

DEFORMACJE POWIERZCHNI NA TERENACH GÓRNICZYCH KOPALŃ WĘGLA KAMIENNEGO

ANDRZEJ KOWALSKI

GŁÓWNY INSTYTUT GÓRNICTWA
KATOWICE 2020

ANDRZEJ KOWALSKI

DEFORMACJE POWIERZCHNI
NA TERENACH GÓRNICZYCH
KOPALŃ WĘGLA KAMIENNEGO



GŁÓWNY INSTYTUT GÓRNICTWA
Katowice 2020

Rada Programowa ds. Wydawnictw: prof. dr hab. inż. Antoni Tajduś (przewodniczący), prof. Roman Ditchkovsky, prof. Dou Lin Ming, prof. dr hab. inż. Józef Dubiński, czł. rzecz. PAN, prof. Juraj Durove, prof. dr hab. inż. Czesława Rosik-Dulewska, czł. koresp. PAN, doc. ing. Richard Snupek, prof. Tomasz S. Wiltowski, prof. dr hab. inż. Teodor Winkler, prof. Valery N. Zakharov

Komitet Kwalifikacyjno-Opiniodawczy: prof. dr hab. Adam Smoliński (przewodniczący), dr hab. inż. Małgorzata Wysocka, prof. GIG (zastępca przewodniczącego), dr hab. inż. Stanisław Chałupnik, prof. GIG, dr hab. inż. Natalia Howaniec, prof. GIG, prof. dr hab. inż. Józef Kabiesz, dr hab. inż. Grzegorz Mutke, prof. GIG, prof. dr hab. inż. Krzysztof Stańczyk, prof. dr hab. inż. Jan Wachowicz

Recenzenci
prof. dr hab. inż. Jan Białek
prof. dr hab. inż. Ryszard Hejmanowski

Redakcja wydawnicza
Małgorzata Kuśmirek-Zegadło

Korekta
Barbara Dusik

Skład, łamanie
Krzysztof Gralikowski

Projekt okładki
Adam Piernikarczyk

ISBN 978-83-65503-23-7

Printed in Poland

All rights reserved
Copyright by Główny Instytut Górnictwa

Sprzedaż wydawnictw Głównego Instytutu Górnictwa prowadzi Zespół Wydawnictw
i Usług Poligraficznych **wydawnictwa.gig.eu**
tel. 32 259-24-03, 32 259-24-04, e-mail: mkusmirek@gig.eu

Katowice, GIG 2020. Ark. wyd. 16,6. Format B5
Druk i oprawa: Zakład Poligraficzny „Węglोगryf”, Katowice

Spis treści

Przedmowa Profesora Józefa Dubińskiego.....	7
Przedmowa autora	8
Ważniejsze definicje.....	9
Ważniejsze oznaczenia	12
1. Wprowadzenie.....	13
2. Problematyka deformacji powierzchni w górnictwie europejskim i światowym.....	15
2.1. Wielka Brytania.....	15
2.1.1. Wstępne informacje	15
2.1.2. Kształtowanie się obniżeń, nachyleń i odkształceń poziomych	15
2.2. Niemcy	21
2.2.1. Armin Hermann Goldreich	21
2.2.2. Oskar Niemczyk.....	22
2.2.3. Helmut Kratzsch.....	25
2.2.4. Współczesne doświadczenia	28
2.3. Rosja i Ukraina.....	35
2.4. Stany Zjednoczone.....	38
2.4.1. Eksploatacja częściowa, komorowo-filarowa.....	38
2.4.2. Eksploatacja systemem ścianowym	42
2.5. Chiny.....	43
2.5.1. Wprowadzenie.....	43
2.5.2. Wysokowydajny system eksploatacji, a ochrona powierzchni.....	44
2.5.3. Deformacje w obszarze górzystym.....	47
2.5.4. Przykłady eksploatacji częściowej.....	48
2.5.5. Metody opisu deformacji powierzchni	51
2.6. Australia.....	52
3. Dolnośląskie Zagłębie Węglowe – wałbrzyskie kopalnie	53
3.1. Geologia.....	53
3.2. Historia górnictwa węgla kamiennego w Wałbrzychu.....	55
3.3. Deformacje powierzchni nad płytką eksploatacją górniczą.....	58
3.4. Eksploatacja górnicza pod stacją i wiaduktem kolejowym, koksownią oraz szybami	63
3.4.1. Wprowadzenie.....	63
3.4.2. Eksploatacja w filarze wiaduktu.....	67
3.4.3. Deformacje wiaduktu.....	68
3.4.4. Prognozowane, a pomierzone deformacje w rejonie wiaduktu	70
3.5. Deformacje powierzchni w filarze ochronnym szybów głównych kopalni Thorez (Julia).....	72
3.6. Deformacje powierzchni po zakończeniu eksploatacji górniczej.....	77
3.6.1. Przemieszczenia pionowe po zakończeniu eksploatacji.....	77
3.6.2. Bazy danych GIS	81

3.7. Inwentaryzacja wyrobisk mających kontakt z powierzchnią.....	82
3.7.1. Wyniki inwentaryzacji	82
3.7.2. Przykłady lokalizacji i stanu wyrobisk mających połączenie z powierzchnią.....	85
3.8. Podsumowanie	88
4. Górnślaskie Zagłębie Węglowe (GZW)	90
4.1. Wprowadzenie	90
4.2. Geologia.....	91
4.3. Historia działalności górniczej.....	95
4.3.1. Eksploatacja złóż rud cynku i ołowiu	95
4.3.2. Początki górnictwa węgla kamiennego – przed rokiem 1945.....	98
4.3.3. Górnictwo węgla kamiennego po roku 1945 i jego współczesna specyfika.....	106
4.4. Deformacje powierzchni w ważniejszych filarach ochronnych.....	109
4.4.1. Eksploatacja z podsadzką hydrauliczną.....	109
4.4.2. Skoordynowana eksploatacja pod śródmieściem Katowic.....	111
4.4.3. Eksploatacja pod śródmieściem Bytomia.....	117
4.4.4. Dzielnica Karb w Bytomiu	125
4.4.5. Dzielnica Miechowice w Bytomiu.....	133
4.5. Eksploatacja częściowa.....	144
4.5.1. Doświadczenia historyczne.....	144
4.5.2. Współczesna eksploatacja częściowa.....	148
4.6. Deformacje nieciągłe powierzchni.....	163
4.6.1. Deformacje nieciągłe typu powierzchniowego – zapadliska	163
4.6.2. Liniowe nieciągłe deformacje powierzchni (LNDP)	167
5. Lubelski Węgiel – kopalnia Bogdanka.....	181
5.1. Geologia i eksploatacja górnicza	181
5.2. Deformacje powierzchni	182
5.2.1. Niecki odwodnieniowe.....	182
5.2.2. Deformacje – wpływy bezpośrednie.....	184
6. Prognozowanie ciągłych deformacji powierzchni i trafność prognoz	187
6.1. Wprowadzenie	187
6.2. Teoria Knothego-Budryka	188
6.2.1. Założenia teorii.....	188
6.2.2. Podstawowe wzory teorii dla niecek ustalonych.....	189
6.2.3. Nieustalone deformacje powierzchni.....	191
6.3. Parametry teorii Knothego-Budryka	196
6.3.1. Parametry dla niecek ustalonych	196
6.3.2. Wartości parametrów.....	202
6.4. Dokładność i trafność prognoz deformacji powierzchni.....	203
6.4.1. Dokładność prognoz.....	203
6.4.2. Trafność prognoz.....	206
6.5. Podsumowanie	210

7. Modelowanie numeryczne deformacji powierzchni	212
7.1. Wstępne informacje o modelowaniu numerycznym deformacji powierzchni	212
7.2. Przykłady modelowania numerycznego deformacji powierzchni	215
7.2.1. Prace prowadzone na Politechnice Śląskiej	215
7.2.2. Modelowanie numeryczne w Głównym Instytucie Górnictwa	219
8. Sztuczna inteligencja – sieci neuronowe	225
8.1. Ogólne informacje	225
8.2. Przykłady zastosowania sieci neuronowych do modelowania obniżeń powierzchni	227
9. Monitoring deformacji powierzchni i obiektów budowlanych	231
9.1. Wprowadzenie	231
9.2. Tensometria strunowa i inklinometry	232
9.2.1. Tensometria strunowa	232
9.2.2. Czujniki laserowe Głównego Instytutu Górnictwa i przykład ich wykorzystania	235
9.3. Urządzenia do ciągłego monitoringu przemieszczeń i deformacji	238
9.4. Skaniny laserowe 3D	243
9.5. Drony	251
10. Deformacje powierzchni pod wpływem podziemnego zgazowania węgla (PZW)	256
10.1. Pożary podziemne, a deformacje powierzchni	256
10.2. Podziemne zgazowanie węgla w światowym górnictwie i jego wpływ na deformacje powierzchni	258
10.3. Podziemne zgazowanie węgla w polskim górnictwie i jego wpływ na deformacje powierzchni	259
10.3.1. Doświadczenia prowadzone w kopalni Mars	259
10.3.2. Doświadczenia prowadzone w kopalni Wieczorek	261
10.4. Prognozowanie deformacji spowodowanych procesem podziemnego zgazowania węgla	264
11. Likwidacja kopalń i tereny pogórnice	265
11.1. Uwarunkowania prawne	265
11.2. Skala problemu terenów pogórnich	266
11.3. Zagrożenia dla powierzchni na terenach pogórnich	267
11.4. Klasyfikacja terenów pogórnich	269
11.5. Sporządzanie map kategorii przydatności terenu pogórnich do zabudowy	272
12. Zasady oceny możliwości prowadzenia eksploatacji górniczej	275
Podsumowanie	279
Literatura	281
Streszczenie	295
Abstract	297
Zusammenfassung	299

*Polskim górnikom,
którzy codziennie zmagają się z siłami natury.*

Przedmowa Profesora Józefa Dubińskiego

Miernictwo górnicze oraz ochrona obiektów budowlanych i terenów górniczych są obszarami nauki, które opierają się na wynikach pomiarów, najczęściej geodezyjnych. Prezentowana monografia jest tego przykładem, bowiem powstała na podstawie bogatych doświadczeń Autora, zbieranych w kopalniach dolnośląskich, górnośląskich i Zagłębia Lubelskiego przez 50 lat pracy naukowej. Monografia zawiera również doświadczenia z zagranicznych kopalń, które znajdowały się w historycznych europejskich zagłębiach węglowych, z kopalń zlikwidowanych w Anglii i Niemczech oraz z czynnych kopalń w Ameryce i Azji.

Należy zwrócić uwagę na dwa istotne problemy, które w ostatnich latach były przedmiotem badań Autora. Pierwszy to prognozowanie deformacji nieustalonych, w tym zwłaszcza opis tych deformacji z zastosowaniem tak zwanej dwuelementowej funkcji czasu, dzięki której można opisywać i prognozować wpływ przerw w eksploatacji na kształtowanie się deformacji powierzchni. Drugi problem to rozpoznanie liniowych nieciągłych deformacji powierzchni (LNDP). Powstawanie tych deformacji jest specyfiką wielokrotnej eksploatacji złóż wielopokładowych doprowadzanych do wspólnej granicy w płaszczyźnie pionowej.

Profesor Andrzej Kowalski jest autorem lub współautorem około 160 publikacji naukowych i kilkuset ekspertyz z zakresu ochrony terenów górniczych. Był i jest ekspertem kopalnianych zespołów do spraw eksploatacji pod ważnymi obiektami na powierzchni, które wymagają szczególnej ochrony.

W ostatnich kilkunastu latach pracy w Głównym Instytucie Górnictwa, z którym Autor jest związany przez cały czas swojej pracy zawodowej, był organizatorem i aktywnym uczestnikiem krajowych i zagranicznych konferencji naukowych. Uczestniczył we wszystkich konferencjach z cyklu Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych oraz Ochrona Środowiska na Terenach Górniczych.

Profesor Andrzej Kowalski z wyboru pełni funkcję przewodniczącego Komisji Ochrony Terenów Górniczych Polskiej Akademii Nauk Oddział w Katowicach, a z nominacji funkcję zastępcy przewodniczącego Komisji do spraw Ochrony Powierzchni przy Wyższym Urzędzie Górniczym.

Z okazji 50-lecia pracy naukowej Profesora Andrzeja Kowalskiego, życzę Jubilatowi zdrowia i wszelkiej pomyślności w życiu rodzinnym, a także dalszej aktywności zawodowej.

Z górniczym pozdrowieniem „Szczęść Boże”

prof. dr hab. inż. Józef Dubiński
czł. rzecz. PAN

*Uczę się ciebie górotworze, powoli się uczę,
powoli. Od tego uczenia trudnego raduje się głowa i boli.
(parafraza wiersza J. Lieberta)*

Przedmowa autora

Monografia jest wcieleniem w życie pomysłu usystematyzowania i spisania w jednej książce wiedzy, doświadczeń i poglądów na temat deformacji powierzchni spowodowanych podziemną eksploatacją górnictw węglą kamiennego. Jest ona podsumowaniem mojej działalności naukowej prowadzonej w Głównym Instytucie Górnictwa, z którym jestem związany przez cały okres mojej 50-letniej pracy zawodowej.

Monografia stanowi uzupełnienie wydanej w roku 2015 książki zawierającej doświadczenia z kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, o doświadczenia z dwóch zagłębi – zlikwidowanego Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego i rozwijającego się Lubelskiego Zagłębia Węglowego (kopalni Bogdanka) oraz o aktualne i nowe wyniki badań.

Nowością w monografii jest między innymi syntetyczny przegląd deformacji powierzchni, które wystąpiły w górnictwie węgla kamiennego w Europie, głównie w Wielkiej Brytanii i w Niemczech. Przedstawiłem proces powstawania i rozwoju deformacji górotworu nad eksploatowanym pokładem węgla kamiennego od stropu do powierzchni terenu, opierając się zarówno na pierwszych historycznych obserwacjach górniczych, jak i na nowych chińskich technologiach eksploatacji i doświadczeniach amerykańskich, w których uwzględnia się ochronę powierzchni.

Inspiracją do napisania monografii były seminaria naukowe, które prowadziłem w ramach Komisji Ochrony Terenów Górniczych Oddział Polskiej Akademii Nauk w Katowicach oraz konferencje naukowe, szczególnie Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych oraz w ramach Komisji Miernictwa Górniczego, Geologii i Ochrony Środowiska przy Zarządzie Głównym Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Górnictwa. Owocne były także dyskusje na posiedzeniach Komisji do spraw Ochrony Powierzchni przy Wyższym Urzędzie Górniczym.

Monografia powstała również dzięki moim współpracownikom z Głównego Instytutu Górnictwa oraz z polskich uczelni i instytutów naukowych, a także z kopalń. Wobec nich wszystkich mam wielki dług wdzięczności. Szczególnie wysoko ceniłem sobie współpracę z moimi zmarłymi już Kolegami z Zakładu Ochrony Powierzchni i Obiektów Budowlanych, prof. Jerzym Kwiatkiem (†2010) i dr. Eligiuszem Jędrzejcem (†2015). Bardzo dziękuję moim Koleżankom i Kolegom z Zakładu za wspieranie mnie przez cały okres mojej pracy zawodowej.

Podziękowania składam Recenzentom prof. Janowi Białkowi i prof. Ryszardowi Hejmanowskiemu za trud opiniowania mojej monografii.

Andrzej Kowalski

WAŻNIEJSZE DEFINICJE

Biedaszyb – pospolite określenie na wykonany w sposób nieprofesjonalny i nielegalny szybik wydobywczy o małej głębokości (do 10 m).

Deformacje ciągłe – zniekształcenia powierzchni terenu, które ilościowo są opisywane przez przemieszczenia pionowe (obniżenia) i poziome oraz ich pochodne – nachylenia, krzywizny i odkształcenia poziome. Wyrażają je funkcje ciągłe, a wskaźnikami są: obniżenia (w), przemieszczenia poziome (u), nachylenia (T), krzywizny pionowe (K) i odkształcenia poziome (ε). Czasami rozróżnia się przemieszczenia i deformacje.

Deformacje nieustalone lub chwilowe – deformacje zmienne w czasie $D(t)$.

Deformacje ustalone lub końcowe – asymptotyczne dla $t \rightarrow \infty$.

Deformacje nieciągłe – przekształcenie powierzchni terenu charakteryzujące się przerwaniem jej ciągłości w postaci: szczeliny, stopnia, spękania, zapadliska (regularne bądź nieregularne leje), których rozmiary zależą od warunków dokonanej eksploatacji.

Dokładność prognozy – określa ją przedział wartości prognozowanego wskaźnika, w którym będzie się zawierać jego średnia wartość z założonym odchyleniem standardowym, określana *a priori*.

Filar ochronny – przestrzeń w górotworze, w której granicach, ze względu na ochronę oznaczonych dóbr, wydobywanie kopaliny nie może być prowadzone, albo może być dozwolone tylko w sposób zapewniający szczególną ochronę tych dóbr.

Funkcja czasu $T(t)$ – funkcja ciągła opisująca przebieg deformacji pochodzącej od eksploatacji elementarnej w zależności od czasu; ma ona asymptotę $T(t \rightarrow \infty) = 1$.

Kategoria odporności obiektu budowlanego na ciągłe deformacje powierzchni – zdolność obiektów do przenoszenia krzywizn $K = R^{-1}$ i poziomych odkształceń ε , przy zachowaniu bezpieczeństwa obiektów i zapewnieniu możliwości ich użytkowania zgodnie z przeznaczeniem w warunkach co najwyżej małej uciążliwości użytkowania. Z uwagi na wpływ krzywizn i poziomych odkształceń powierzchni wprowadzono pięć kategorii odporności (0, 1, 2, 3 i 4).

Kategoria terenu górniczego – intensywność (stopień) przewidywanych lub pomierzonych ciągłych deformacji powierzchni, wyrażona przez przynależność charakteryzujących ją wartości nachyleń, krzywizn i poziomych odkształceń do określonych przedziałów tych wskaźników; wprowadzono sześć kategorii terenu górniczego (0, I, II, III, IV i V).

Tangens kąta rozproszenia wpływów $\text{tg}\beta$ – parametr teorii Knothego-Budryka charakteryzujący właściwości fizyko mechaniczne górotworu.

Lidar (ang. *Light Detection and Ranging*) – urządzenie działające na podobnej zasadzie jak radar, ale wykorzystujące fale świetlne zamiast fal radiowych.

Liniowe nieciągłe deformacje powierzchni (LNDP) – spękania, szczeliny, stopnie lub struktury z nich złożone na powierzchni terenu.

Naturalne rozproszenie losowe wskaźników deformacji – fluktuacje obserwowanego przebiegu wskaźników względem średniego przebiegu, mające charakter procesu losowego.

Obrzeże eksploatacyjne – pas calizny (o szerokości p) wokół granicy pola eksploatacyjnego, o jaki pomniejszane jest pole eksploatacji S uwzględnione w obliczeniach. Dokonuje się w ten sposób symulacji wpływu zmniejszonych obniżeń skał stropowych w pobliżu krawędzi eksploatacyjnych na wielkość obniżeń górotworu. Obrzeże uwzględnia się w celu poprawienia zgodności profili niecek obliczonych z profilami pomierzonymi. Gdy granica zrobów eksploatacji projektowanej przylega do starych zrobów, postępuje się odwrotnie, poszerzając obszar obliczeniowy w stronę tych już istniejących zrobów.

Odchylenie standardowe – miara rozproszenia losowego (wartość pierwiastka kwadratowego z wariancji).

Odporność obiektu – zdolność do przeniesienia oddziaływania górniczego, wyrażona w jednostkach tego oddziaływania lub przez kategorie, przy nieprzekroczeniu określonego stanu technicznego obiektu.

Profilaktyka budowlana – działania i metody dotyczące przystosowywania obiektów budowlanych do oddziaływań górniczych, zmierzającego do uzyskania przez te obiekty wymaganej odporności na wpływy eksploatacji górniczej.

Profilaktyka górnicza – działania i metody dotyczące projektowania i prowadzenia eksploatacji górniczej, zmierzające do zmniejszenia deformacji powierzchni.

Strop bezpośredni – warstwa górotworu zalegająca bezpośrednio nad eksploatowanym pokładem, przy eksploatacji z zawałem stropu tworzy zawał skał i przemieszcza się do wyrobiska.

Strop zasadniczy – warstwa górotworu zalegająca na stropie bezpośrednim, która deformuje się w sposób quasi-ciągły.

Teren górniczy – przestrzeń objęta przewidywanymi szkodliwymi wpływami robót górniczych prowadzonych przez zakład górniczy.

Teren pogórniczy – były teren górniczy niepodlegający wpływom bieżącej i planowanej eksploatacji górniczej (formalnie zlikwidowany teren górniczy), po wygaśnięciu koncesji na wydobywanie kopaliny.

Trafność prognozy wskaźników deformacji – określona *a posteriori*, jej miarą są odchyłki między wartościami prognozowanymi i pomierzonymi wskaźnika deformacji.

Współczynnik czasu – parametr modelu procesu deformacji (nieustalonych) opisujący wpływ czasu na kształtowanie się deformacji, występujący w funkcji czasu.

Zagrożenia górnicze (potencjalne szkody) – przewidywane negatywne wpływy działalności górniczej.

Zasięg wpływów eksploatacji górniczej – granica oddziaływania robót górniczych wyznaczona w stosunku do określonego rodzaju wpływów górniczych.

WAŻNIEJSZE OZNACZENIA

- a – współczynnik eksploatacyjny
- A – parametr uogólnionej funkcji czasu
- B – współczynnik przemieszczeń poziomych Awierszyna
- d – długość frontu eksploatacyjnego, ściany eksploatacyjnej, najczęściej krótszy wymiar ściany
- d, p – obrzeże eksploatacyjne
- $dS = d\xi d\eta$ – pole powierzchni elementu eksploatacji
- D – wskaźnik deformacji
- $D(t)$ – deformacje nieustalone
- D_k – deformacje ustalone, asymptotyczne, albo końcowe ($t = \infty$)
- D_{sr} – średnia wartość wskaźnika deformacji
- D_{rz} – rzeczywista, stwierdzona za pomocą pomiaru, wartość wskaźnika deformacji
- D_{prog} – prognozowana wartość wskaźnika deformacji
- g, M – grubość eksploatowanego pokładu lub warstwy
- H, h – głębokość eksploatacji, zalegania pokładu
- K – krzywizna niecki obniżeniowej
- k – współczynnik dewiacji wpływów
- l – długość bazy pomiarowej
- L – wybieg ściany eksploatacyjnej
- M_D – współczynnik zmienności wskaźnika deformacji
- r – parametr rozproszenia wpływów w teorii Knothego-Budryka ($r = H/\text{tg}\beta$) zwany również zasięgiem wpływów głównych (Knothe, 1984)
- S – pole eksploatowanego pokładu
- t – czas
- t_e – czas wybrania elementu $dX dY$ eksploatacji elementarnej
- T – nachylenie
- $T(t)$ – funkcja czasu
- $\text{tg}\beta$ – parametr górotworu w teorii Knothego-Budryka
- u, v – składowe poziome wektora przemieszczenia
- v – prędkość postępu frontu ścianowego
- w – w nomenklaturze angielskiej wybieg ściany
- w, s – obniżenie
- $w_{\text{max}}, S_{\text{max}}$ – największe możliwe obniżenie terenu, dla dużego pola eksploatacji ($1,5H \times 1,5H$)
- ε – odkształcenie poziome powierzchni
- σ – odchylenie standardowe
- q – funkcja pomocnicza
- λ – współczynnik proporcjonalności przemieszczeń poziomych ($\lambda = B/r$)
- $\Theta(t)$ – zasadniczy człon uogólnionej funkcji czasu

1. Wprowadzenie

Książka jest kontynuacją, a zarazem rozszerzeniem, monografii wydanej w roku 2015 (Kowalski, 2015). Jej rozdziały poświęcone zagłębiom węglowym w Polsce, w których przedstawiono wyniki pomiarów deformacji powierzchni, zostały poprzedzone krótkimi charakterystykami warunków geologicznych i górniczych. Przedstawiono w nich także aktualne zagadnienia badawcze dotyczące tych zagłębi.

Rozdział 2 został poświęcony doświadczeniom zagranicznym z obszaru deformacji powierzchni, w tym krajów takich, jak: Wielka Brytania, Niemcy, Rosja czy Ukraina oraz Stany Zjednoczone i Chiny.

W rozdziale 3 dotyczącym zlikwidowanego Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego, oprócz wyników pomiarów pokazujących specyfikę deformacji w górotworze, w którym karbon występuje blisko powierzchni, przedstawiono problematykę likwidacji kopalń w aspekcie ochrony powierzchni i deformacji powierzchni po zamknięciu i zatopieniu górotworu z wykorzystaniem nowych technologii pomiarowych.

