i jej materialnych cieni. Copernicus Center Press, Kraków 2018
- [17] <https://sjp.pwn.pl/słowniki/wiarygodność>