Rozdział 4, najobszerniejszy, obejmuje wyniki pomiarów deformacji w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Opisano doświadczenia z prowadzenia eksploatacji z podsadzką hydrauliczną pod śródmieściem Katowic, zakończoną w roku 1998, a także pod śródmieściem Bytomia, zakończoną w roku 2015 i dokonano analizy procesu zanikania deformacji. Przedstawiono wyniki pomiarów deformacji powierzchni przeprowadzonych w jednej z kopalń, która od wielu lat prowadzi eksploatację z zawalem stropu, a podejmowana tam nowa eksploatacja podlega ograniczeniom górniczym i ograniczeniom związanym z ochroną powierzchni. Nowym zagadnieniem w monografii jest eksploatacja częściowa pokładów węgla kamiennego w zlikwidowanych wcześniej kopalniach, w których prowadzono eksploatację resztek pokładów.

Wieloletnia i wielokrotna eksploatacja złoża wielopokładowego w GZW powoduje powstawanie liniowych nieciągłych deformacji powierzchni (LNDP), które w części są już rozpoznane.

W rozdziale 5 dotyczącym najmłodszego polskiego zagłębia węglowego i działającej tam jedynej kopalni Lubelski Węgiel Bogdanka SA, odniesiono się do wpływu odwadniania górotworu na deformacje powierzchni.

Interpretowane na nowo zarówno niektóre stare doświadczenia, jak i ostatnie nowe, stanowią ośnowę książki, którą uzupełniono o aplikacje teorii Knothego-Budryka – zmodyfikowanej i ciągle rozwijanej (rozdział 6). Jest to teoria empiryczna, którą należy weryfikować na nowych przykładach. Zgodność uzyskiwanych przewidywań teoretycznych z wynikami eksperymentalnymi jest następstwem tego, że wyznacza się parametry teorii – kierując się wynikami przeprowadzonych pomiarów. Zebrane przykłady potwierdzają zarówno trafność stosowania teorii, jak i rozbieżność między praktyką a teorią, co jest źródłem dalszych badań. Nie jest możliwe poznanie w pełni złożoności budowy geologicznej górotworu i zaszłości eksploatacyjnych (stan rzeczywisty), ale można je opisywać, stosując teorię. Dlatego przedstawiono zarówno zalety, jak i wady teorii oraz skutki trafionych i nietrafionych prognoz deformacji powierzchni.

W rozdziale 7 opisano zastosowanie metod numerycznych do opisu deformacji powierzchni, a w rozdziale 8 podejmowane próby wykorzystania sztucznej inteligencji (ang. *artificial intelligence* – AI, *neural network* – sieć neuronowa). Z zastosowaniem tych metod wiąże się duże nadzieje i oczekiwania, o czym świadczą liczne publikacje z ostatnich dwudziestu lat poświęcone tej tematyce.

Do obserwacji i monitoringu deformacji powierzchni i obiektów budowlanych w ostatnich kilkunastu latach, oprócz klasycznej geodezji, stosowane są nowe technologie, takie jak urządzenia do quasi-ciągłego pomiaru, skaning laserowy naziemny i lidar, a także interferometria satelitarna. Przykłady aplikacji tych metod znalazły się w rozdziale 9.

Rozdział 10 dotyczy procesu podziemnego zgazowania węgla (PZW), który jest podejmowany w polskim górnictwie węgla kamiennego w ostatnich kilku latach. Wpływ PZW na deformacje powierzchni nie jest rozpoznawany bezpośrednio za pomocą pomiarów obniżień, natomiast powstają symulacje jego wpływu na deformacje powierzchni.

Tematyce likwidacji kopalń i deformacji pogórnicznych poświęcono rozdział 11. Jest to istotny problem w polskim górnictwie z uwagi na likwidację w ostatnich trzydziestu latach ponad połowy kopalń, zlokalizowanych głównie w północnej części GZW.

Rozdział 12 nawiązuje do *Zasad oceny możliwości prowadzenia podziemnej eksploatacji górniczej z uwagi na ochronę obiektów budowlanych* (Kwiatek i in., 2000) opracowanych w roku 2000 w Głównym Instytucie Górnictwa, które rozszerzono o doświadczenia z ostatnich lat w zakresie dopuszczania i prowadzenia eksploatacji górniczej z uwagi na ochronę obiektów budowlanych.

2. Problematyka deformacji powierzchni w górnictwie europejskim i światowym

2.1. Wielka Brytania

2.1.1. Wstępne informacje

Rozwój wiedzy o deformacjach powierzchni jest związany z rozwojem górnictwa podziemnego. Jedne z pierwszych publikacji dotyczących osiadania (ang. *subsidence*) ukazały się na początku XX wieku w Wielkiej Brytanii, a potem w Niemczech. Ich autorami byli: w roku 1903 Halbaum, w roku 1905 Bulman, a w roku 1916 Young i Stoeck (Whittaker i Reddish, 1989). Jednak znaczący rozwój badań i pomiarów deformacji nastąpił dopiero w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych XX wieku, czego efektem była pierwsza edycja w roku 1965 i druga w roku 1975 *Subsidence Engineers Handbook* (SEH), wydanego przez National Coal Board (NCB). Znalazły się tam zestawienia danych geologicznych i górniczych oraz wyniki pomiarów geodezyjnych deformacji powierzchni, a także formuły empiryczne obliczania wskaźników deformacji.

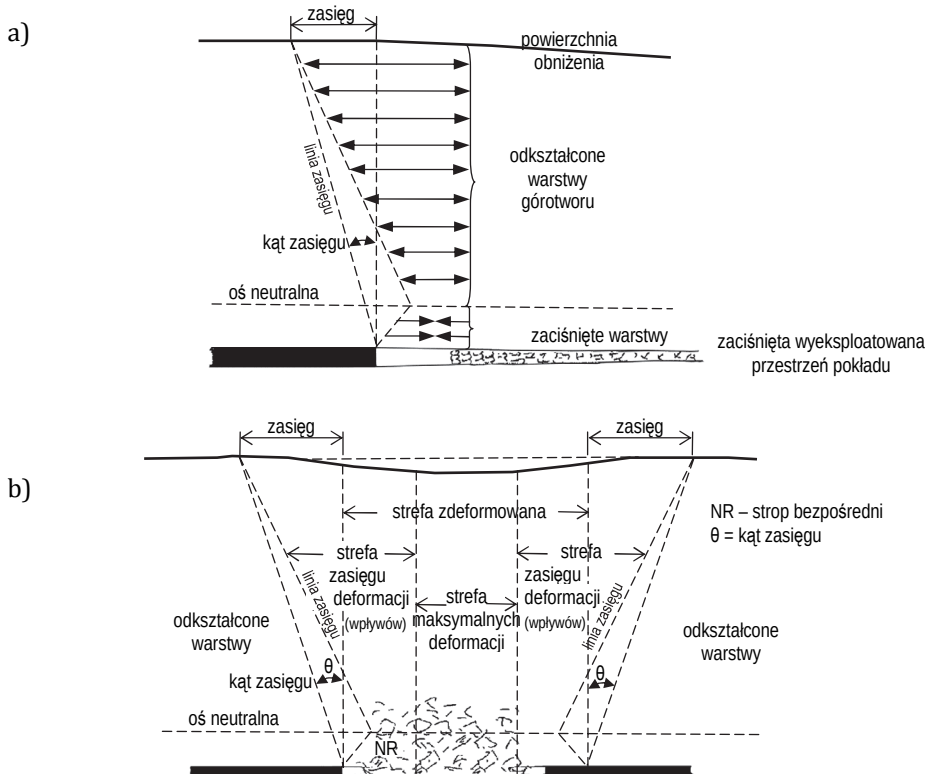
Podsumowaniem angielskich wyników badań dotyczących osiadania (obniżień) terenu górniczego (i deformacji) była wydana w roku 1989 monografia autorstwa D. N. Whittakera i D. J. Reddish, która opierała się na doświadczeniach NCB. Były to doświadczenia z eksploatacji podziemnej prowadzonej na głębokości od 24 do 855 m; dominowała głębokość 100–400 m, a średnia głębokość wynosiła 271 m. Była to eksploatacja pokładów o małej grubości, głównie niecek niepełnych. Niecka pełna występuje, gdy krótszy wymiar pola ścianowego w (ang. *width*) jest większy od $1,4h$ (gdzie h jest głębokością).

2.1.2. Kształtowanie się obniżień, nachyleń i odkształceń poziomych

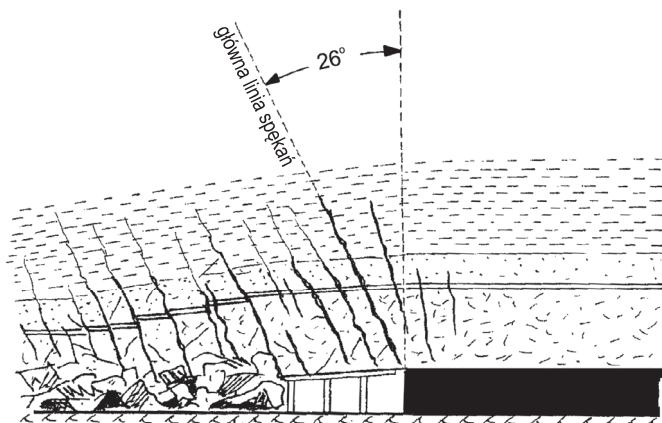
Doświadczenia angielskie są również interesujące z uwagi na formę przedstawiania procesu deformacji górotworu nad eksploatowanym pokładem węgla kamiennego (rys. 2.1.1), z uwzględnieniem deformacji stropu bezpośredniego, strefy deformacji nadległego górotworu, występowania linii zawału skał i zasięgu deformacji. Na uwagę zasługuje przedstawienie osi neutralnej nad eksploatowanym pokładem, która rozdziela w górotworze strefę ściskania od strefy rozciągania.

Kolejne obserwacje deformacji stropu bezpośredniego nad eksploatowanym pokładem węgla kamiennego były również inspirujące (rys. 2.1.2), bo dotyczyły eksploatacji pokładu o grubości $M = 0,94$ m na głębokości $h = 600$ m.

Istotne było występowanie strefy zawału bezpośredniego o wysokości równej dwukrotnej grubości eksploatowanego pokładu, kąta zawału skał wynoszącego 26° , wspornika nad przestrzenią wyeksploatowaną oraz strefy spękań.



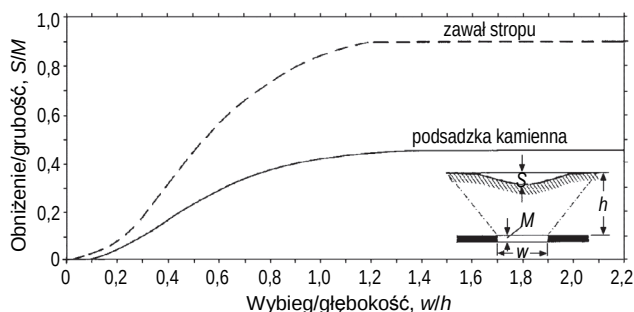
Rys. 2.1.1. Powstawanie deformacji górotworu i obniżenia powierzchni według Halbauma: a – podział stref deformacji, b – terminologia (Whittaker i Reddish, 1989)



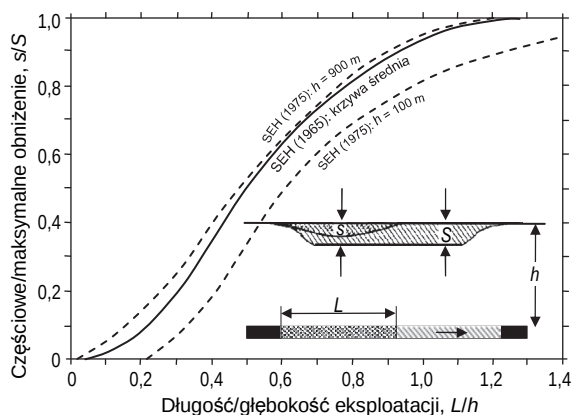
Rys. 2.1.2. Deformacje górotworu pod wpływem eksploatacji pokładu na głębokości 600 m (Whittaker i Reddish, 1989)

W SEH, oprócz wyników pomierzonych deformacji, przedstawiono empiryczną metodę prognozowania deformacji powierzchni, w formie tabel, wykresów i formuł empirycznych. Zostały one opracowane na podstawie uśrednienia danych (parametrów eksploatacji i wyników wskaźników deformacji) z 165 linii pomiarowych.

Zestandaryzowaną zależność między współczynnikiem (będącym ilorazem największego obniżenia powierzchni do grubości wybranego pokładu) a ilorazem wymiaru długości ściany przez głębokość eksploatacji, ilustruje wykres (rys. 2.1.3). Na rysunku 2.1.4 natomiast przedstawiono zależność między współczynnikiem eksploatacyjnym, a ilorazem wybiegu ściany eksploatacyjnej i głębokości eksploatacji.



Rys. 2.1.3. Zależność między ilorazem obniżenia i grubości eksploatacji S/M , a ilorazem długości ściany eksploatacyjnej i jej głębokości w/h , na podstawie obserwacji do roku 1965 (Whittaker i Reddish, 1989)

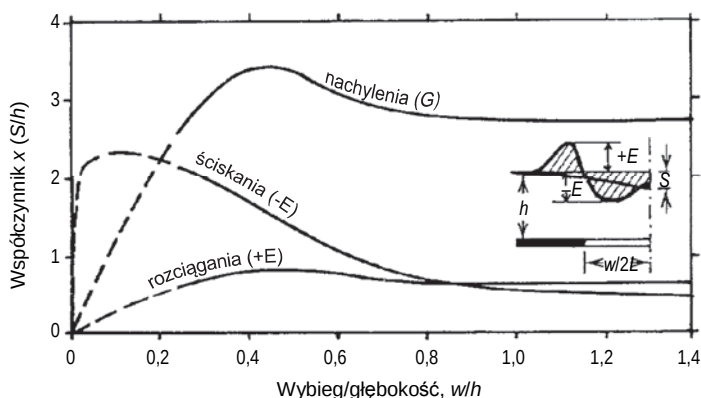


Rys. 2.1.4. Zależność między ilorazem częściowego i maksymalnego obniżenia s/S , a ilorazem długości ściany eksploatacyjnej i głębokości eksploatacji L/h , na podstawie obserwacji z roku 1965 i 1975 (Whittaker i Reddish, 1989)

Dla przykładu eksploatacji, którą charakteryzują następujące parametry: $M = 1,5$ m, $h = 300$ m, $w = 200$ m, $L = 150$ m, maksymalne obniżenie powierzchni

obliczone na podstawie rysunku 2.1.3 dla nieskończonego paska o wymiarach $w/h = 0,67$ osiąga wartość $S = 1,5 \text{ m} \times 0,64 = 0,96 \text{ m}$. Wartość ta odpowiada teoretycznemu wybiegowi $L \geq 1,4h$. Natomiast, gdyby wybieg tej samej ściany został ograniczony do $L = 150 \text{ m}$, wtedy dla ilorazu $L/h = 150/300 = 0,5$ z rysunku 2.1.4 odczyta się wartość $s/S = 0,48$. Wówczas obniżenie powierzchni w środku niepełnej niecki obniżeniowej osiągnie wartość $s = 0,48 \times 0,96 \text{ m} = 0,46 \text{ m}$.

Z wykorzystaniem wykresów zamieszczonych na rysunku 2.1.5 obliczono ekstremalne wskaźniki deformacji powierzchni: obniżenia, maksymalne nachylenia, odkształcenia poziome o charakterze rozciągania i ściskania. Dane geologiczne i górnicze dla kolejnego przykładu były następujące: szerokość ściany $w = 200 \text{ m}$, głębokość $h = 400 \text{ m}$, $M = 2 \text{ m}$. Obliczone obniżenia wynoszą: dla nieskończonego paska o wybiegu $1,4w/h$ (rys. 2.1.3) maksymalne $S = 1,8 \text{ m}$, a dla wybiegu 150 m po standaryzacji $150/300 = 0,5$ będzie wynosiło $0,45 \times 2,0 \text{ m} = 0,9 \text{ m}$ i wystąpi w środku pola prostokąta o wymiarach $150 \text{ m} \times 200 \text{ m}$.



Rys. 2.1.5. Współczynniki określające wartości nachyleń i odkształceń poziomych (SEH, 1975)

Pozostałe wskaźniki deformacji powierzchni (wykresy na rys. 2.1.5), wyznaczone na podstawie zależności empirycznych, będą kształtować się następująco:

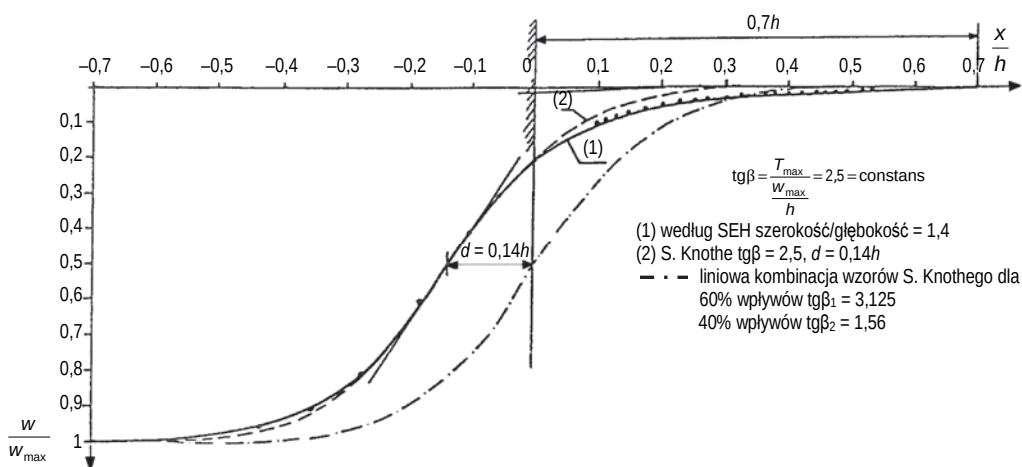
- Maksymalne nachylenie dla ściany eksploatacyjnej o długości 200 m , czyli $w/h = 0,5$ i uwzględniając wartość współczynnika dla nachyleń z wykresu (rys. 2.1.5) wynoszącego $3,35 \text{ (mm/m)/m}$ oraz przyjmując $S = 1,8 \text{ m}$, wartość nachylenia będzie równa $1,8 \text{ m} \times 3,35 \text{ (mm/m)/m} = 6,0 \text{ mm/m}$; wystąpi na krawędzi ściany eksploatacyjnej.
- Maksymalne odkształcenia poziome – rozciągania dla $w/h = 0,5$ oraz uwzględniając wartość współczynnika dla odkształceń poziomych z wykresu (rys. 2.1.5) wynoszącego $0,8 \text{ (mm/m)/m}$ będzie wynosić $1,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ (mm/m)/m} = +1,4 \text{ mm/m}$; wystąpią 200 m przed krawędzią eksploatacyjną.

- Minimalne odkształcenia poziome – ściskania dla $w/h = 0,5$ oraz uwzględniając wartość współczynnika dla odkształceń poziomych z wykresu (rys. 2.1.5) wynoszącego $1,35 \text{ (mm/m)/m}$ będzie wynosić $1,8 \text{ m} \times 1,35 \text{ (mm/m)/m} = -2,4 \text{ mm/m}$; wystąpią 8 m za krawędzią eksploatacyjną.

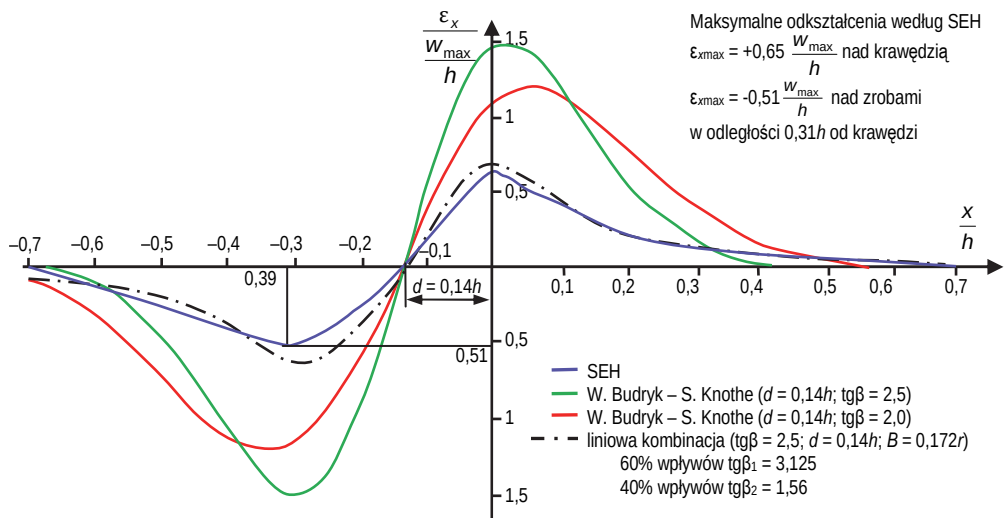
Dla porównania największe obniżenie obliczone dla przeciętnych warunków polskich, które opisują parametry $a = 0,9$ i $\text{tg}\beta = 2,0$ oraz dla paska o szerokości 200 m i nieskończonym wybiegu, wynosi $w = 1,42 \text{ m}$, nachylenie na krawędzi paska $T = 8,6 \text{ mm/m}$, $E_{\max} = +3,4 \text{ mm/m}$ i wystąpi 160 m przed frontem ściany eksploatacyjnej, $E_{\min} = -6,8 \text{ mm/m}$ i wystąpi w środku ściany eksploatacyjnej (paska).

Szerszą analizę wyników angielskich badań i ich porównanie z wynikami polskich badań przedstawił Białek (1996), który zauważył, że:

- Angielską metodę SEH wykorzystuje się do opisywania obniżeń, odkształceń poziomych i krzywizn terenu górniczego wskutek eksploatacji ścianowej pokładu węgla kamiennego. Jej wyniki są bardzo interesujące z uwagi na obszerny opis niepełnych niecek obniżeniowych, które w Polsce, przy prowadzeniu głębokiej eksploatacji, stanowią najczęściej występujący rodzaj niecek.
- Deformacje są zależne od: geometrii pola eksploatacyjnego, grubości g , rozmiarów pola w i wybiegu L oraz głębokości eksploatacji h . Nie występują parametry charakteryzujące budowę i stopień naruszenia górotworu.
- Opis wymienionych wskaźników deformacji występuje też w formie wykresów (rys. 2.1.6, rys. 2.1.7) i tabel. Opisywane są głównie deformacje wskutek wybrania pasa pokładu o szerokości w i znacznej w porównaniu z głębokością długości (wybiegu) L . W przypadku, gdy $L < 1,4h$, stosowana jest odpowiednia funkcja $F(L/h)$ przedstawiona na rysunku 2.1.4.



Rys. 2.1.6. Profil niecki obniżeniowej według metody SEH i niecki opisanej dwoma parametrami $\text{tg}\beta$ (Białek, 1996)



Rys. 2.1.7. Profil odkształceń poziomych według metody SEH, opisany dwoma parametrami $\operatorname{tg}\beta$ (Białek, 1996)

W konkluzji Białek (1996, s. 251) stwierdził, że (...) *profil pełnej niecki obniżeniowej wynikający z badań angielskich różni się od profilu przyjmowanego w Polsce*, bo:

1. Profil niecki charakteryzuje nieco większe obniżenie maksymalne pełnej niecki obniżeniowej $a = 0,9$ dla zawалу i $0,45$ dla podsadzki suchej (pneumatycznej).
2. Profil ten jest przesunięty w stronę zrobów o wielkość $d = 0,14h$. Jest to przesunięcie dwukrotnie większe od średniego przyjmowanego w Polsce.
3. Pełna niecka obniżeniowa występuje wtedy, gdy mniejszy wymiar eksploatowanego pola jest większy od $1,4h$. Wówczas deformacje zanikają w odległości średnio $1,4r$ (gdzie r jest parametrem Knothe).
4. Dla takiej samej głębokości eksploatacji i takim samym $w_{\max}$ maksymalne nachylenie profilu niecki jest o około 25% większe od najczęściej przyjmowanego maksymalnego nachylenia w Polsce.
5. Dla opisu pełnych niecek obniżeniowych możliwa jest dosyć dokładna aproksymacja wyników uzyskanych z wykorzystaniem metody SEH, przy pomocy liniowej kombinacji wzorów Knothe, z zastosowaniem metody Białka (1993). W tym celu należy:
 - a) przesunąć krawędź eksploatacji o szerokość obrzeża $d = 0,14h$;
 - b) obliczyć wpływy D (wskaźniki deformacji) za pomocą wzorów Knothe:
 - wpływy D_1 oblicza się, przyjmując $\operatorname{tg}\beta = 3,125$, $a = 0,9$, $B = 0,172(h/3,125)$,
 - wpływy D_2 oblicza się, przyjmując $\operatorname{tg}\beta = 1,56$, $a = 0,9$, $B = 0,172(h/1,56)$;
 - c) wykonać aproksymację wpływów SEH, sumując 60% wpływów D_1 i 40% wpływów D_2 , tak więc $D = 0,6D_1 + 0,4D_2$.

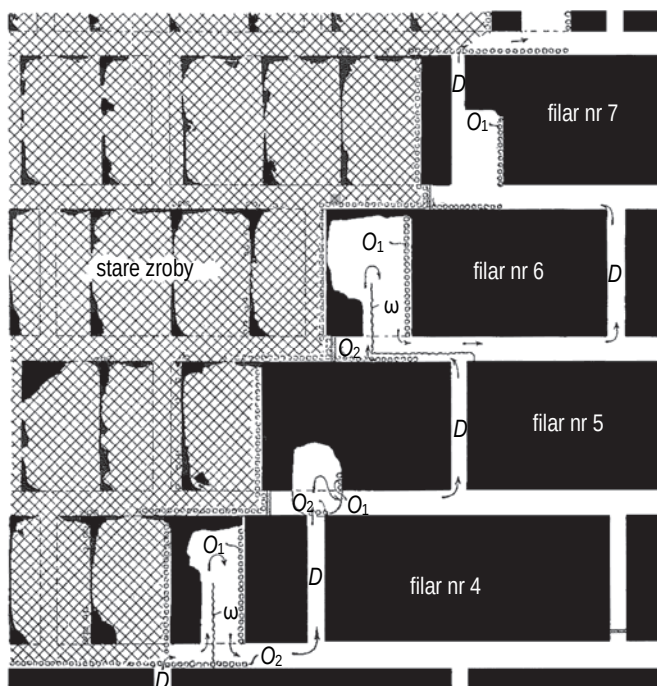
2.2. Niemcy

Wiedza o górniczych deformacjach powierzchni w Niemczech jest bardzo bogata, co znalazło odzwierciedlenie w wydanych monografiach i licznych artykułach. Za kamienie milowe można uznać pierwszą monografię Goldreicha (1926), potem Niemczyka (1949) i Kratzscha (ostatnie piąte wydanie w 2008 r.), a także publikacje Sroki, głównie te pochodzące z roku 1993 i 1999.

W roku 2018 zakończono podziemną eksploatację w niemieckich kopalniach węgla kamiennego.

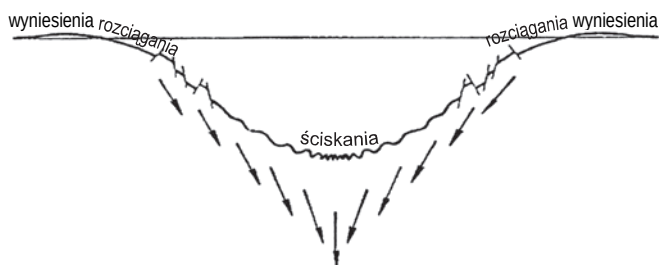
2.2.1. Armin Hermann Goldreich

W monografii Goldreicha (1926) znajdują się (jedne z pierwszych) opisy eksploatacji z podsadzką hydrauliczną, prowadzonej pod ważnymi obiektami użyteczności publicznej (kościołem, drogą) w trzech grubych pokładach na Górnym Śląsku. Scharakteryzowano stosowane wówczas systemy eksploatacji i podano wyniki pierwszych pomiarów geodezyjnych obniżień powierzchni. Na rysunku 2.2.1 przedstawiono schemat eksploatacji prowadzonej systemem śląskim (filarowo-zabierkowym z zawałem stropu z tzw. nogą-płotem).



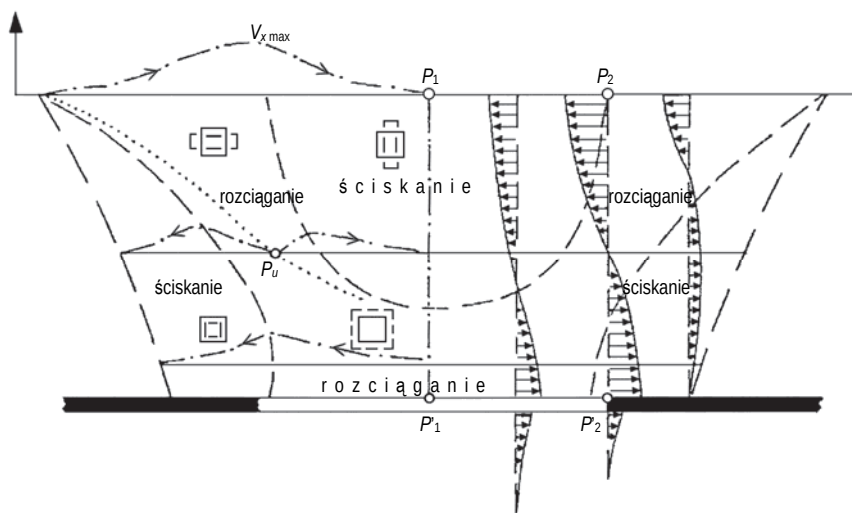
Rys. 2.2.1. Eksploatacja systemem śląskim filarowo-zabierkowym z tzw. nogą-płotem (Goldreich, 1926)

Schematyczny obraz tworzenia się niecki spowodowanej górniczą eksploatacją na podstawie obserwacji Lehmana (przed 1938 r.) przedstawiono na rysunku 2.2.2. Rysunek jest ciekawy z tego względu, że przedstawia rejony występowania na powierzchni pod wpływem eksploatacji zarówno poziomego rozciągania powodującego stopnie i szczeliny, jak i ściskania (wypiętrzenia lub progi). Ponadto wskazano możliwość występowania nieznacznego wyniesienia powierzchni w brzeżnych rejonach niecki obniżeniowej.



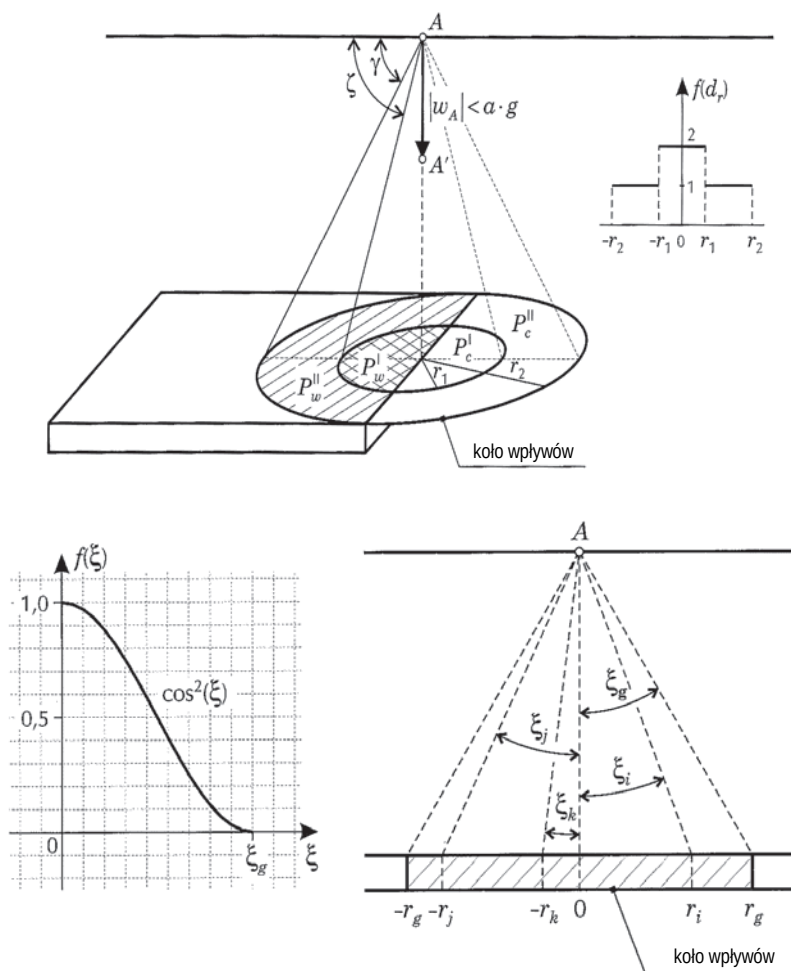
Rys. 2.2.2. Górnicza niecka obniżeniowa (obniżenia i wektory przemieszczenia) według Lehmana (za: Niemczyk, 1949)

Na rysunku 2.2.3 przedstawiono graficzną interpretację pionowego rozciągania i ściskania w górotworze, a także linie obojętne (między deformacjami o przeciwnych znakach), odkształcenia postaciowe i linie największych odkształceń rozciągających i ściskających, a na powierzchni przemieszczenia poziome. Przeszaczkowania poziome oznaczone są jako $V_{x \max}$.



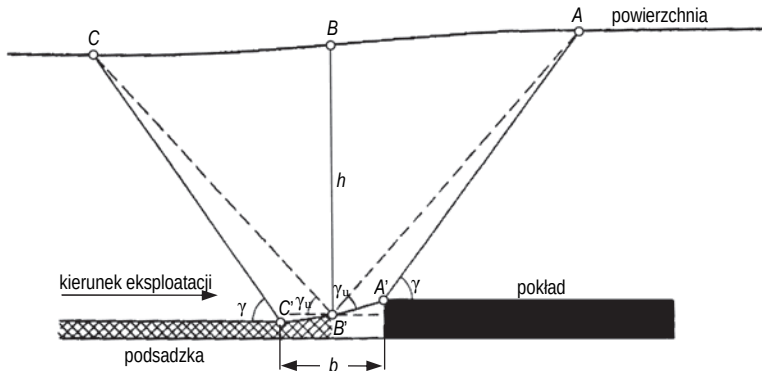
Rys. 2.2.3. Strefy pionowego (odkształcenia) ściskania i rozciągania w górotworze (Bals, 1932 za: Niemczyk, 1949)

Jako pierwszy do opisu deformacji powierzchni tzw. funkcję wpływu zaproponował w roku 1923 Schmitz (za: Borecki, 1980). Potem postać funkcji ulegała zmianom. W literaturze bardziej znane są funkcje wpływów Keinhorsta (1925) i Balsa (1932). Ich postaci – schematy przedstawiono na rysunku 2.2.4.

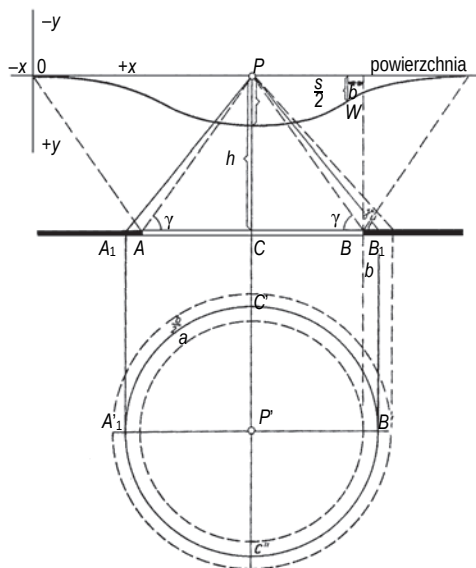


Rys. 2.2.4. Idee funkcji wpływów Keinhorsta (u góry) i Balsa (na dole) (Ostrowski, 2015)

Położenie krawędzi eksploatacyjnej i jej wpływ na kształtowanie się kąta zasięgu deformacji było uwzględniane dość wcześnie, już w roku 1931. Na rysunku 2.2.5 przedstawiono położenie frontu eksploatacyjnego dla eksploatacji pokładu węgla kamiennego z podsadzką suchą, natomiast na rysunku 2.2.6 interpretację przesunięcia krawędzi eksploatacyjnej w celu uzyskania zgodności obniżen obliczonych teoretycznie z pomierzonymi, o wartość $b/2$ (w Polsce nazywaną obrzeżem eksploatacyjnym, oznaczanym najczęściej symbolem p).



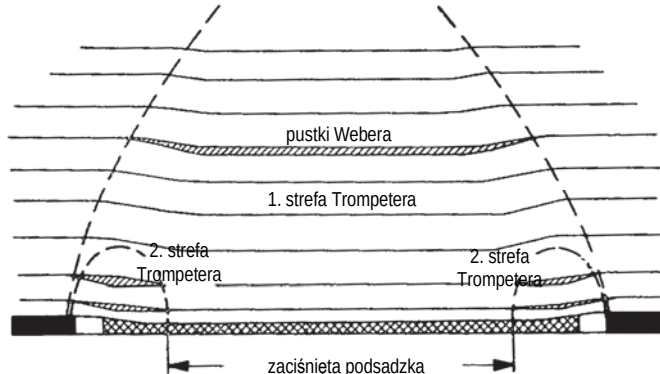
Rys. 2.2.5. Schemat podszadzenia wyrobiska ścianowego według Beyera (Niemczyk, 1949)



Rys. 2.2.6. Uwzględnianie położenia krawędzi eksploatacyjnej w wyrobisku z podszadką suchą (Niemczyk, 1949)

Z rysunków 2.2.5 i 2.2.6 wynika, że pole eksploatacyjne, które przyjmuje się do obliczeń (tzw. eksploatacja aktywna), powinno być pomniejszone o wartość odpowiadającą odcinkowi b , dla dużej powierzchni eksploatacji (o promieniu, co najmniej $2R$, gdzie R jest promieniem wpływów granicznych).

Kolejne doświadczenia z kształtowania się deformacji górotworu nad eksploatacją z podszadką suchą przedstawiono na rysunku 2.2.7, na którym wyróżniono strefy pustek Trompetera nad eksploatacją (1. strefa) i w rejonie krawędzi (2. strefa), która powstaje w rejonie ugięcia stropu zasadniczego nad krawędzią eksploatacji.



Rys. 2.2.7. Pierwsza i druga strefa Trompetera dla eksploatacji górniczej z zastosowaniem podsadzki suchej (Niemczyk, 1949)

2.2.3. Helmut Kratzsch

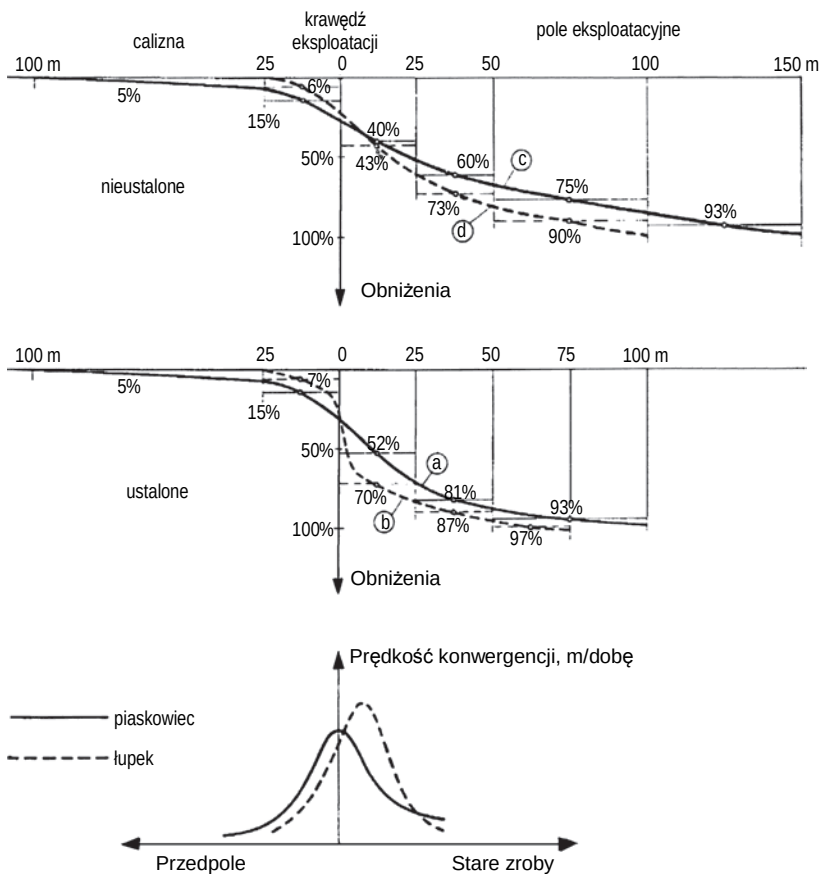
Monografia Kratzscha (2008) przedstawia aktualny stan wiedzy, głównie pochodzącej z górnictwa niemieckiego, dotyczącej ruchów górotworu, a także działań podejmowanych w celu ograniczania deformacji powierzchni i szkód górniczych.

Dla poznania deformacji powierzchni szczególne znaczenie mają przykłady ich kształtowania się. W roku 1956 Hoffmann (Kratzsch, 2008) zaobserwował, że warstwy stropu zasadniczego podczas eksploatacji z zawałem stropu, przemieszczają się analogicznie jak warstwy stropu bezpośredniego przy eksploatacji z podsadzką. Wynika stąd wpływ skał stropowych na kształtowanie się przemieszczeń górotworu (rys. 2.2.8).

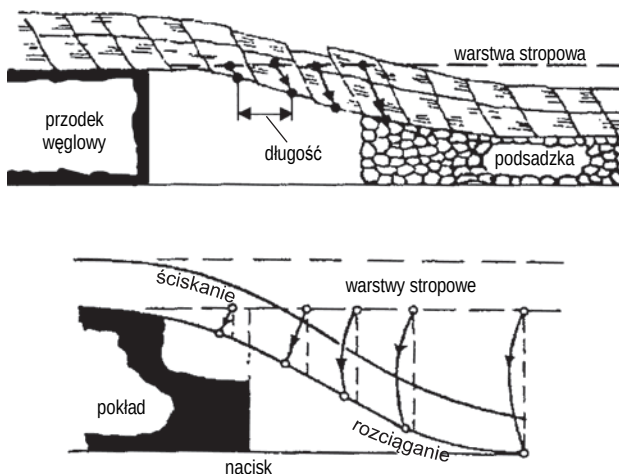
Kolejny przykład deformacji warstw górotworu w stropie bezpośrednim nad eksploatacją prowadzoną z podsadzką suchą ilustruje rysunek 2.2.9, na którym przedstawiono ruch punktów w wybranej przestrzeni – obniżen i przemieszczeń poziomych oraz deformacji.

Od kilkudziesięciu lat w niemieckich kopalniach do prognozowania deformacji powierzchni stosuje się metodę Erhardta-Sauera, znaną również jako metoda Ruhrkohle, która jest zbieżna z teorią Knothego-Budryka. Teoria Knothego-Budryka została opublikowana w roku 1953, a metoda Ruhrkohle w roku 1961.

W metodzie Ruhrkohle obniżenie powierzchni osiąga maksymalną wartość, jeśli zostanie wyeksploatowany pokład węgla kamiennego o promieniu R , któremu odpowiada kąt graniczny γ (rys. 2.2.5). Metoda Ruhrkohle jest matematycznie identyczna z założeniami funkcji wpływów Knothego, została jedynie inaczej sparametryzowana przez przyjęcie innej niż u Knothego definicji kąta granicznego (Sroka, 1994).



Rys. 2.2.8. Przebieg obniżen skał stropowych podczas eksploatacji z podsadzką lub zawałem stropu i dobowe prędkości konwergencji pola eksploatacyjnego (Kratzsch, 2008)



Rys. 2.2.9. Schemat przemieszczeń punktów pionowych w stropie bezpośrednim (Kratzsch, 2008)

Eksploatacja górnicza dużego pola (pasa o szerokości $2R$) spowoduje największe obniżenie $0,9976w_{\max}$, a w odległości R od krawędzi eksploatacyjnej wystąpienie obniżeń wynoszących $0,0012w_{\max}$.

W teorii Knothego-Budryka promień rozproszenia wpływów oznaczany jest przez r , i jest nieco krótszy, odpowiada mu kąt β . W praktyce dla eksploatacji w kształcie pasa o szerokości $2r$ największe obniżenie w jego środku wyniesie $0,9878w_{\max}$, a w odległości r od krawędzi eksploatacyjnej obniżenie będzie $0,006w_{\max}$.

Zależność między promieniami zasięgu wpływów głównych w Niemczech i Polsce wyraża wzór

$$R = 1,21r \text{ lub } r = 0,826R \quad (2.2.1)$$

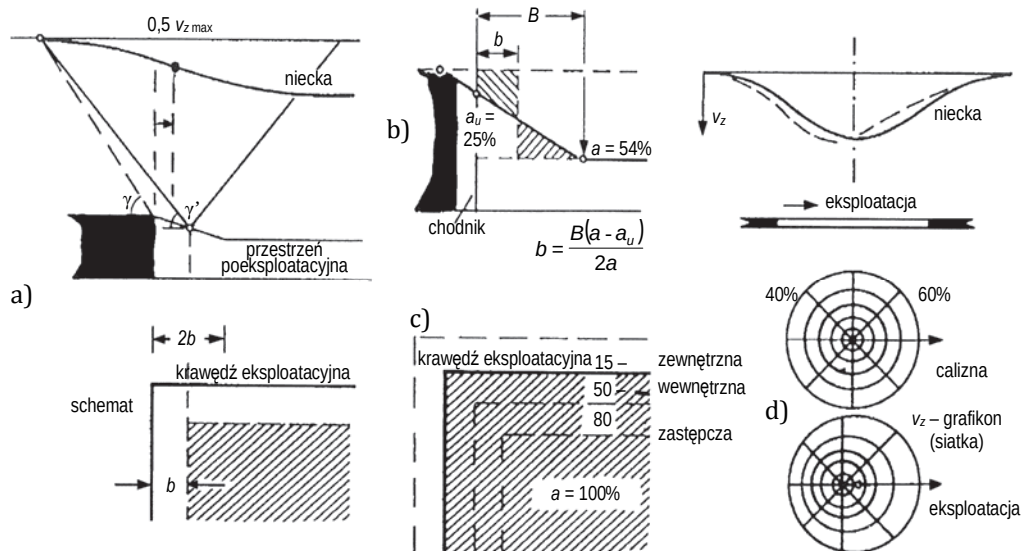
W komentarzu do interpretacji promieni zasięgu R i r zwraca się uwagę, że nie należy ich utożsamiać z zasięgiem wpływów eksploatacji (brakiem obniżeń i/lub przemieszczeń poziomych), który jest większy. Promienie R i r należy traktować jako parametry skali poziomej, bo rozkłady wskaźników deformacji przedstawia się najczęściej w układzie bezwymiarowym (odległości zestandaryzowanej: x/R lub x/r).

W Niemczech do prognoz deformacji ustalonych przyjmowano dawniej stałe wartości parametrów, które wynosiły: współczynnik eksploatacyjny $a = 0,9$, a parametr górotworu $\text{tg}60^{\text{gon}}$, albo $\text{tg}59^{\circ}$ (Sroka, 1999). Obecnie coraz częściej wyznacza się parametry, które dają lepszą zgodność między pomierzonymi, a obliczonymi przemieszczeniami i/lub odkształceniami.

Z przykładów występowania niecek obniżeniowych w górotworze i na powierzchni, pomierzonych i teoretycznie dopasowanych, wynika potrzeba uwzględniania tzw. obrzeża eksploatacyjnego, które można uzyskać przez (rys. 2.2.10):

- przesunięcie krawędzi eksploatacyjnej w stronę zrobów o wartość obrzeża (a), zastąpienie linii ugięcia stropu odcinkiem linii prostej (b),
- utworzenie niecki stropowej w postaci linii łamanej, której odpowiada 15, 50, 80 i 100% wartości współczynnika eksploatacyjnego (c),
- utworzenie ekscentrycznych stref wpływów, od strony calizny 40%, od strony eksploatacji 60% (d).

Reasumując, wpływ eksploatacji w rejonie krawędzi eksploatacyjnej można uwzględnić w opisie teoretycznym najprościej przez cofnięcie krawędzi w stronę zrobów o pewną wartość p lub przez zastąpienie krzywej obniżenia stropu linią łamaną.



Rys. 2.2.10. Korekta położenia krawędzi eksploatacyjnej dla dopasowania obniżeń teoretycznych do pomierzonych: a – schemat eksploatacji i niecki obniżeniowej, b – krawędź eksploatacyjna, c – schemat pola eksploatacji, d – grafikony obniżeń (Kratzsch, 2008)

2.2.4. Współczesne doświadczenia

2.2.4.1. Prędkość eksploatacji

Specyfikę niemieckiego podziemnego górnictwa węgla kamiennego sprzed dwudziestu lat obrazują następujące dane (średnie wartości) geologiczno-górnictwe (Sroka, 1999):

- głębokość eksploatacji $H = 1054$ m,
- eksploатовana miąższość warstwy pokładu $g = 1,57$ m,
- długość wyrobiska ścianowego $d = 275$ m,
- współczynnik eksploatacyjny $a = 0,9$,
- kąt wpływów granicznych $\gamma = 60$ gradów, która odpowiada kątowi zasięgu wpływów głównych $\beta = 59^\circ$, czyli parametrowi $\operatorname{tg}\beta = 1,66 \approx 1,7$.

Eksploatacja jest prowadzona z zawałem stropu. Prędkość ścian eksploatacyjnych jest zmienna od 1,5 do 24,4 m/dobę. W przybliżeniu maksymalne obniżenie powierzchni nad ścianą eksploatacyjną dla wymienionych wyżej średnich wartości wynosi 520 mm.

Według Sroki podstawowym czynnikiem wpływającym na szkody w obiektach budowlanych w Niemczech jest prędkość narastania deformacji.

Pierwszy algorytm określania dopuszczalnej prędkości eksploatacji z uwagi na ochronę obiektów budowlanych został opracowany przez Srokę (1993,

1995, 1996, 1999). Podstawę algorytmu stanowiło założenie, że obiekty o większej odporności na deformacje mogą być poddawane większym prędkościom narastania deformacji niż obiekty mniej odporne, przy nieprzekroczeniu dla danego obiektu deformacji dopuszczalnych:

$$\begin{aligned} D_{\text{dop}} &\geq D_{\text{max}}(v) \\ V_D(G) &\geq D_{D_{\text{max}}}(v) \end{aligned} \quad (2.2.2)$$

gdzie:

- D_{dop} – maksymalna dopuszczalna wartość wskaźnika deformacji, np. ϵ , T i K , wynikająca z odporności obiektu na deformacje, określana indywidualnie lub na podstawie klasyfikacji odporności,
- D_{max} – maksymalna prognozowana wartość wskaźnika deformacji,
- G – graniczna (dopuszczalna) wartość wskaźnika deformacji,
- $V_D(G)$ – dopuszczalne wskaźniki charakteryzujące prędkość narastania, np. obniżeń lub odkształceń poziomych (tab. 2.2.1),
- $V_{D_{\text{max}}}$ – maksymalna prognozowana prędkość narastania deformacji,
- v – prędkość eksploatacji.

Tabela 2.2.1. Kryterialne wartości wskaźników narastania deformacji (Sroka, 1999)

Kategoria	Prędkość obniżeń mm/dobę	Przyspieszenie obniżeń mm/dobę ²	Prędkość odkształceń poziomych (mm/m)/dobę	Δw^* mm
0	1	0,002	0,005	0,15
I	3	0,020	0,015	0,50
II	6	0,080	0,030	1,00
III	12	0,250	0,060	2,00
IV	18	0,500	0,100	3,00

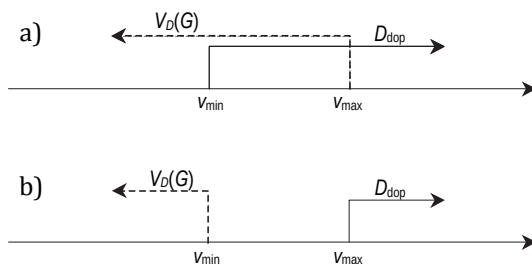
* Δw – wartość zniekształcenia obniżeń wskutek postojów ścianowych.

Znając dopuszczalne deformacje dla obiektu chronionego D_{dop} i $V_D(G)$ oraz deformacje prognozowane dla eksploatacji projektowanej w rejonie chronionego obiektu, tj. ekstremalne deformacje D_{max} i $V_{D_{\text{max}}}$, można znaleźć taką prędkość eksploatacji v , aby było spełnione równanie (2.2.3) (rys. 2.2.11)

$$v = V_w(G)r \quad (2.2.3)$$

gdzie r jest promieniem rozproszenia wpływów głównych w teorii Knothego-Budryka, zaś

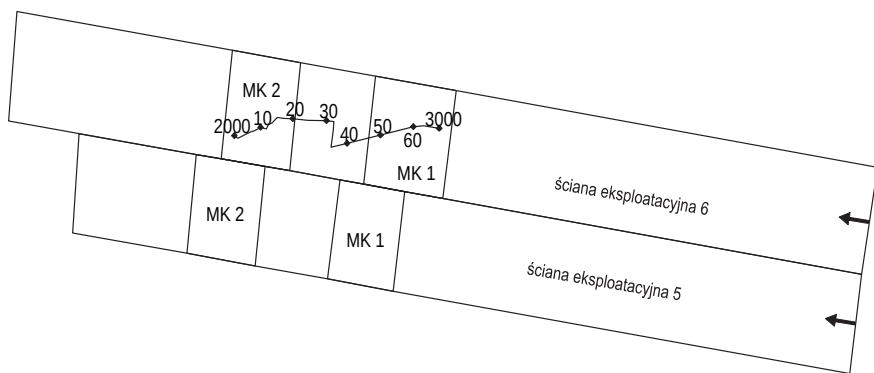
$$V_w(G) = \frac{\dot{w}}{w_{\text{max}}} \quad (2.2.4)$$



Rys. 2.2.11. Schemat określania prędkości eksploatacji w zależności od dopuszczalnych deformacji D_{dop} i prędkości ich narastania $V_D(G)$ (Sroka, 1993)

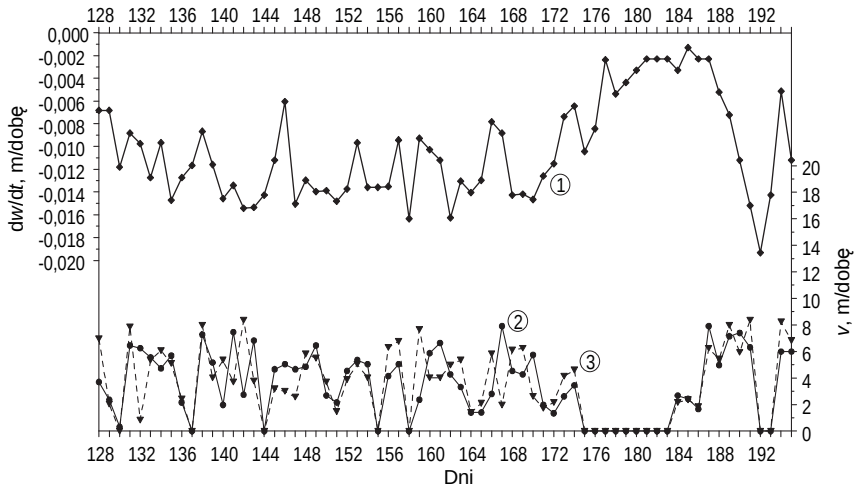
Wzór (2.2.3) określa prędkość eksploatacji dla unormowanej względem w_{max} prędkości narastania obniżeń. Przykładowo dla $w_{max} = 1,0$ m i przyjmując $V_w(G) = 12$ mm/dobę = 0,012 m/dobę i $r = 300$ m, obliczona dopuszczalna prędkość eksploatacji wynosi 3,6 m/dobę. Dla wartości w_{max} większej lub mniejszej od 1,0 m należy dokonać przeliczenia według wzoru (2.2.4).

Drugim problemem związanym z prędkościami frontu ścianowego są przerwy (sobotnio-niedzielne) w eksploatacji, gdyż powierzchnia terenu reaguje niemal bez zwłoki na postęp lub zatrzymanie frontu ścianowego. Spostrzeżenia te były potwierdzane w latach 1998–1999 w kolejnych pomiarach obniżeń w kopalni Ens Dorf w Zagłębiu Saary (Kowalski, 2007). Pomiary wykonywano w celu obserwacji wpływu na powierzchnię eksploatacji z zawalaniem stropu dwóch ścian, prowadzonej na głębokości około 1000 m (rys. 2.2.12).

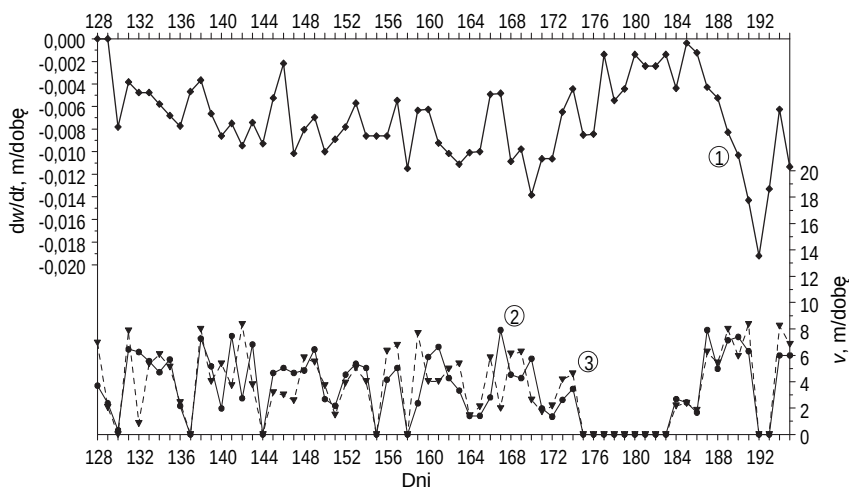


Rys. 2.2.12. Schematy ścian eksploatacyjnych 5 i 6 oraz lokalizacja punktów pomiarowych: MK 1 – seria pomiarowa 1, MK 2 – seria pomiarowa 2 (Kowalski, 2007)

W ścianie 6 przeprowadzono dwie próby uzyskania rekordowego wydobywania dobowego, osiągając postępy 10,37 m. W czasie drugiej serii pomiarowej istniała możliwość zaobserwowania wpływu dziewięciodniowej przerwy w eksploatacji, spowodowanej postojem kopalni w okresie Świąt Bożego Narodzenia i Nowego Roku (rys. 2.2.13 i rys. 2.2.14).



Rys. 2.2.13. Prędkości obniżenia punktu 20 i prędkości frontu ścian 5 i 6: ① – prędkości obniżenia, ② – prędkości frontu ściany 6, ③ – prędkości frontu ściany 5 (Kowalski, 2007)

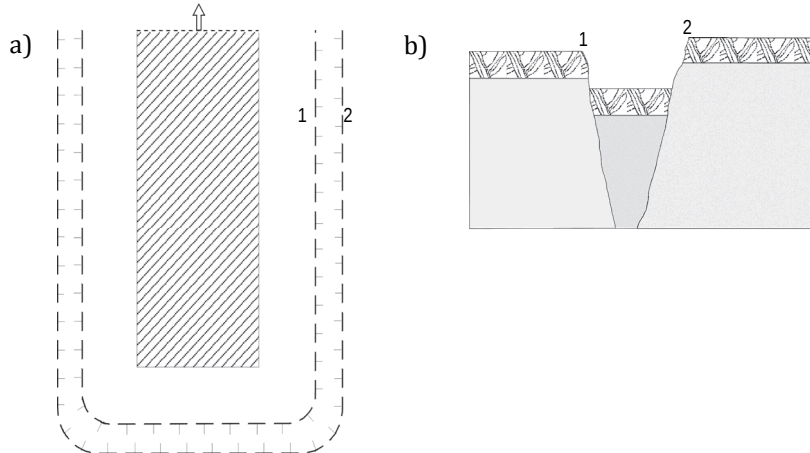


Rys. 2.2.14. Prędkości obniżenia punktu GPS2000 i prędkości frontu ścian 5 i 6: ① – prędkości obniżenia, ② – prędkości frontu ściany 6, ③ – prędkości frontu ściany 5 (Kowalski, 2007)

2.2.4.2. Liniowe nieciągłe deformacje powierzchni (LNDP)

LNDP występowały w kopalniach Zagłębia Ruhry podczas prowadzenia eksploatacji górniczej na małych i większych głębokościach ($H > 400$ m). Na rysunku 2.2.15 przedstawiono strefę występowania nieciągłości w rejonach maksymalnych odkształceń poziomych (Kratzsch, 2008).

Badania o największym zakresie obejmującym analizę 1138 nieciągłości powierzchni w dwóch kopalniach w Zagłębiu Ruhry, położonych na zachodnim brzegu Renu, wykonał Grün (1995).



Rys. 2.2.15. Schemat powstawania stref nieciągłości w rejonach występowania maksymalnych odkształceń poziomych (a) w formie rowu (b); 1 – stopień przeciwny, 2 – stopień główny (Kratzsch, 2008)

W analizowanych przypadkach 88% stanowiły nieciągłości poeksploatacyjne (przyporządkowane krawędziom eksploatacyjnym). Kolejne ważniejsze spostrzeżenia dotyczące LNDP są następujące:

- Struktury złożone (stopnie i szczeliny) w postaci rowów i schodów (kilku stopni) stanowiły 57% wszystkich nieciągłości.
- 48% przypadków LNDP było w postaci rowów, które składały się ze stopnia głównego (pierwotnego – 2) i przeciwnego (wtórny – 1) (rys. 2.2.15).
- 45% wszystkich LNDP wystąpiło pod wpływem eksploatacji pierwszego lub drugiego pokładu, albo trzeciego lub czwartego pokładu.
- Pod wpływem eksploatacji pierwszego pokładu graniczna głębokość, przy której wystąpiła LNDP, wynosiła 600 m.
- Wystąpienie LNDP obserwowano już pod wpływem eksploatacji pokładu o grubości 1,0 m.
- Kąt zawалу skał, kąt wystąpienia na powierzchni maksymalnych odkształceń poziomych (dla 866 nieciągłości) wynosił średnio 77° , dla stopnia głównego 75° , a dla stopnia przeciwnego 80° .
- W 59% szerokość strefy (rys. 2.2.15) wynosiła najczęściej od 30 do 50 m.
- Około 77% stopni miało wysokość $\leq 0,2$ m i około 98% $\leq 0,5$ m.
- LNDP mogą powstawać pod wpływem eksploatacji pierwszego pokładu, jeśli odkształcenie poziome wynosi co najmniej $+2$ mm/m.
- Tylko w 7% wszystkich LNDP stwierdzono bezpośredni wpływ tektoniki; elementy tektoniki wymuszają i wzmacniają oddziaływanie wpływu rozciągania na powierzchnię i sprzyjają powstawaniu LNDP.

Na podstawie zebranych wyników badań Grün utworzył macierz prognostyczną, w której metodycznie połączył dane geologiczne i górnicze z danymi o LNDP. Wynik prognozy zależy od jakościowych i ilościowych oszacowań oddziaływań górniczych mających wpływ na prawdopodobieństwo powstania albo aktywizacji nieciągłości. Metoda umożliwia przewidywanie potencjalnych „korytarzy powstawania” nieciągłości i jej jakościowej struktury.

Grün wyróżnił tworzenie się nowych i aktywizację istniejących LNDP. Dla nowych i reaktywacji istniejących nieciągłości szczególnie ważna jest ocena prawdopodobieństwa ich powstania, potencjalny „korytarz powstawania” oraz struktura i przejawy nieciągłości. Jakościowe i ilościowe wyniki analiz są wzajemnie oceniane za pomocą systemu punktowego.

Oceniając metodę Grüna należy zauważyć, że dla prognozy nieciągłości podstawą jest wynik analizy wszystkich czynników mających wpływ na jej powstanie. Czynniki te są oszacowywane na podstawie pewnych zależności i wag ich udziału. Nie jest możliwe sformułowanie deterministycznej metody prognozowania LNDP, zwłaszcza czasu jej powstania.

Praca Grüna była inspiracją do opisu LNDP w Polsce (Kowalski, Jędrzejec i Gruchlik, 2010; Kowalski, 2015).

2.2.4.3. Uwarunkowania eksploatacji górniczej w aspekcie ochrony powierzchni

Cezurą w określaniu warunków ochrony powierzchni i prowadzenia eksploatacji górniczej w Niemczech stał się wyrok Federalnego Sądu Administracyjnego z 16 marca 1989 r. (w sprawie Moers-Kapellen), zgodnie z którym wydobywanie bogactw naturalnych z górotworu może być ograniczone ze względu na interes publiczny, jeżeli w konsekwencji działalności górniczej można uniknąć naruszenia własności użytkownika powierzchni. Prowadzenie eksploatacji górniczej jest równorzędne, najogólniej rzecz ujmując, z ochroną własności użytkownika powierzchni. Konsekwencją tego wyroku jest rozporządzenie o kontroli wpływu planowanej eksploatacji na środowisko z dnia 13 lipca 1990 r. Ministra Gospodarki w porozumieniu z Ministrem Ochrony Środowiska (Sroka, 1994). W rozporządzeniu tym dla górnictwa podziemnego wprowadzono, tzw. ramowe plany eksploatacji, obejmujące okres około 10 lat, w których ograniczenie wpływów eksploatacji górniczej jest:

- do 1 m – w przypadku bardzo negatywnych skutków dla kierunku spływu cieków i rzek, wody gruntowej, dla zabytków kultury i dużych obiektów chronionych,
- do 3 m – generalna granica obniżień.

Przekroczenie ww. granic powoduje konieczność bardzo szerokiej oceny i kontroli wpływów planowanej eksploatacji na środowisko naturalne i chronione obiekty. Konsekwencją tego jest ograniczanie obniżen przy zwiększaniu powierzchni eksploatacji górniczej i kosztów eksploatacji.

Realizowane plany ruchu są kontrolowane przez prowadzenie rocznych lub dwuletnich cyklicznych pomiarów geodezyjnych.

2.2.4.4. Podsumowanie

Z badań deformacji górotworu w Niemczech, w tym badań dotyczących dynamiki eksploatacji i LNDP, wynikają następujące spostrzeżenia:

1. Opisy i obserwacje górotworu prowadzone od początku ubiegłego stulecia pokazują, że przemieszczenia punktów i deformacje w stropie bezpośrednim wskazują na występowanie tzw. wspornika nad wybraną przestrzenią, czego efektem jest punkt przegięcia niecki na powierzchni nad zrobami eksploatacyjnymi.
2. Opisy teoretyczne deformacji powierzchni i górotworu ewoluowały od najprostszych Keinhorsta w roku 1925 do metody Ruhrkohle w roku 1961, która jest zbieżna z teorią Knothego-Budryka (1953 r.). Zarówno we wzorach Knothego, jak i w metodzie Ruhrkohle funkcją wpływów jest krzywa Gaussa. Różnica polega na ich sparametryzowaniu i stosowaniu mniejszego kąta zasięgu (większy promień) w metodzie Ruhrkohle niż w teorii Knothego-Budryka.
3. Znamienne jest stosowanie do prognoz deformacji parametrów teorii, a zwłaszcza współczynnika eksploatacyjnego $a = 0,9$, co powodowało najczęściej zawyżanie wyników prognoz deformacji powierzchni, czyniąc je bardziej „bezpiecznymi” z uwagi na ochronę powierzchni.
4. Stosowanie wysokowydajnych urządzeń wydobywczych wcześniej niż to miało miejsce w Polsce (1992 r. – kopalnia Staszic) spowodowało, że problem wpływu prędkości frontu ścianowego na ochronę powierzchni został opisany w roku 1993, głównie z uwzględnieniem jej regulowania – ograniczania. Natomiast w roku 1999 Sroka zaproponował ekwiwalencję między prędkością a długością przerwy eksploatacyjnej (sobotnio-niedzielnej i świątecznej).
5. Budowa geologiczna przypowierzchniowej warstwy górotworu na lewym brzegu Renu (dominacja w nadkładzie karbonu warstw glin i iłów nad piaskami) powodowała występowanie licznych liniowych nieciągłych deformacji powierzchni, które opracowano statystycznie i na tej podstawie utworzono macierz prognostyczną, w której metodycznie połączono dane geologiczne i górnicze z danymi o LNDP (Grün, 1995).

6. Wyrok Federalnego Sądu Administracyjnego z 16 marca 1989 r. (w sprawie Moers-Kapellen) spowodował, że prowadzenie eksploatacji górniczej zostało uznane za równorzędne z ochroną własności użytkownika powierzchni. Zobowiązał też kopalnie do sporządzania ramowych planów ruchu uwzględniających ochronę powierzchni. Wpływy eksploatacji górniczej są ograniczane przez zmniejszanie wartości dopuszczalnych obniżeń powierzchni, do 1 m dla ważnych obiektów i generalnie do 3 m obniżeń.

2.3. Rosja i Ukraina

W Rosji badania dla ustalenia rozkładu i wartości deformacji powierzchni na terenach górniczych w kopalniach węgla kamiennego i innych kopalni prowadzono z wykorzystaniem metod geodezyjnych i modelowania górotworu za pomocą materiałów ekwiwalentnych. Wyniki tych badań posłużyły do opracowania wzorów empirycznych, służących do obliczania wskaźników deformacji powierzchni. W miarę zwiększania liczby obserwacji wzory te uaktualniano, dlatego w literaturze spotyka się wzory do wyznaczania wartości wskaźników deformacji zarówno dla konkretnych zagłębi, jak i dla przedziałów głębokości eksploatacji (Szpetkowski, 1980).

Pionierami opisu deformacji powierzchni w krajach dawnego Związku Radzieckiego byli A. Akimow, S. Awierszyn, P. Gertner, D. Kozakowski, S. Kołbienkow, M. Korotkow i A. Miediancew, którzy opracowali wzory empiryczne.

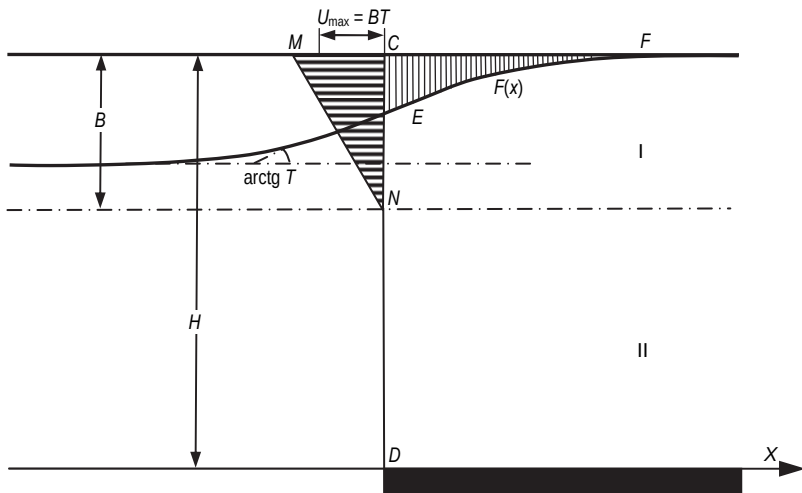
Kamieniem milowym w opisie deformacji powierzchni był opracowany przez Awierszyna w roku 1947 wzór empiryczny na określanie przemieszczeń i odkształceń poziomych w zależności od nachyleń i krzywizn:

$$u = -BT \quad (2.3.1)$$

$$\varepsilon = -BK \quad (2.3.2)$$

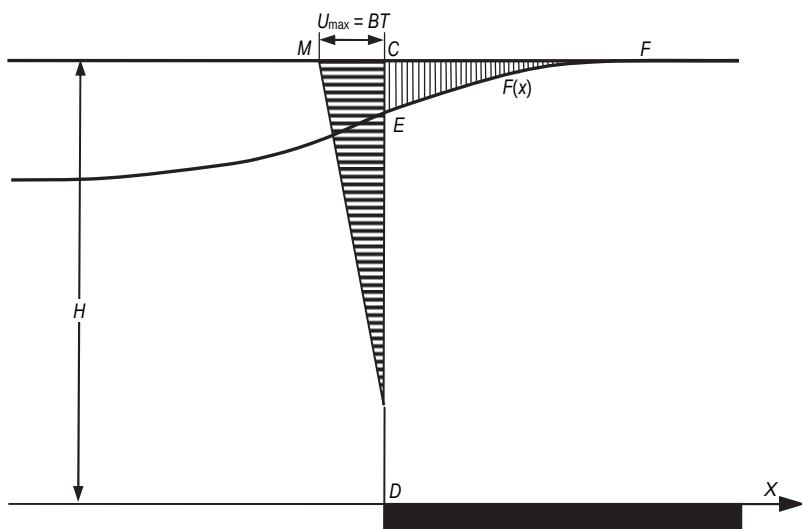
Wzory (2.3.1) i (2.3.2) odnoszą się do każdego kierunku wokół punktu powierzchni. Konsekwencją tego przyjęcia jest traktowanie górotworu w procesie deformacji jako ośrodka transwersalnie izotropowego.

Według Awierszyna wartość współczynnika B , nazywanego współczynnikiem poziomych przemieszczeń i odkształceń, we wzorach (2.3.1) i (2.3.2) wynosi w większości przypadków 10–12 m (Budryk, 1953). Awierszyn związał wartość współczynnika B z odległością pionową od powierzchni do poziomej osi obojętnej (między obszarami I i II) w górotworze uginającej się warstwy, według schematu przedstawionego na rysunku 2.3.1.



Rys. 2.3.1. Wyznaczenie największych przemieszczeń poziomych na powierzchni na podstawie przyjętego przez Awierszyna rozkładu przemieszczeń w górotworze (Budryk, 1953)

Jak podaje Awierszyn przemieszczenia poziome występują w obszarze I i rozkładają się według linii MN , natomiast w obszarze II przemieszczenia górotworu zachodzą głównie w kierunku pionowym. Przy tym założeniu i przyjmując kształt niecki obniżeniowej według krzywej $F(x)$ wynikającej z teorii Knothego, Budryk przyjął (co później zaobserwowano w szybach kopalń), że przemieszczenia poziome w górotworze występują nie tylko przy powierzchni, ale i głębiej (rys. 2.3.2).



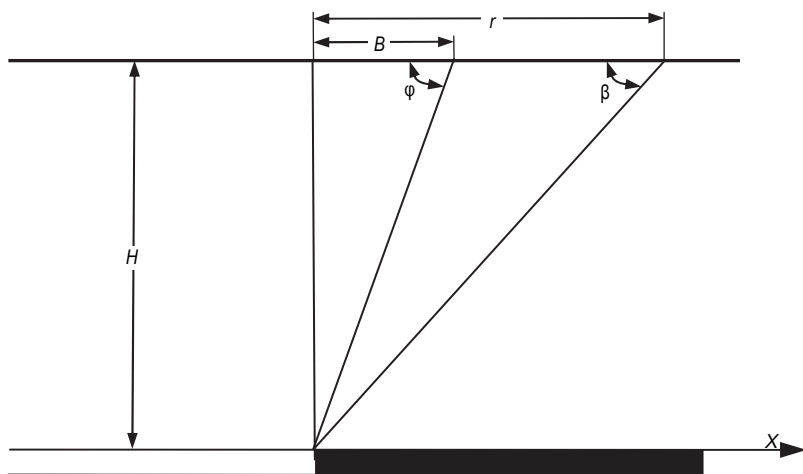
Rys. 2.3.2. Przymierzalny rozkład przemieszczeń poziomych w górotworze według Budryka (1953)

Dla powierzchni przy przyjęciu równania Knothego na promień rozproszenia wpływów wartość współczynnika B wynosi

$$B = 0,4r \quad (2.3.3)$$

gdzie r jest parametrem, promieniem rozproszenia wpływów, albo promieniem zasięgu wpływów głównych.

Na powierzchni wartość B odpowiada zasięgowi maksymalnych krzywizn i odkształceń poziomych (rys. 2.3.3).



Rys. 2.3.3. Zasięg wpływów głównych i maksymalnych na powierzchni (Budryk, 1953)

W latach siedemdziesiątych ubiegłego stulecia prognozy deformacji powierzchni pod wpływem eksploatacji podziemnej były sporządzane na podstawie wzorów półempirycznych (Jofis i Szmielew, 1985). Dla zestandaryzowanych odległości wzdłuż linii prostopadłej do krawędzi eksploatacji wyznaczono współczynniki funkcji wskaźników deformacji: obniżeń, nachyleń, krzywizn oraz przemieszczeń i odkształceń poziomych. Współczynniki funkcji zostały opracowane dla zagłębi Kuzbas i Donbas, Lwowsko-Wołyńskiego i Karagandy.

Po roku 2000, podobnie jak i w innych zagłębiach węglowych na świecie, do opisu deformacji powierzchni testuje się modelowanie numeryczne, szczególnie z zastosowaniem MES (Bondarenko i in., 2010; Bondarenko i Sotskov, 2014).

2.4. Stany Zjednoczone

2.4.1. Eksploatacja częściowa, komorowo-filarowa

W Stanach Zjednoczonych w podziemnym górnictwie węgla kamiennego dominują dwa systemy eksploatacji, w których technologia eksploatacji pozwala na uzyskiwanie wysokiej wydajności: komorowo-filarowy i ścianowy. Z zastosowaniem systemu komorowo-filarowego uzyskuje się około 50% produkcji węgla kamiennego z kopalń głębinowych. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że w przeciwieństwie do górnictwa polskiego, prowadzona jest tam eksploatacja jednopokładowa, która sprzyja stosowaniu tego typu systemu.

System komorowo-filarowy polega na drążeniu chodników eksploatacyjnych w kierunkach prostopadłych do siebie, tworząc w ten sposób siatkę filarów węglowych. Wyrobiska prowadzone są w przekroju prostokątnym kombajnem typu *continuous miner*, a do ich zabezpieczenia stosowana jest samodzielna obudowa kotwowa. Obudowa kotwowa jest obudową aktywną, której zadaniem jest stworzenie samonośnej belki niedopuszczającej do obniżenia stropu wyrobiska. Jest to istotna różnica w porównaniu z obudową łukową stosowaną w górnictwie polskim, która działa w sposób pasywny i dopuszcza obniżenia stropu.

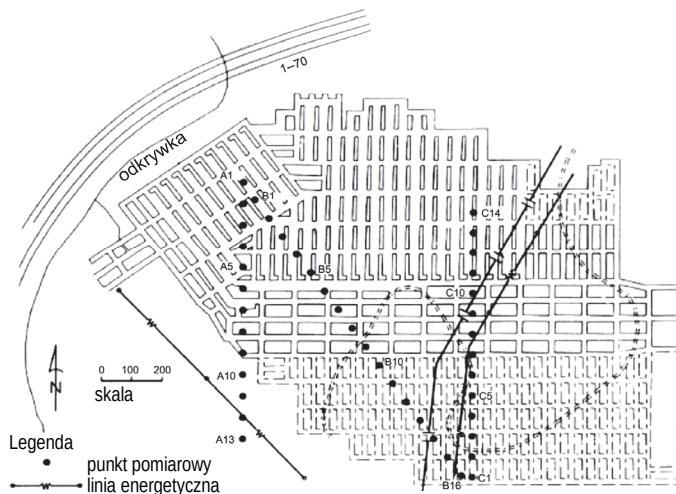
Chug i Atri (1989) w swojej publikacji dotyczącej monitoringu deformacji w wyniku eksploatacji prowadzonej w stanie Illinois, z wykorzystaniem systemu filarowo-komorowego pokładu o grubości 1,5–2,0 m, na głębokości 90 m, wykazali, że przy wykorzystaniu złoża w 45% współczynnik osiadania wyniósł tylko 0,03. Pozostałe wyznaczone parametry deformacji wynoszą: kąt zasięgu wpływów 69° , a współczynnik przemieszczeń poziomych od $0,3r$ do $0,42r$.

Opis klasycznego oddziaływania eksploatacji prowadzonej z zastosowaniem systemu komorowo-filarowego na deformacje powierzchni można znaleźć w publikacji Magersa (1993), w której przedstawiono trzy przykłady z kopalni Roadside, zlokalizowanej w zachodniej części Stanów Zjednoczonych (stan Colorado).

Eksploatowano pokład o grubości od 1,2 do 3,0 m (średnia grubość wynosiła 1,8 m). Głębokość eksploatacji wahała się od 15 do 210 m. Warstwy nad pokładem zbudowane były z łupków i piaskowców, a przy powierzchni zalegała cienka warstwa bazaltu o budowie bryłowej, przechodząca na powierzchni do gruzu i piasku. Upad warstw wynosił od 2° do 5° . Powierzchnia nie była zabudowana, jednak wymagała ochrony z uwagi na znajdujące się na niej: rzekę, drogi, wodociągi i linię energetyczną.

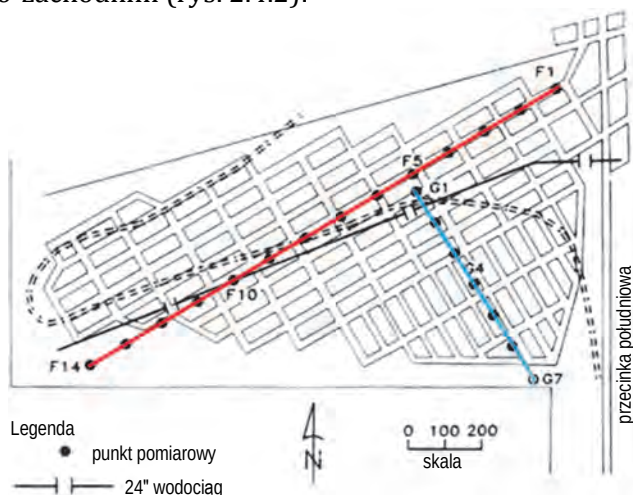
Wyrobitska eksploatacyjne stanowiły chodniki o szerokości 6 m i wysokości odpowiadającej grubości pokładu, a do ich zabezpieczenia stosowano obudowę kotwową. Filary pozostawione między chodnikami miały różną szerokość – od 6 do 30 m. Współczynnik wykorzystania złoża był zależny od rozmiarów filarów i wahał się od 44 do 69%. Rejony badań znajdowały się w następujących polach kopalni:

- północno-zachodnim (rys. 2.4.1):



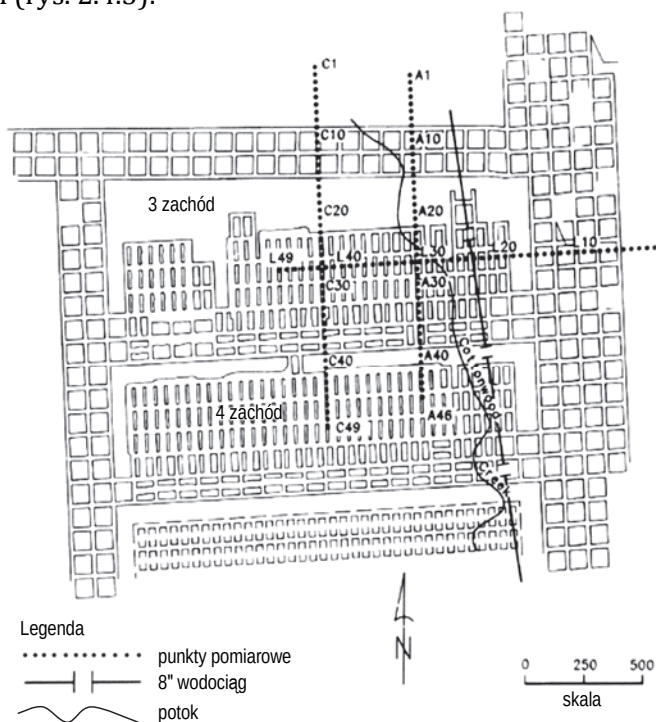
Rys. 2.4.1. Eksploatacja w polu północno-zachodnim w rejonie wodociągu i drogi, lokalizacja linii pomiarowych (A1-A13, B1-B16 i C1-C14) i linii energetycznej (Magers, 1993)

- południowo-zachodnim (rys. 2.4.2):



Rys. 2.4.2. Eksploatacja w polu południowo-zachodnim i lokalizacja linii pomiarowych F1-F14 i G1-G7 (Magers, 1993)

- zachodnim (rys. 2.4.3):



Rys. 2.4.3. Eksploatacja w polu zachodnim pod potokiem i wodociągiem, lokalizacja linii pomiarowych: A1-A46, C1-C49 i L1-L49 (Magers, 1993)

Zbiornicze i porównawcze zestawienie podstawowych danych geologicznych i górniczych, maksymalnych obniżeń powierzchni i wyznaczonych współczynników eksploatacyjnych (a), określonych jak iloraz maksymalnego obniżenia do grubości wybranego pokładu, przedstawiono w tabeli 2.4.1.

Z tabeli 2.4.1 wynika, że wartość współczynnika eksploatacyjnego w głównej mierze zależy od stopnia wykorzystania złoża i waha się w przedziale od 0 do 0,43, co odpowiada wykorzystaniu złoża od 44 do 69%. Co ciekawe, z danych tych wynika również, że na wartość współczynnika ma wpływ głębokość eksploatacji – im płycej, tym współczynnik eksploatacyjny jest większy. W rejonach północno-zachodnim i południowo-zachodnim, gdzie średnia głębokość eksploatacji wynosi około 40 m, wartości współczynnika eksploatacyjnego są większe niż w rejonie zachodnim, gdzie średnia głębokość eksploatacji wynosi około 150 m. Na rysunku 2.4.4 przedstawiono wyznaczoną liniową zależność wartości współczynnika eksploatacyjnego od stopnia wykorzystania złoża dla kopalni Roadside (charakteryzuje ją niska wartość współczynnika determinacji $R^2 = 0,4484$).

2.4.2. Eksploatacja systemem ścianowym

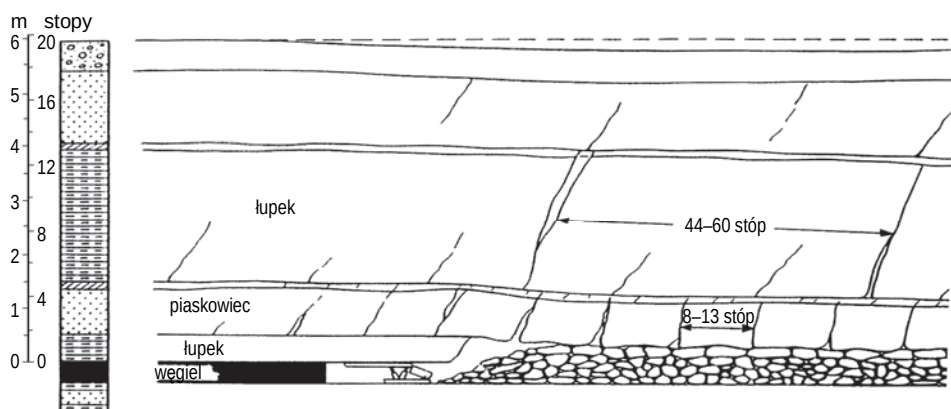
Prognozowanie deformacji nad eksploatacją pokładów węgla kamiennego prowadzoną frontami ścianowymi w dużym stopniu opiera się na doświadczeniach angielskich, wykorzystywane są także doświadczenia niemieckie i polskie (Bai, Elsworth i Saperstein, 1989; Luo i Peng, 1989; Jarosz, Karmis i Sroka, 1990).

Inną metodą empiryczną prognozowania deformacji powierzchni na skutek eksploatacji górniczej jest model Salomona opracowany w roku 1989, w którym wykorzystuje się konwergencję wyrobiska eksploatacyjnego i przenosi się ją na powierzchnię za pomocą jednej z wybranych funkcji wpływów. Jak we wszystkich teoriach ruchów górotworu trafność prognozy obniżen zależy od parametrów modelu, które należy wyznaczać w analogicznych warunkach geologiczno-górnich. Wyniki obliczeń są zbieżne z wzorami empirycznymi wyznaczonymi dla kopalń brytyjskich (SEH, 1975).

Do prognozowania deformacji powierzchni spowodowanych podziemną eksploatacją stosuje się obecnie program komputerowy Surface Deformation Prediction Software System (Agioutantis, 2015). W systemie tym wykorzystuje się funkcję wpływów, a jest on oparty na kilku wzorach empirycznych uzyskanych na drodze analizy statystycznej oraz danych o eksploatacji i wynikach pomiarów deformacji opracowanych przez zespół pod kierunkiem Karmisa (Jarosz, Karmis i Sroka, 1990).

Do podstawowych pojęć w opisie niecki w metodzie SDPS należą:

- głębokość eksploatacji,
- kąt zasięgu wpływów,
- punkt przegięcia niecki,
- efekt – zjawisko brzegu niecki (w polskiej nomenklaturze – tzw. obrzeże eksploatacyjne) (rys. 2.4.5).



Rys. 2.4.5. Efekt obrzeża eksploatacyjnego – brzegu niecki (Agioutantis, 2015)

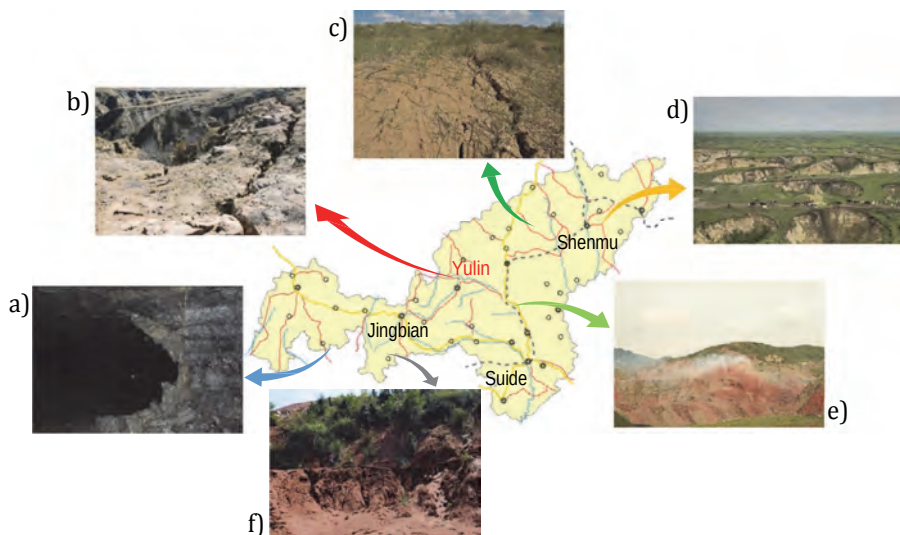
Z rysunku 2.4.5 wynika, że jeśli w stropie bezpośrednim wystąpią łupki, a powyżej warstwy piaskowców, nad wyeksploatowaną przestrzenią zawiśnie skalna warstwa o długości 12–30 m.

2.5. Chiny

2.5.1. Wprowadzenie

Z uwagi na dużą powierzchnię kraju i zróżnicowane warunki geologiczne i górnicze doświadczenia z kształtowania się i prognozowania deformacji powierzchni pod wpływem podziemnej eksploatacji górniczej są bardzo obszerne i zróżnicowane. W roku 2017 67% wydobycia węgla kamiennego pochodziło z położonych w północno-zachodniej części Chin prowincji Shaanxi i Shanxi oraz regionu Mongolia Wewnętrzna, gdzie występują grube i bardzo grube pokłady węgla kamiennego (Wenbing, Erhu i Daming, 2018). W części środkowej na pograniczu prowincji Shandong i Jiangsu w Zagłębiu Da-Tun zalegają pokłady o średniej grubości i na większych głębokościach, natomiast w części południowo-zachodniej w prowincji Guizhou pokłady węgla kamiennego zalegają płytko i w terenie górzystym (Chang i in., 2015; Zhu i in., 2018).

Z uwagi na płytkie zaleganie grubych pokładów węgla kamiennego powstają duże deformacje, które nie są akceptowane przez mieszkańców obszarów górniczych (rys. 2.5.1). Podobnie jest na południu, gdzie na powierzchni powstają szczeliny i zapadliska, które wpływają negatywnie na vegetację roślin.



Rys. 2.5.1. Przykłady dużych deformacji spowodowanych eksploatacją górniczą w zachodniej części Chin w prowincji Shaanxi: a – niestabilność filara węglowego, b – wstrząs górniczy, c – szczeliny, d – niecka obniżeniowa, e – pożar filara węglowego, f – odwodnienie i utrata gruntu (osuwisko) (Zhang i in., 2016)

Do oceny wpływu wysokowydajnych systemów eksploatacji stosowane są algorytmy hierarchiczne uwzględniające:

- warunki geologiczne,
- warunki górnicze, a także
- ochronę środowiska – szkody górnicze.

Podejmowana jest także eksploatacja eksperymentalna, która ma ograniczyć do minimum deformacje powierzchni.

Do prognozowania deformacji stosuje się teorię Knothe'go-Budryka i ogólną teorię Litwiniszyna (Liu, 1962, 1993; Yan i in., 2018). Prowadzone są pomiary i badania deformacji dla poprawy ich opisu. W tym celu stosuje się metody empiryczne i numeryczne, uwzględniając opis geomechaniczny deformowanego górotworu.

2.5.2. Wysokowydajny system eksploatacji, a ochrona powierzchni

Specyfiką prowincji Shaanxi i Shanxi oraz regionu Mongolia Wewnętrzna jest klimat kontynentalny (suchy i półsuchy), w którym opady atmosferyczne występują sporadycznie. Warunki geologiczne i górnicze, które tam panują, powodują występowanie obwałów skał stropowych, wdarcia wody (zanikanie źródeł na powierzchni) i destrukcję powierzchni, co w konsekwencji sprzyja powstawaniu stepu i zanieczyszcza środowisko.

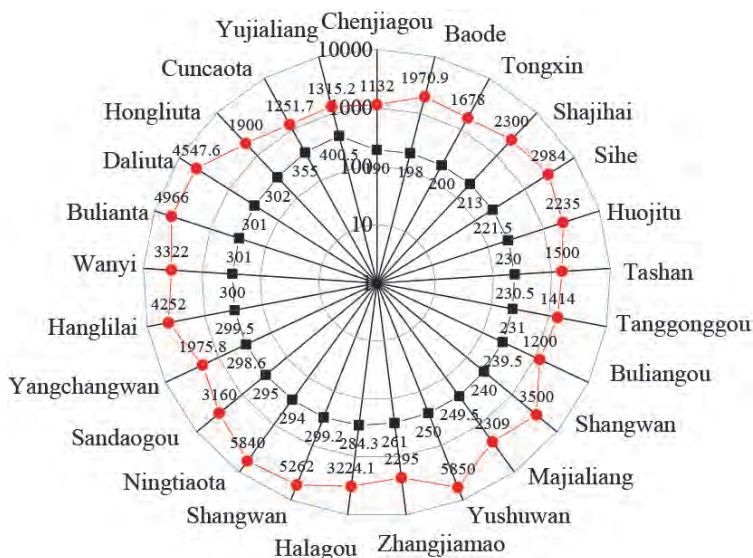
W celu oceny wysokowydajnych systemów eksploatacji (WWSE), a także ograniczenia występowania deformacji do akceptowalnego społecznie poziomu, opracowano algorytm, za pomocą którego ocenia się, czy na danym obszarze można podjąć eksploatację górniczą. Czynniki uwzględniane w tym algorytmie są następujące:

- warunki geologiczne (proste lub złożone),
- rozmiary parcel eksploatacyjnych (długość i wybieg),
- mechanizacja frontu eksploatacyjnego,
- prędkość frontu ścianowego,
- wydajność i efektywność ściany,
- grubość pokładu,
- wskaźnik charakteryzujący iloraz głębokości do grubości eksploatowanego pokładu H/g ,
- uszkodzenia górotworu i deformacje powierzchni.

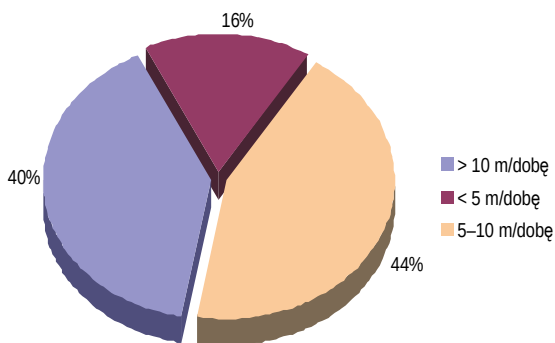
Dla wytypowanych do analizy 25 ścian eksploatacyjnych, w których warunki geologiczne są proste (brak uskoków tektonicznych, regularne zaleganie, mały

upad i duża grubość pokładów), długość i wybieg przedstawiono na rysunku 2.5.2, a prędkość frontu na rysunku 2.5.3.

Grubość i wysokość ścian pokładów wynosi od 3,6 do 17,0 m, a głębokość od 30 do 500 m, przy czym dominuje grubość 5–6 m, a głębokość do 300 m. Natomiast prędkość frontu najczęściej zawiera się w przedziale 5–10 m/dobę (rys. 2.5.3).

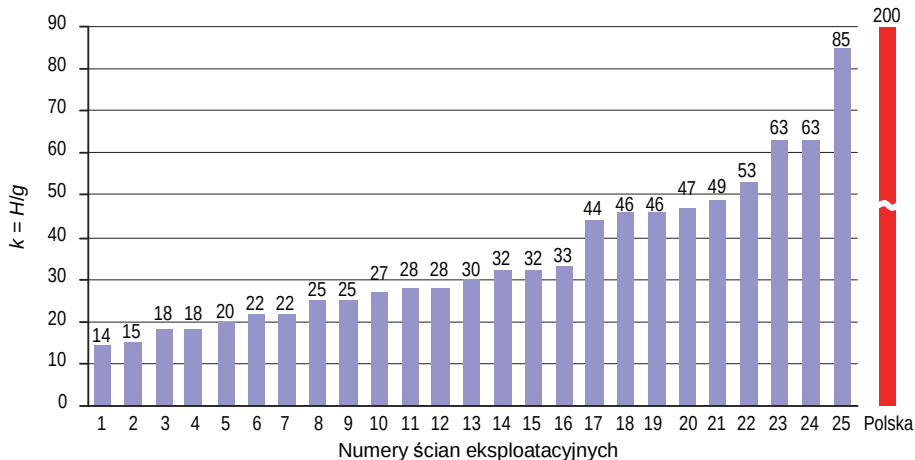


Rys. 2.5.2. Długość (kolor czarny) i wybieg (kolor czerwony) analizowanych ścian eksploatacyjnych (Wenbing, Erhu i Daming, 2018)



Rys. 2.5.3. Prędkość postępu analizowanych ścian eksploatacyjnych (Wenbing, Erhu i Daming, 2018)

Podstawowy wskaźnik „odpowiedzialny” za deformacje powierzchni $k = H/g$ (iloraz głębokości i wysokości eksploatacji) dla analizowanych 25 ścian eksploatacyjnych wynosi od 14 do 85 (rys. 2.5.4)! Dla porównania, w Polsce wskaźnik ten wynosi powyżej 200.



Rys. 2.5.4. Wskaźnik $k = H/g$ dla analizowanych ścian eksploatacyjnych (Wenbing, Erhu i Daming, 2018)

W ocenie deformacji i zagrożenia powierzchni uwzględnia się dwa kryteria:

- wdarcie wody do górotworu i wyrobisk,
- powstawanie szczelin i stopni na powierzchni.

W zależności od budowy geologicznej nadległego górotworu nad eksploatowanymi ścianami wyróżnia się skały zwięzłe (piaskowce) i słabe (łupki), dla których zostały opracowane „kryteria” empiryczne wdarcia wody do wyrobisk.

Z wykresu (rys. 2.5.4) wynika, że w przypadku eksploatacji grubych pokładów na powierzchni występują deformacje nieciągłe w postaci szczelin i stopni (fot. 2.5.1). Ekstremalna prędkość narastania deformacji spowodowanej eksploatacją jednego pokładu może wynosić od 50 do 400 mm/dobę, a maksymalne obniżenie od 3,2 do 5,9 m. Powstające szczeliny mogą mieć szerokość do 0,6 m i głębokość do 7 m.



Fot. 2.5.1. Szczeliny i stopnie na powierzchni (Wenbing, Erhu i Daming, 2018)

2.5.3. Deformacje w obszarze górzystym

W prowincji Guizhou pokłady węgla kamiennego zalegają płytko i występują w terenach górzystych, w kopalni Anshun na głębokości 106–217 m. Cechą charakterystyczną warstw węglonośnych (z okresu permu) jest występowanie grubej warstwy nadkładu warstw młodszych i cienkiej warstwy skalnej.

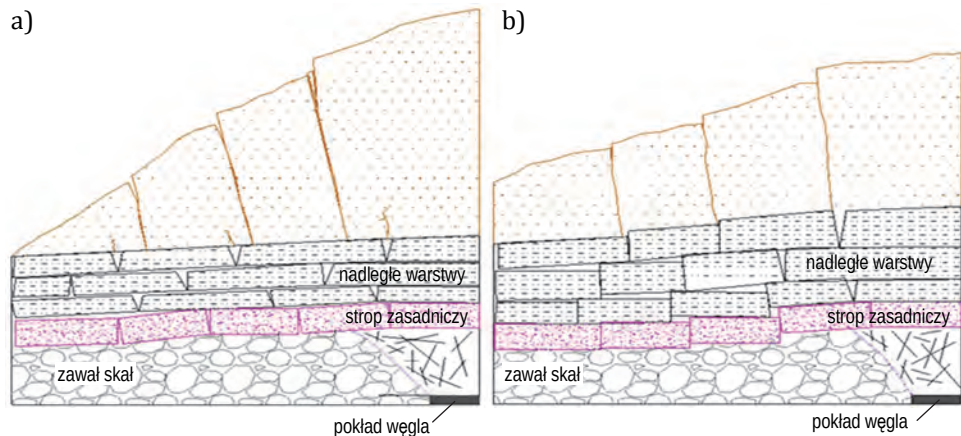
Pod wpływem eksploatacji (ściany o długości 175 m na wysokość 1,7 m) na powierzchni wystąpiły liniowe nieciągłe deformacje w postaci szczelin. W terenie górzystym rozróżnia się dwa typy szczelin: poślizgowe (SP) w terenie o dużym nachyleniu i schodowe (SS) w rejonie dolin (fot. 2.5.2).



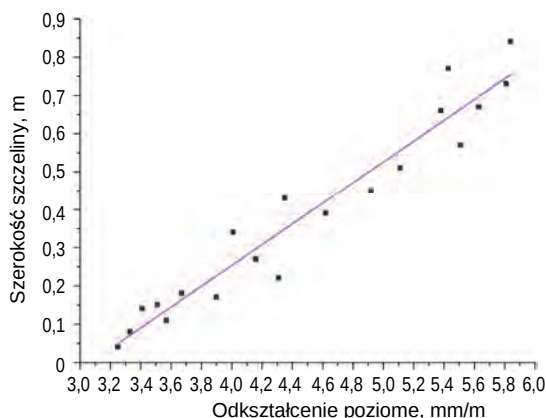
Fot. 2.5.2. Szczelina: a – poślizgowa, b – schodowa (Zhu, He i Fan, 2018)

Szczeliny SP występują średnio co 30 m, przy postępie frontu co 20 m, a SS co 20 m, przy takim samym postępie frontu ściany. Szczeliny poślizgowe mają szerokość do 1,05 m i wysokość do 1,42 m oraz kąt poślizgu $82,1^\circ$. Szczeliny schodowe są mniejsze, mają szerokość 0,04–0,18 m, średnio 0,12 m i wysokość 0,25–0,74 m, średnio 0,53 m. Jeśli deformacja bloków skalnych w stropie jest typu klinowego, wówczas sprzyja powstawaniu SP, a jeśli jest typu blokowego sprzyja SS (rys. 2.5.5). Wykazano zależność między szerokością szczeliny LNPD, a odkształceniem poziomym (rys. 2.5.6).

Wykres na rysunku 2.5.6 potwierdza polskie wyniki badań poziomego rozluźniania próbek gruntu, z których wynika, że „stan rankingowski” (powstawanie pionowych szczelin) może występować w przypadku gruntów niespoistych dla odkształceń poziomych 2–4 mm/m, a dla gruntów spoistych w granicach 3–9 mm/m (Kwiatek, 2007).



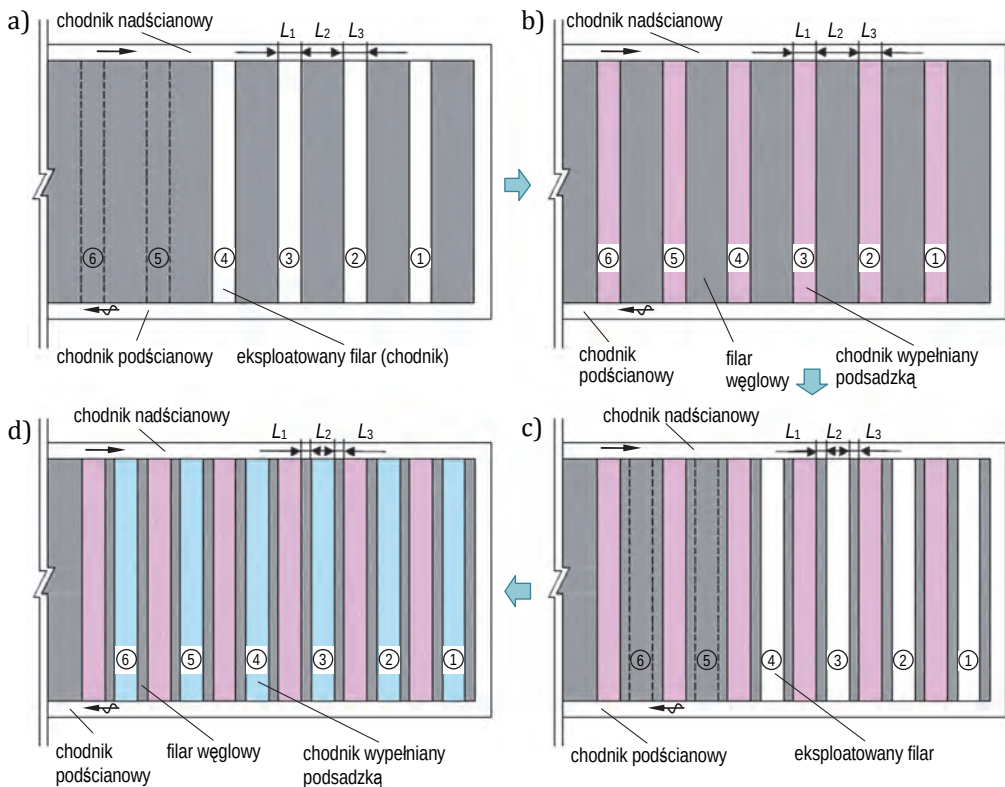
Rys. 2.5.5. Mechanizm powstawania szczelin: a – poślizgowych, b – schodowych (Zhu, He i Fan, 2018)



Rys. 2.5.6. Zależność szerokości szczeliny od wartości odkształcenia poziomego (Zhu, He i Fan, 2018)

2.5.4. Przykłady eksploatacji częściowej

Przykładem eksploatacji częściowej jest system chodnikowy stosowany w warunkach kopalni Changxing w prowincji Shaanxi. W publikacji Zhanga i innych (2016) przedstawiono wyniki badań i wdrożenia technologii eksploatacji częściowej za pomocą chodników eksploatacyjnych z podsadzką (ang. *roadway backfill coal mining*, RBCM). Chodniki eksploatacyjne o szerokości $L_1 = 7,0$ m, drążone są równoległe do siebie w odstępach $L_2 = 11,0$ m (rys. 2.5.7a). W drugim etapie chodniki te są wypełniane podsadzką (rys. 2.5.7b). Następnie w utworzonych filarach ochronnych drąży się chodniki o szerokości również $L_1 = 7,0$ m, z pozostawieniem filarów o wymiarach $L_3 = 3,0$ m (rys. 2.5.7c). W ostatnim czwartym etapie chodniki eksploatacyjne zostają zlikwidowane przez podsadzanie (rys. 2.5.7d).

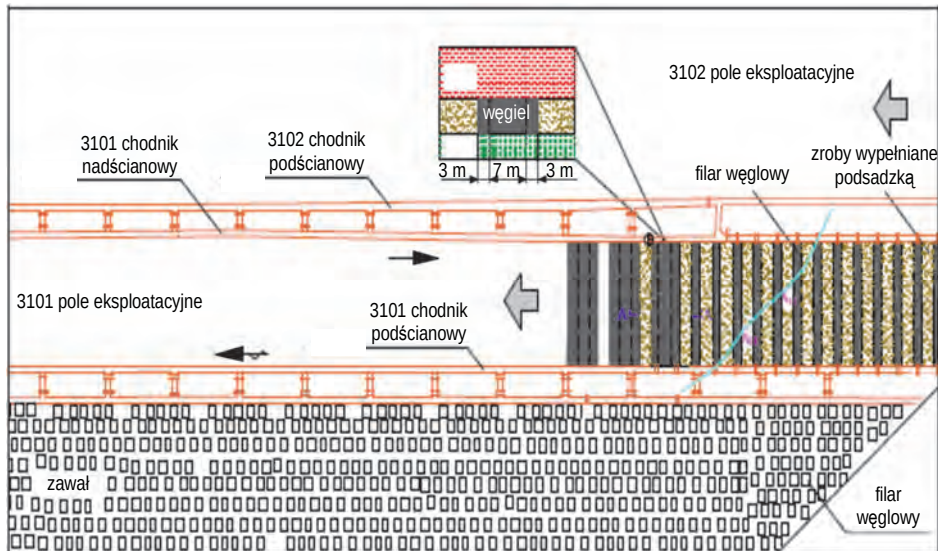


Rys. 2.5.7. Schemat eksploatacji z wykorzystaniem metody RBCM (Zhang i in., 2016)

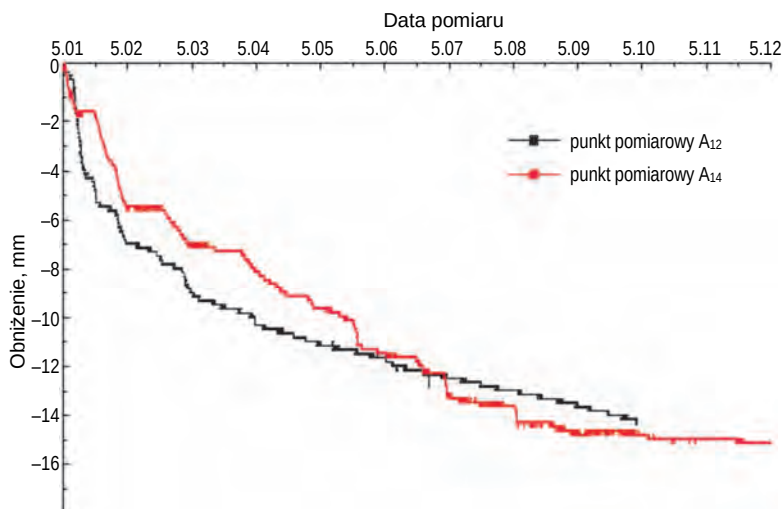
Eksploatację pokładu o grubości 5,35 m prowadzono na głębokości 130 m, a do zabezpieczenia wyrobisk stosowano obudowę kotwową (rys. 2.5.8). Współczynnik wykorzystania złoża w tym przypadku wynosił 70%. Podsadzka została wykonana z piasku, lessu i materiałów wiążących w proporcji odpowiednio: 1:0,3:0,16.

Określenie składu podsadzki i proporcji poszczególnych mediów, ich właściwości, parametrów oraz struktury (uziarnienia), zostało poprzedzone badaniami laboratoryjnymi. Natomiast szerokość filarów węglowych i ich stabilność określono na drodze numerycznej, wykorzystując program FLAC^{3D} i regułę Coulomba-Mohra.

Wyniki obserwacji deformacji powierzchni zostały przedstawione na rysunku 2.5.9, z którego wynika, że obniżenia powierzchni wynosiły 15 mm. Pomierzone obniżenia odpowiadały panelowi o szerokości 36 m, z czego wynikało, że na powierzchni nie wystąpiły maksymalne obniżenia. Obliczony współczynnik eksploatacyjny wynosił 0,006 (powiększony dwukrotnie z uwagi na rozmiary pola eksploatacyjnego)! Z punktu widzenia ochrony powierzchni jest to wynik bardzo dobry.

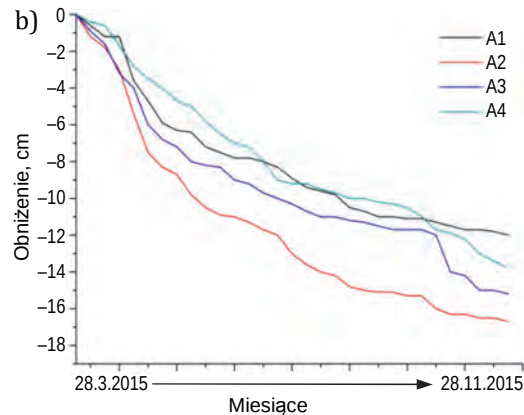


Rys. 2.5.8. Schemat eksploatacji filarowej w kopalni Changxing (Zhang i in., 2016)



Rys. 2.5.9. Obniżenia punktów A₁₂ i A₁₄ na powierzchni pomierzone w roku 2014 (Zhang i in., 2016)

Nieco inną technologię eksploatacji częściowej testowano w kopalni Anshun w południowo-zachodniej części Chin (Zhu i in., 2018). Eksploatację prowadzono pasami o szerokości 11 m, pozostawiając filar węglowy o szerokości 2 m. Wybraną przestrzeń wypełniano podsadzką z odpadów węglowych, popiołu lotnego i zwykłego cementu portlandzkiego, w stosunku 1:0,3:0,18. Przy zastosowaniu tej technologii maksymalne obniżenia powierzchni wynosiły 17,3 cm, co odpowiadało współczynnikowi eksploatacji $a = 0,1$ (rys. 2.5.10).



Rys. 2.5.10. Wpływ zastosowanej w kopalni Anshun technologii podsadzkowej – a na obniżenia powierzchni – b (Zhu i in., 2018)

2.5.5. Metody opisu deformacji powierzchni

Jak wspomniano na wstępie warunki zalegania złóż węgla kamiennego w Chinach są bardzo zróżnicowane, występują cienkie i grube pokłady, które zalegają prawie poziomo i są nachylone do 90° ; głębokość zalegania wynosi do kilkuset metrów od powierzchni. Eksploatację prowadzi się także w terenach górzystych. Powyższe powoduje, że wypracowano kilka metod opisu deformacji (Dai i in., 2018), na przykład:

- metodę typowej krzywej (empiryczną) sporządzanej na podstawie rozkładu pomierzonych poszczególnych wskaźników deformacji wzdłuż linii prostej względem pola eksploatacyjnego,
- metodę ujemnej funkcji wykładniczej, wyznaczoną również na podstawie obserwacji wskaźników deformacji,
- metodę geometryczno-całkową opartą na polskiej teorii Knothego-Budryka.

Dla metod geometryczno-całkowych opisu deformacji zespół ekspertów (Yan i in., 2018) zróżnicował wartości parametrów teorii Knothego-Budryka, w zależności od budowy nadległego górotworu, wyróżniając górotwór: zwięzły, średnio zwięzły i słaby.

Wykonywana jest również symulacja numeryczna deformacji powierzchni (np. Cui i in., 2000; Liua i Hu, 2000) i optymalizacja szerokości filarów węglowych dla warunków kopalni Anshun z wykorzystaniem programu komputerowego FLAC^{3D} (Zhu i in., 2018).

2.6. Australia

W Australii i krajach Oceanii, które wcześniej nie prowadziły badań kształtowania się deformacji powierzchni, obecnie do tych celów wykorzystuje się metody geodezyjne, modele ekwiwalentne i metody numeryczne.

W latach 2015–2017 Ghabraie ze współpracownikami (Ghabraie i in., 2015, 2017; Ghabraie, Ren i Smith, 2017) opublikowali wyniki modelowania deformacji z zastosowaniem modeli ekwiwalentnych i nowoczesnych technologii pomiaru deformacji na modelach.

Z wyników dotychczas prowadzonych badań deformacji powierzchni wynika, że:

1. Nie zgromadzono jeszcze dostatecznej liczby wyników pomiarów geodezyjnych deformacji powierzchni, podejmowane są więc próby modelowania górotworu i symulacji jego deformacji.
2. Prowadzi się modelowanie numeryczne, które jest weryfikowane na modelach ekwiwalentnych.

Modelowanie prowadzone na materiałach ekwiwalentnych i symulacje numeryczne deformacji górotworu uważa się za bardziej praktyczne niż metody empiryczne, bo są bardziej przynależne do miejsca (lokalne). Z tego powodu uważa się, że są lepsze od metod empirycznych? W kontekście polskich doświadczeń wniosek ten jest dyskusyjny, gdyż tylko badanie deformacji powierzchni z zastosowaniem metod geodezyjnych może być podstawą do weryfikowania innych opisów deformacji, uzyskanych dzięki modelowaniu prowadzonemu na materiałach ekwiwalentnych oraz dzięki symulacjom numerycznym.

Należy zauważyć, że modelowanie prowadzone na materiałach ekwiwalentnych swój okres świetności miało w latach 1930–1975 w Niemczech, ZSRR, również w Polsce (np. Kot, 1976; Drzęzła, 1978; Opałka, 1983). W badaniach tych do pomiarów przemieszczeń reperów na modelach stosowano również metody fotogrametryczne.

3. Dolnośląskie Zagłębie Węglowe – wałbrzyskie kopalnie

3.1. Geologia

Dolnośląskie Zagłębie Węglowe zlokalizowane jest na północno-wschodnim obrzeżu synklinorium śródsudeckiego (rys. 3.1.1).



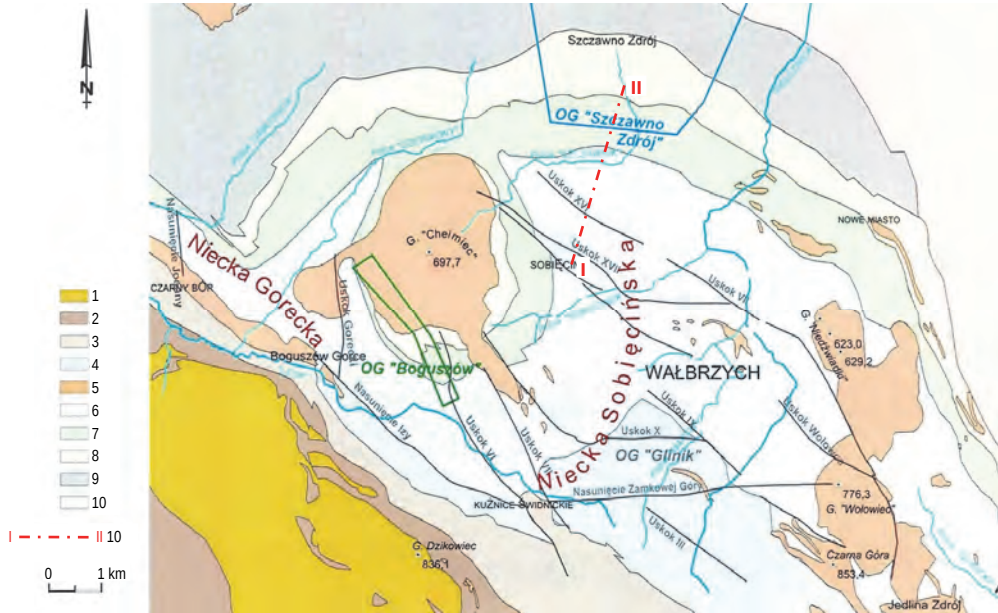
Rys. 3.1.1. Lokalizacja kopalń Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego:

- 1 – wychodnie węglonośnych utworów karbonu, 2 – utwory karbonu zakryte warstwami młodszymi, 3 – granice zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego, 4 – granica państwa, 5 – ważniejsze miasta

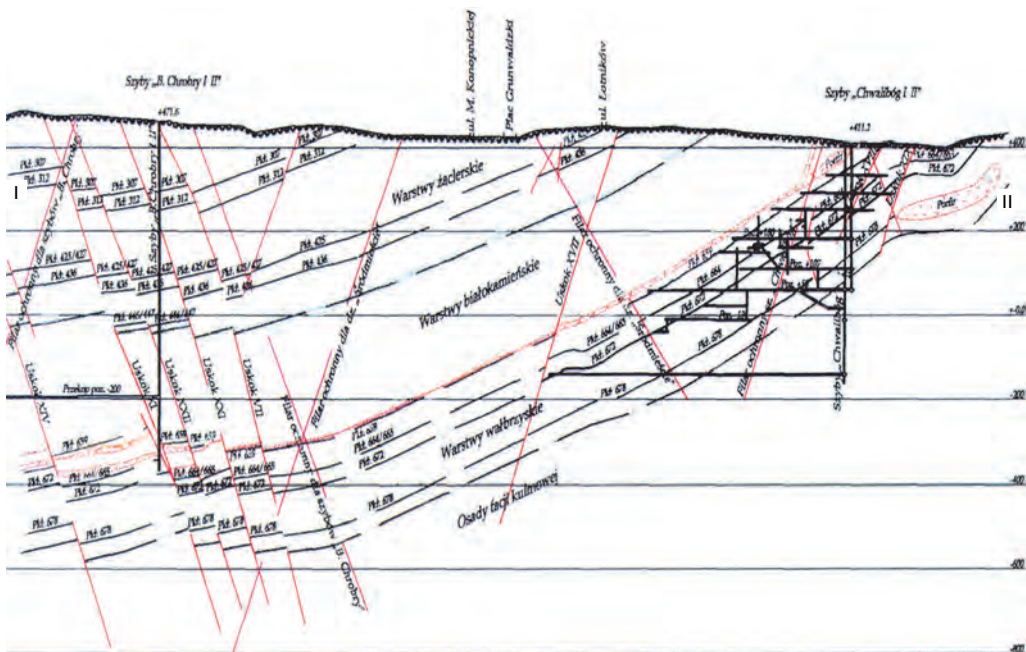
Południowa granica strukturalna niecki wałbrzyskiej, którą jest przypuszczalnie odcinek głównego uskoku sudeckiego, tektonicznie nie jest jednoznaczna, najczęściej za obramowanie niecki przyjmuje się umownie linię intersekcyjną spągu utworów permskich. Podobnie umowny charakter ma północna granica niecki, którą wyznacza linia stropu kulmowych utworów dolnego karbonu.

Ukształtowanie strukturalne niecki wałbrzyskiej wynika głównie z tektoniki mającej związek z magmatyzmem młodopaleozoicznym. Przejawia się to w postaci licznych zaburzeń w obrębie utworów górnokarbońskich – uskoki normalne i odwrócone, w tym również zrzutowo-przesuwcze, a także licznych intruzji porfiru.

W efekcie ruchów tektonicznych w rejonie Wałbrzycha ukształtowały się dwie niecki złożowe połączone antyklinalnym wygięciem warstw, spowodowanym intruzją Chełmca (rys. 3.1.2). Większa jest niecka sobięcińska, w której zalega znaczna część złóż węglowych rejonu Wałbrzycha. Upady warstw skierowane ku osi niecki wynoszą od kilku stopni do 32° . Mniejsza niecka gorecka charakteryzuje się zdecydowanie asymetryczną budową i upadami warstw od 30 do 90° .



Rys. 3.1.2. Rejon niecki wałbrzyskiej z zaznaczonymi obszarami górniczymi uzdrowiska Szczawno-Zdrój i kopalni barytu Boguszów-Gorce oraz lokalizacja linii przekroju geologicznego I-II; 1 – skały osadowe, 2 – skały wulkaniczne, 3 – warstwy stefańskie, 4 – warstwy glinickie, 5 – ryolity, 6 – warstwy żaclerskie, 7 – warstwy białokamińskie, 8 – warstwy wałbrzyskie, 9 – kulum, 10 – gnejsy (Fiszer, 2017)



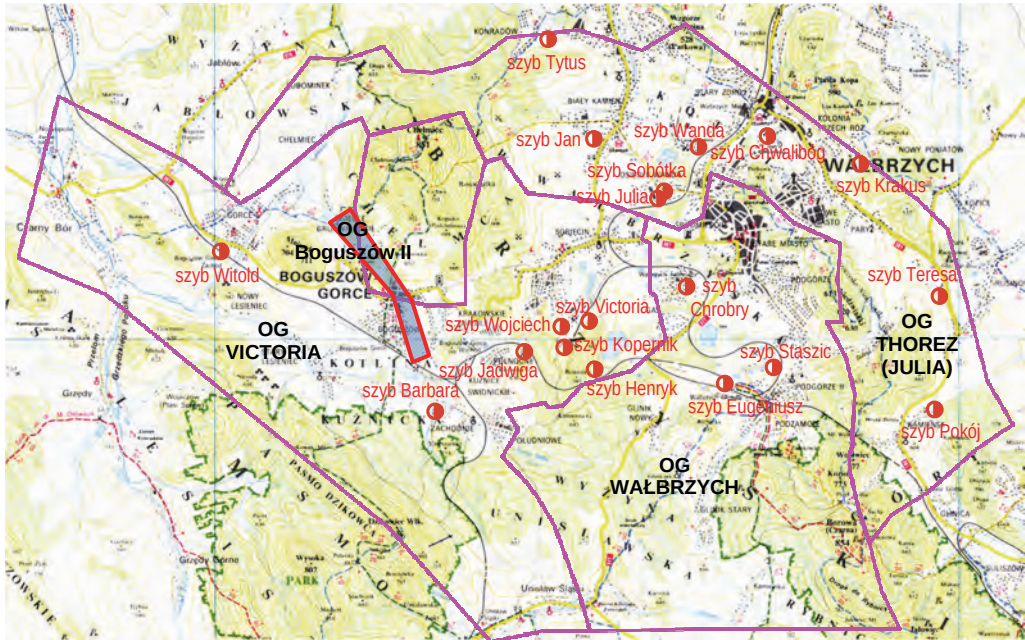
Rys. 3.1.3. Przekrój geologiczny niecki sobieńskiej I-II (Kowalski, 2000)

W niecce wałbrzyskiej (rys. 3.1.2) w górotworze dominują warstwy węglanowe żaclerskie (6) i wałbrzyskie (8), mające wychodnie na powierzchni oraz bezzasobowe warstwy białokamieńskie (7), a także ryolity – skały wulkaniczne (5), które stanowią wysad góry Chełmca, sąsiedniego na zachodzie Mniszka oraz na wschodzie Wołowca, Niedźwiadka i Czarnej Góry. Na rysunku 3.1.3 przedstawiono przekrój geologiczny niecki sobięcińskiej, na którym widoczne są zarówno wychodnie pokładów żaclerskich i wałbrzyskich na powierzchni, jak i intruzje porfiru w karbonie. Pokłady węgla kamiennego zalegają średnio od +400 m na powierzchni do –500 m w spągu, czyli do głębokości 900 m.

3.2. Historia górnictwa węgla kamiennego w Wałbrzychu

Pierwsze wzmianki o kopalnictwie węgla kamiennego na Dolnym Śląsku pochodzą z XV wieku z rejonu Nowej Rudy, a z XVI wieku z rejonu Wałbrzycha (Kowalski, 2000). Początkowo złoża udostępniano sztolniami i płytkimi szybami. Szybki rozwój górnictwa nastąpił w drugiej połowie XVIII wieku, kiedy w roku 1769 złoża węgla kamiennego przeszły na własność państwa. Jedną z najstarszych map z nadaniami pól górniczych w Waldenburgu jest mapa z roku 1815, której kopię z roku 1913 przedstawia rysunek 3.2.1. Na mapie znajdują się nadania: Fuchs, Emilie, Johannes, trasa Lisiej Sztolni, którą spławiano węgiel kamienny na powierzchnię i zabudowa miasta Wałbrzycha. Na wychodniach pokładów przy powierzchni zaznaczono pingi (doły), miejsca po najstarszej – pierwotnej – eksploatacji pokładów węgla kamiennego, który udostępniano upadowymi i płytkimi szybami, zaznaczona jest także projektowana główna sztolnia odwadniająca (potem nazwana Friedrich-Wilhelm). Od połowy XIX wieku (dzięki zastosowaniu maszyn parowych) nowe kopalnie były już udostępniane głębokimi szybami. Eksploatację prowadzono głównie systemem filarowym z zawalem stropu.

W okresie międzywojennym największe wydobycie odnotowano w roku 1929, kiedy osiągnęło ono około 5,2 mln Mg. W roku 1933 w Wałbrzychu eksploatację prowadziły cztery kopalnie, które w roku 1945 zostały przejęte przez polską administrację górnictwem: Bolesław Chrobry (Fürstensteiner), Victoria (Glückhelf-Friedenshoffnung), Biały Kamień (Fuchs) i Mieszko (Melchior). Po roku 1945 największe wydobycie było w latach 1950–1955 i wynosiło 3,2–3,3 mln Mg, potem w latach osiemdziesiątych zmniejszyło się do około 2,5 mln Mg rocznie. Przez dłuższy czas, aż do likwidacji kopalń w Wałbrzychu, eksploatację prowadziły: w części północno-wschodniej – kopalnia Thorez, w zachodniej – Victoria i w środkowej – Wałbrzych (rys. 3.2.2).



Rys. 3.2.2. Obszary górnicze kopalń węgla kamiennego i barytu w rejonie Wałbrzysza (Kowalski, 2000)

W roku 1992 kopalnie wałbrzyskie połączyły się w przedsiębiorstwo Wałbrzyskie Kopalnie Węgla Kamiennego (WKWK), które w roku 1993 zostało postawione w stan likwidacji. W roku 1994 zakończyły wydobywanie Zakład Górniczy Victoria i Zakład Górniczy Chrobry, a w roku 1996 Zakład Górniczy Julia. W roku 1998 zakończono eksploatację antracytu (fot. 3.2.1).



Fot. 3.2.1. Symboliczne zakończenie wydobywania w WKWK (archiwum zakładu Wydobywczo-Przerobczego Antracytu SA)

Eksploatację węgla kamiennego w rejonie Wałbrzycha prowadzono od powierzchni, a w końcowej fazie do głębokości 900 m.

Między masywami Chełmca i Mniszka (rys. 3.2.2) w obszarze górniczym Boguszków podziemną działalność górniczą prowadziła także kopalnia barytu Boguszków-Gorce, zlikwidowana w roku 1997 (zatopiona po powodzi).

Po roku 1945, z uwagi na wyczerpanie zasobów węgla kamiennego w wałbrzyskich kopalniach, podjęto eksploatację filarów ochronnych zarówno obiektów na powierzchni, jak i szybów kopalń. Były to między innymi:

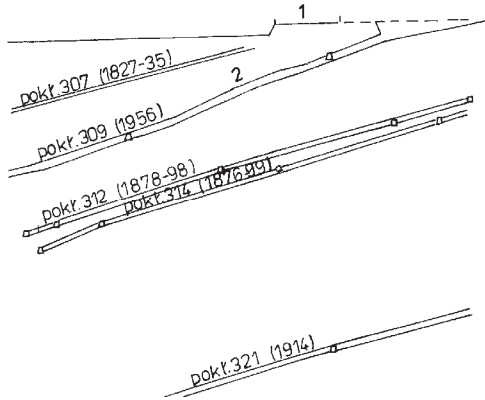
- szyb Jan (kopalnia Thorez),
- szyb Eugeniusz i stacja kolejowa Wałbrzych Główny (kopalnia Wałbrzych),
- wiadukt kolejowy położony w km 50,517 linii Kłodzko – Wałbrzych (kopalnia Wałbrzych),
- szyb Staszic i Zakład Koksowniczy nr 4 (kopalnia Wałbrzych),
- dzielnica Nowe Miasto (kopalnia Thorez),
- szyb Julia i Sobótka (kopalnia Thorez, potem Julia),
- główne szyby kopalni i Zakładu Koksowniczego nr 2 (kopalnia Wałbrzych).

3.3. Deformacje powierzchni nad płytką eksploatacją górniczą

Przykładem wpływu eksploatacji płytko zalegającego pokładu, prowadzonej systemem ścianowym z zawałem stropu, na deformacje powierzchni, jest eksploatacja pokładu 309. Teren, pod którym prowadzono eksploatację, stanowiły użytki rolne znajdujące się między śródmieściem Wałbrzycha a dzielnicą Biały Kamień, na zachód od ul. A. Kochanka (rys. 3.3.1).

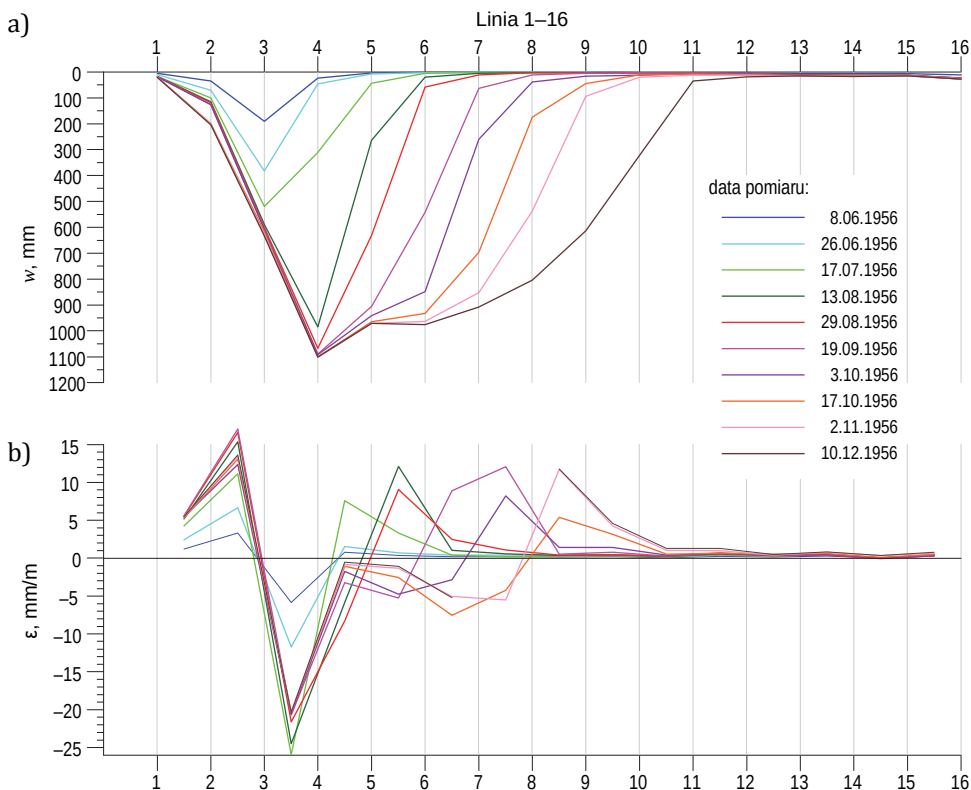
Pomiary deformacji powierzchni prowadzono w związku z ochroną rurociągu sprężonego powietrza Ø300, rurociągu gazowego Ø250 oraz linii WN 100 kV, podwieszonej na masztach o wysokości 22,6 m. Na podstawie wyników pomiarów deformacji podejmowano decyzje dotyczące okresowego wyłączania sieci i dodatkowych kompensacji rurociągów. Pomiary wychyleń od pionu masztu linii WN służyły do prowadzenia jego rektyfikacji z wykorzystaniem czterech odciągów zabudowanych w kierunkach prostopadłych.

Pomiary geodezyjne, oprócz znaczenia praktycznego, miały również znaczenie poznawcze dla badania kształtowania się deformacji powierzchni nad bardzo płytko eksploatowanym pokładem, na głębokości średnio 35 m, w tym również dla poznania procesu deformacji w funkcji czasu. Była to pierwsza eksploatacja w polskim górnictwie węgla kamiennego (lata 1956–1957), kiedy pomiary deformacji powierzchni prowadzono w bardzo krótkich odstępach czasu, przy czym ich wyniki nie były wcześniej publikowane.

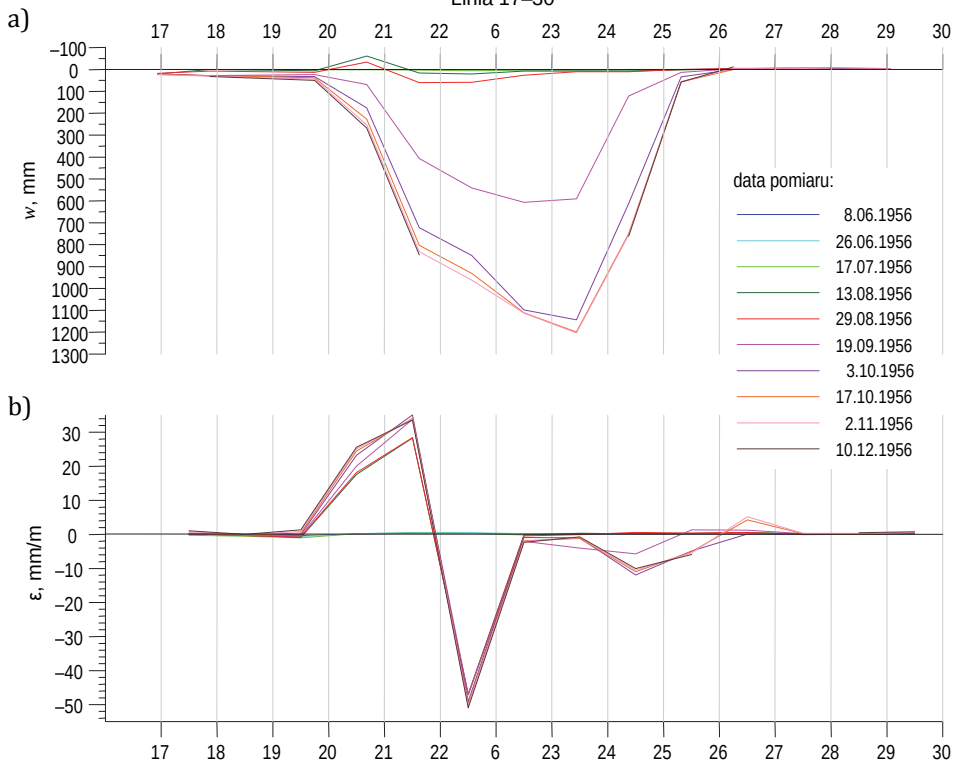


Rys. 3.3.2. Profil geologiczny I-I w rejonie eksploatowanego piętra pokładu 309:
1 – ul. A. Kochanka, 2 – eksploatowane piętro pokładu (Kowalski, 2000)

Osnowę pomiarową stanowiły dwie linie: 1–16 wzdłuż rozciągłości pokładu i 17–30 po upadzie. Odległości między punktami wynosiły 20 m. Wyniki pomiarów z linii 1–16 przedstawiono na rysunku 3.3.3, a z linii 17–30 na rysunku 3.3.4.



Rys. 3.3.3. Wykresy pomierzonych deformacji na linii 1–16, po rozciągłości:
a – obniżenia, b – odkształcenia poziome (Kowalski, 2000)



Rys. 3.3.4. Wykresy pomierzonych deformacji na linii 17–30, po upadzie:
a – obniżenia, b – odkształcenia poziome (Kowalski, 2000)

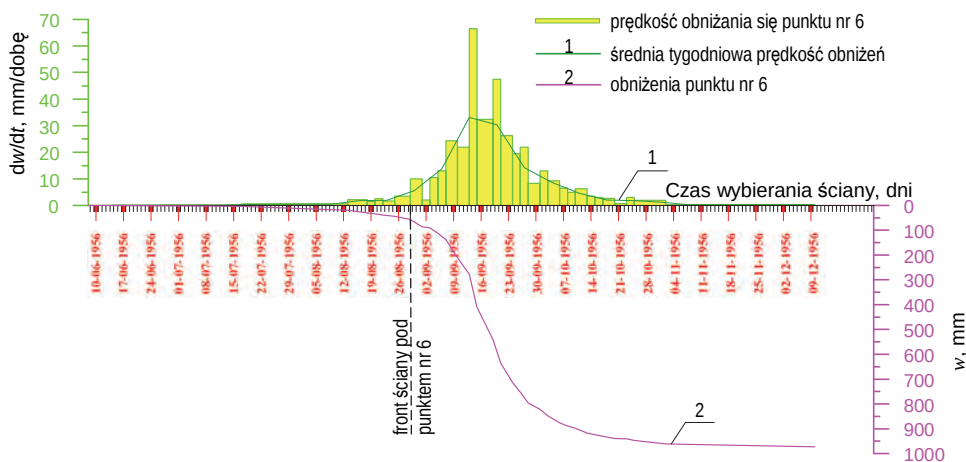
Analiza wskaźników deformacji, zaobserwowanych na obydwu liniach, wykazuje stosunkowo dużą ich regularność, mimo małej głębokości eksploatacji. Na ich podstawie określono podstawowe parametry teorii Knothego-Budryka: współczynnik eksploatacyjny a , parametr górotworu $\text{tg}\beta$ oraz współczynnik czasu c .

Największe obniżenia powierzchni na linii po upadzie wynosiły 1203 mm, a po rozciągłości 1099 mm. Na linii po rozciągłości można było określić nieustalone deformacje występujące w czasie eksploatacji i ustalone w rejonie wschodniej krawędzi eksploatacyjnej. Ekstremalne deformacje nieustalone wynosiły: nachylenia terenu średnio 32,0 mm/m, odkształcenia poziome od +16,6 do -25,9 mm/m. Największe ustalone nachylenia terenu wynosiły 32,1 mm/m (odcinek 3-4), a ekstremalne odkształcenia poziome od +13,6 do -20,3 mm/m. Nieustalone odkształcenia poziome były większe od ustalonych. Należy zauważyć, że długości odcinków między punktami były względnie duże (uwzględniając głębokość eksploatacji). Na powierzchni powstawały deformacje nieciągłe, szczeliny i stopnie.

Wzdłuż linii po upadzie ustalone nachylenia powierzchni terenu wynosiły od strony wzniosu pokładu 36,0 mm/m, od strony upadu 25,1 mm/m. Ustalone odkształcenia poziome wynosiły: w rejonie krawędzi eksploatacyjnych +5,2 i +25,6 mm/m, natomiast nad przestrzenią wyeksploatowaną -50,9 mm/m.

Wyznaczony współczynnik eksploatacyjny a wynosił 0,79, a parametr $\text{tg}\beta \cong 1,0$. Na podstawie pomiarów obniżień wykonanych w odstępach od dwóch do trzech dni (rys. 3.3.5), można wnioskować, że:

- w dniu, kiedy front eksploatacyjny był pod punktem, jego obniżenia wynosiły 6% obniżień końcowych,
- największe dobowe prędkości obniżień punktu były zróżnicowane i wynosiły od 22 do 66 mm/dobę, średnio 33 mm/dobę,
- występowało skokowe narastanie deformacji i zauważono zmniejszanie się prędkości narastania obniżień średnio co siedem dni, co świadczy o wpływie przerw w eksploatacji na kształtowanie się deformacji powierzchni,
- wyznaczony współczynnik c wynosił 29,0 rok⁻¹.



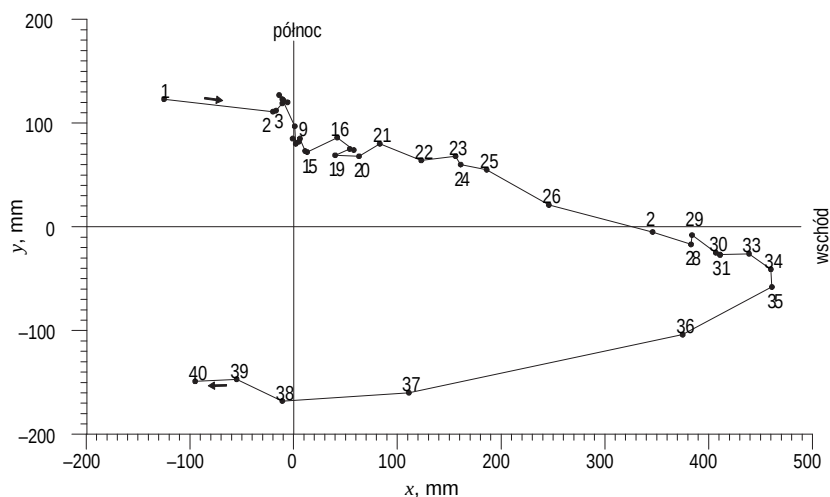
Rys. 3.3.5. Obniżenia i prędkości obniżień punktu nr 6; kolorem czerwonym oznaczono niedziele (Kowalski, 2000)

Przyjmując określoną dla punktu nr 6 (w rejonie dna niecki obniżień) maksymalną prędkość obniżień $V_{w \max} = 33$ mm/dobę, maksymalne nieustalone nachylenie niecki $T_{t \max} = 32,0$ mm/m i prędkość eksploatacji $v = 20$ m/miesiąc, zachodzi relacja wyrażona wzorem

$$V_{w \max} \cong 1,5 T_{t \max} v \quad (3.3.1)$$

W czasie eksploatacji pokładu 309 z wykorzystaniem metod geodezyjnych obserwowano wychylenie wierzchołka masztu WN względem jego podstawy

(rys. 3.3.6). Na podstawie tych pomiarów można również określić czas, kiedy nastąpił zwrot kierunku wychylenia masztu i przemieszczenie jego wierzchołka (zmiana nachylenia terenu); wynosił on 26 dni po przejściu frontu ściany pod masztem.



Rys. 3.3.6. Wychylenie masztu WN w kolejnych 40 pomiarach (Kowalski, 2000)

Największe wychylenie masztu wynosiło 465 mm, co odpowiadało wychyleniu 20,6 mm/m od pionu, a końcowe 180 mm (8,0 mm/m).

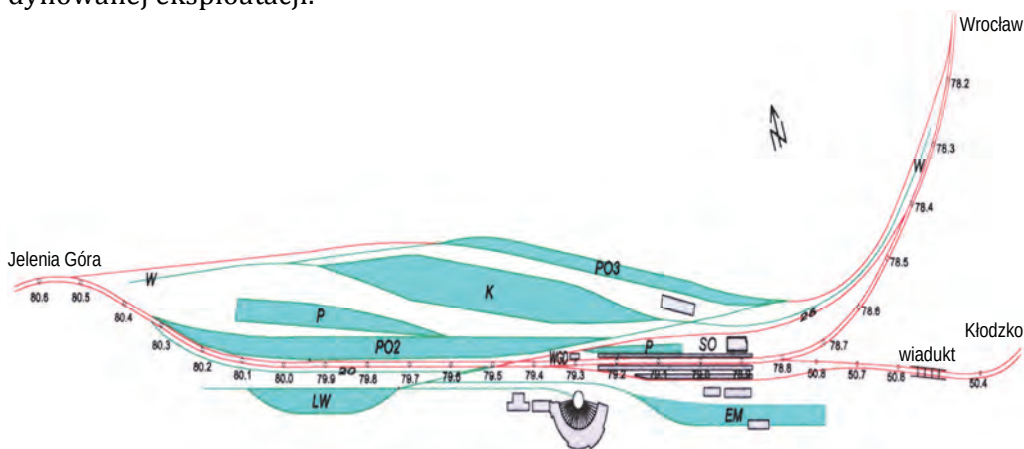
Szkoda, że wyniki i wnioski z kształtowania się nieustalonych deformacji powierzchni nad eksploatacją pokładu 309 zostały pierwszy raz opublikowane dopiero w roku 2000 (Kowalski, 2000), kiedy na Górnym Śląsku kilka lat wcześniej (w 1992 r.) podjęto badania deformacji powierzchni nad szybko przemieszczającym się frontem ścianowym (Kowalski, 2007). Ponadto dla tak dużych prędkości narastania deformacji należałoby prowadzić pomiary z większą częstością, kilka razy w ciągu dnia, dostosowując je do postępu frontu ścianowego.

3.4. Eksploatacja górnicza pod stacją i wiaduktem kolejowym, koksownią oraz szybami

3.4.1. Wprowadzenie

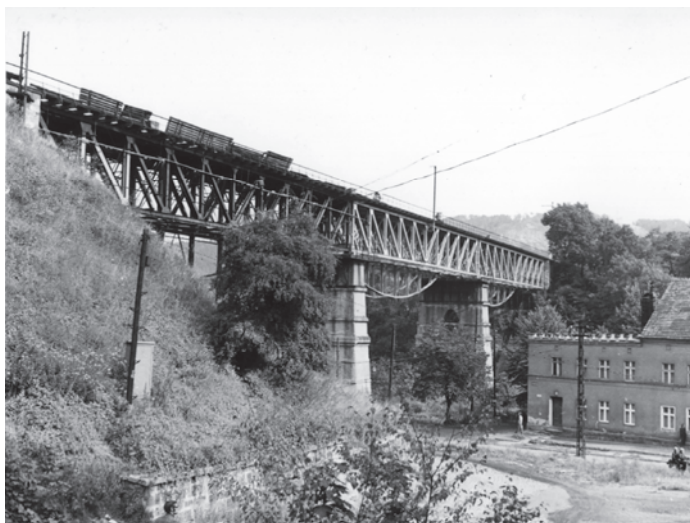
Bogate doświadczenia z eksploatacji pod obiektami chronionymi zdobyto podczas eksploatacji pokładów w filarach ochronnych stacji kolejowej Wałbrzych Główny (R1 – rys. 3.4.1), szybu Eugeniusz (R2), wiaduktu kolejowego na linii Kłodzko – Wałbrzych (R3) oraz szybu Staszic i Zakładu Koksowniczego nr 4 (R4). Filary te obejmowały dużą część złoża w partiach bezpośrednio do

siebie przyległych i pokrywających się. Takie usytuowanie filarów ochronnych, ze względu na ochronę obiektów, wymuszało konieczność prowadzenia skoordynowanej eksploatacji.



Rys. 3.4.1. Szkic sytuacyjny stacji Wałbrzych Główny: SO – stacja osobowa, P – stacja postojowa, PO2 i PO3 – grupy torów przyjazdowo-odjazdowych, K – grupa torów kierunkowych, W – tory wyciągowe, LW – lokomotywnia wachlarzowa z obrotnicą, warsztaty naprawcze, magazyny, EM – budynki ekspedycji, magazyny i rampa, WGD – nastawnia dysponująca (Kowalski, 2000)

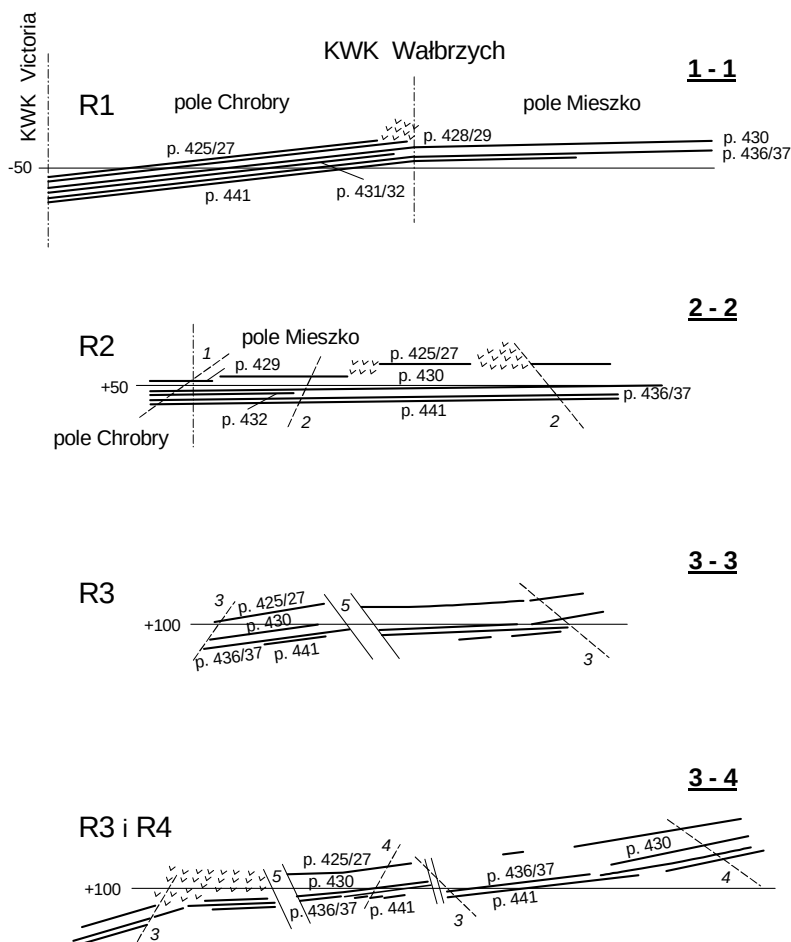
Najważniejszym obiektem chronionym PKP była stacja Wałbrzych Główny (rys. 3.4.1) i sąsiadujący z nią wiadukt kolejowy na trasie Kłodzko – Wałbrzych Główny nad ul. Niepodległości (fot. 3.4.1). Długość wiaduktu między przyczółkami wynosiła 120 m, a wysokość 20 m.



Fot. 3.4.1. Wiadukt od strony południowo-zachodniej, od strony Unisławia Śląskiego, oś podłużna wiaduktu odpowiada kierunkowi W-E (Kowalski, 2000)

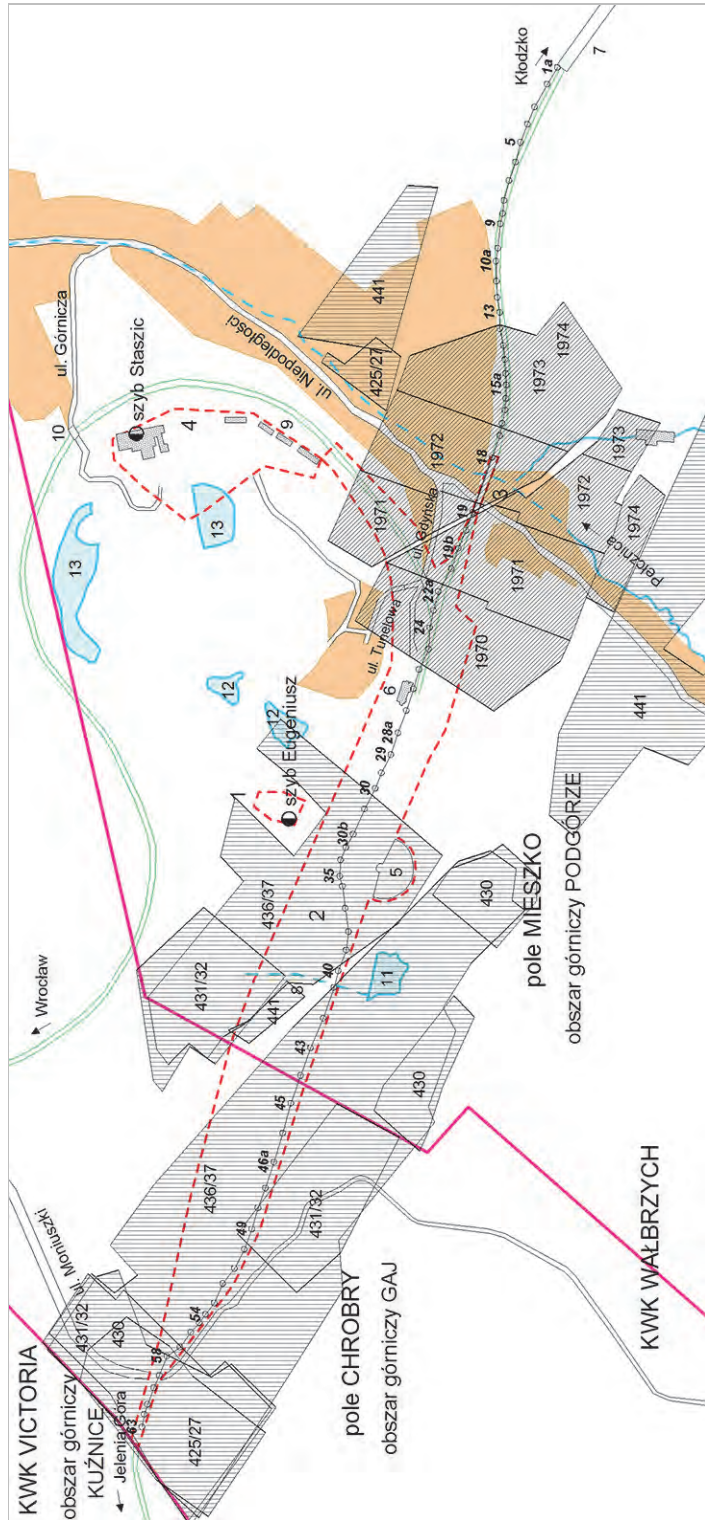
Wiadukt kolejowy nad ul. Niepodległości był wykorzystywany w latach siedemdziesiątych ubiegłego stulecia, oprócz PKP, przez wojska Układu Warszawskiego! Do końca lat sześćdziesiątych nie podejmowano eksploatacji w filarze ochronnym wiaduktu. Nie było wówczas i nie ma dotąd w kraju i za granicą wiaduktu czy mostu wieloprzęsłowego o tak znacznych rozmiarach, pod którym byłaby prowadzona eksploatacja górnicza.

Na rysunku 3.4.2 przedstawiono przekroje eksploатовanych wiązek pokładów węgla kamiennego w poszczególnych rejonach filarów, a na rysunku 3.4.3 tereny chronione w polu Mieszko kopalni Wałbrzych.



Rys. 3.4.2. Przekroje wiązek pokładów wyeksploatowanych w poszczególnych rejonach zespołu filarów po liniach zbliżonych do symetrycznych tych rejonów:

☐ - intruzje porfiry, 1 - filar ochronny stacji Wałbrzych Główny, 2 - filar ochronny szybu Eugeniusz, 3 - filar ochronny wiaduktu, 4 - filar ochronny szybu Staszic i Zakładu Koksowniczego nr 4, 5 - strefa uskoku XIV (Kowalski, 2000)



Rys. 3.4.3. Eksploatacja w rejonie linii pomiarowej nr 1: – wiodąca w pokładzie 436/37 w filarze wiaduktu w latach 1970–1974, II kwartał – okres A, – towarzysząca od roku 1966 do 1974, II kwartał, tereny chronione: 1 – szymb Eugeniusz, 2 – stacja Wałbrzych Główny, 3 – wiadukt PKP na linii Kłodzko – Wałbrzych Główny, 4 – szymb Staszic i Zakład Koksowniczy nr 4; obiekty: 5 – obrotnica i lokomotywnia PKP, 6 – budynek dworca Wałbrzych Główny, 7 – tunel Wołowca, 8 – przepust wodny, 9 – baterie koksoownicze, 10 – wiadukt nad ul. Górniczą, 11 – staw PKP, 12 – stawy koksowni, 13 – stawy kopalni, – zabudowa dzielnicy Podgórze, – linia pomiarowa nr 1

3.4.2. Eksploatacja w filarze wiaduktu

Do eksploatacji (pierwszego pokładu 436/37) przystąpiono na początku roku 1970. Równocześnie z udzieleniem zezwolenia przez Okręgowy Urząd Górniczy w Wałbrzychu został powołany Zespół Filarowy koordynujący eksploatację w filarach ochronnych pola Mieszko kopalni Wałbrzych. Pierwsze inauguracyjne posiedzenie Zespołu Filarowego odbyło się 15.10.1970 roku, a ostatnie 77. posiedzenie 8.11.1995 roku. Zespół ten okresowo (zwykle dwa razy w roku) analizował przebieg eksploatacji oraz wyniki zaleconych obserwacji geodezyjnych i konstrukcyjno-budowlanych, na podstawie których podejmowano decyzje o wprowadzeniu lub o łagodzeniu rygorów, a także o odstąpieniu od niektórych z nich lub o odstąpieniu od robót profilaktycznych, zawartych w zezwoleniach OUG na podjęcie eksploatacji.

Łącznie w filarze ochronnym wiaduktu wyeksploatowano cztery pokłady:

- pokład 436/37 o grubości do 3,5 m z podsadzką suchą (lata 1970–1974),
- pokład 430 o grubości do 3,0 m z podsadzką suchą (lata 1975–1980),
- pokład 425/427 o grubości 2,0–5,0 m z podsadzką suchą (lata 1982–1985),
- pokład 441 o grubości do 2,0 m z zawałem stropu (lata 1990–1993).

Sumaryczna grubość wyeksploatowanych pokładów wynosiła około 10,0 m, a zalegały one na głębokości średnio 400 m.

Podsumowując przedstawione dane dotyczące wysokości, czasu i sposobu likwidacji przestrzeni wybieranych parcel eksploatacyjnych oraz analizę rysunku 3.4.2, można sformułować następujące wnioski:

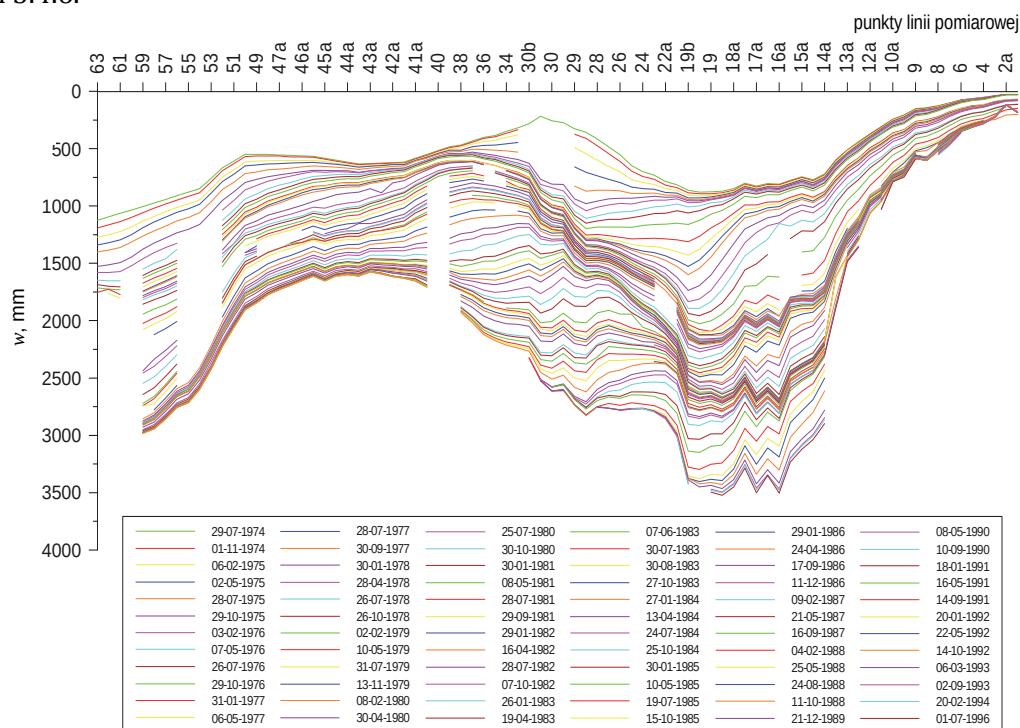
- Złoże o największej grubości zalegało w południowo-zachodniej części filara stacji Wałbrzych Główny. Z uwagi na ochronę powierzchni (tory stacyjne i przelotowe) nie było istotnych ograniczeń dla wybrania całej wiązki pokładów w tym rejonie.
- W kierunku na wschód analizowanego kompleksu filarów ochronnych złoże charakteryzowało się gorszymi warunkami eksploatacji. Istotny wpływ na to miały warunki tektoniczne (zwłaszcza uskok w filarze ochronnym wiaduktu) i intruzje porfirowe. Stwierdzono istotne wyklinowywanie się dużych parcel pokładów (np. 425/27, 430 i 441) w filarze ochronnym szybu Staszic i Zakładu Koksowniczego nr 4.

3.4.3. Deformacje wiaduktu

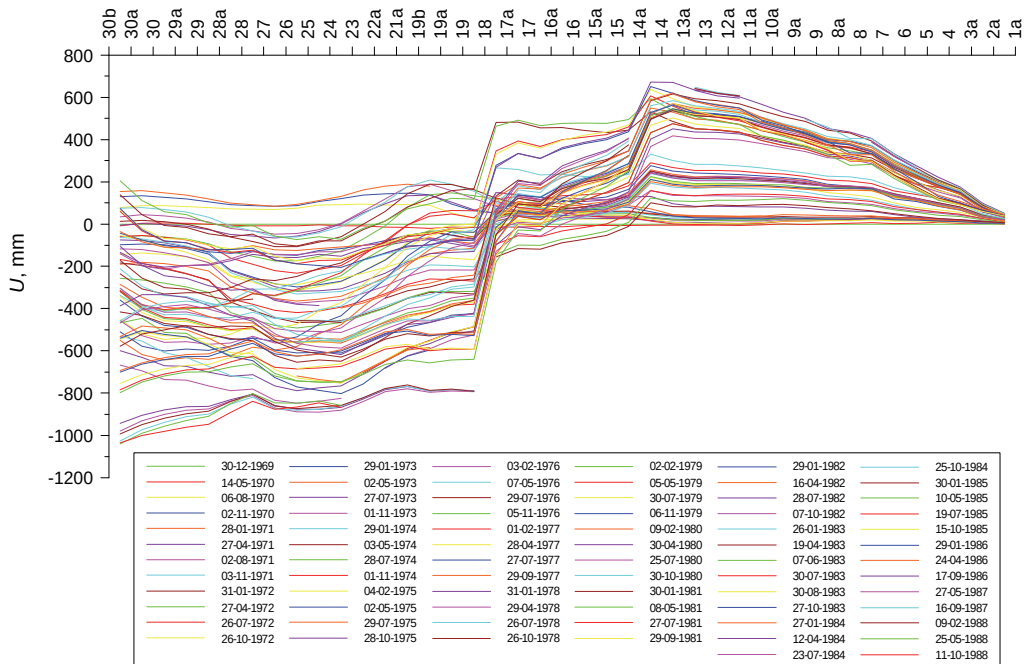
Dla celów związanych z określeniem wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię i górotwór, w szczególności na podłoże obiektów chronionych i na zabudowę dzielnicy Podgórze, wdrożony został obszerny program badań: geodezyjnych, fotogrametrycznych i budowlanych. Analiza uzyskanych wyników umożliwiła:

- określenie wpływu eksploatacji na stan techniczny obiektów,
- wzbogacenie wiedzy o procesie deformacji zachodzącym w górotworze w warunkach zagłębia wałbrzyskiego pozbawionego nadkładu warstw młodszych,
- zmodyfikowanie rygorów eksploatacyjnych, a także korektę programu dotyczącego obserwacji, częstotliwości i zakresu pomiarów.

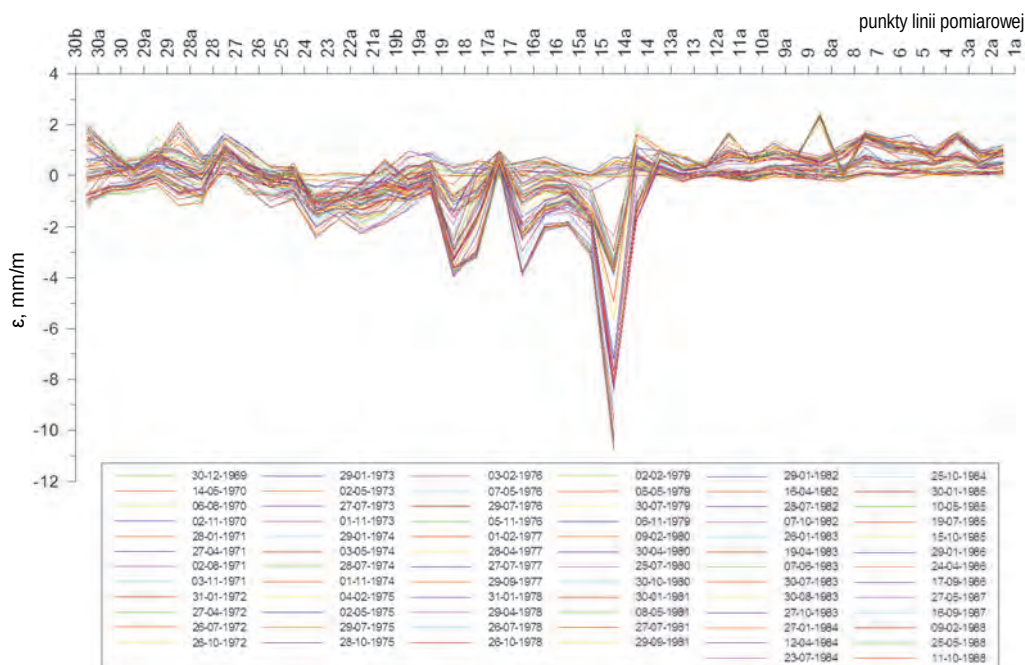
Lokalizację najważniejszej linii pomiarowej przedstawiono na rysunku 3.4.1. Obniżenia w , przemieszczenia poziome u oraz odkształcenia poziome ε na rozwinięciu linii pomiarowej z całego okresu obserwacji wzdłuż linii pomiarowej znajdującej się na stacji kolejowej i wiadukcie, pokazują rysunki 3.4.4, 3.4.5 i 3.4.6.



Rys. 3.4.4. Profile obniżenia między 29 lipca 1974 roku a 1 lipca 1996 roku wzdłuż linii pomiarowej (Kowalski, 2000)



Rys. 3.4.5. Przemieszczenia poziome wzdłuż linii pomiarowej do października 1988 roku (Kowalski, 2000)



Rys. 3.4.6. Odształcenia poziome na długości linii pomiarowej do października 1988 roku (Kowalski, 2000)

Przedstawione wykresy obrazują deformacje bez zachowania proporcji odległości i czasu. Z uwagi na w miarę regularne rozmieszczenie punktów pomiarowych i częstość pomiarów, takie przedstawienie nie zniekształca w istotny sposób wykresów deformacji. Na wykresach, gdzie proporcje czasowe są istotne, oś poziomą czasu zamiast datami obserwacji, wyskalowano równoodległościowymi w datach punktami czasowymi. Dodatkowo wartości przemieszczeń poziomych oznaczają przemieszczenia w kierunku zachodnim (w kierunku punktów 30b lub 63), ujemne – w kierunku wschodnim (do punktu 1a na tunelu Wołowca). Na rysunkach 3.4.4–3.4.6 wiadukt zlokalizowany jest między punktami 16a i 19b.

W całym okresie obserwacji, tj. od roku 1969 do 1988, największe wskaźniki deformacji wiaduktu były następujące:

- obniżenia do 3,5 m(!),
- przemieszczenia poziome od +0,6 m w kierunku zachodnim do -1,0 m w kierunku wschodnim,
- odkształcenia poziome od +2,0 do -4,0 mm/m, z wyjątkiem strefy nieciągłości, gdzie wynosiły -10,0 mm/m.

3.4.4. Prognozowane, a pomierzone deformacje w rejonie wiaduktu

W tabeli 3.4.1 porównano prognozowane ekstremalne obniżenia i odkształcenia poziome powierzchni w rejonie wiaduktu, spowodowane eksploatacją poszczególnych pokładów (na podstawie wcześniejszych ekspertyz i pomierzone, odpowiadające wartościom przedstawionym na wykresach dla pokładu 436/437 – rys. 3.4.6).

Tabela 3.4.1. Prognozowane i pomierzone obniżenia oraz ekstremalne odkształcenia poziome powierzchni w rejonie wiaduktu, spowodowane eksploatacją pokładów wiodących w jego filarze ochronnym

Pokład	Prognoza			Pomiar		
	w, m	$\varepsilon > 0$, mm/m	$\varepsilon < 0$, mm/m	w, m	$\varepsilon > 0$, mm/m	$\varepsilon < 0$, mm/m
436/37	0,94	+2,0	-3,1	0,88	+2,0	-1,6-(-3,9)
430	1,015	+2,8	-2,8	1,25	+1,0	-2,0-(-4,6)
425/427	0,84	+3,2	-3,2	0,55-0,75	+1,0-2,0	-1,7-(-2,5)
441	0,56	+1,0	-1,6	0,72	-	-

Z tabeli 3.4.1 wynika, że między prognozowanymi wartościami wskaźników deformacji powierzchni a wartościami pomierzonymi są różnice. Spowodowane są one głównie zmianami zakresu dokonanej eksploatacji i wysokości furty eksploatacyjnej (grubości) w stosunku do projektu oraz rozproszeniem procesu deformacji.

W czasie prowadzenia eksploatacji, wykorzystując wykonane pomiary deformacji, często korygowano prognozę deformacji powierzchni, uwzględniając dokonane odstępstwa od projektu eksploatacji i poprawione (wyznaczone) parametry teorii.

Na podstawie wyników pomiarów obniżeń spowodowanych eksploatacją dwóch pierwszych pokładów 436/37 i 430 w filarze ochronnym wiaduktu wyznaczono parametry teorii Knothego-Budryka. Dla pierwszego pokładu 436/37 parametry teorii wynosiły:

- współczynnik eksploatacyjny dla podsadzki pneumatycznej $a = 0,51$,
- parametr górotworu $\operatorname{tg}\beta = 1,2$.

Dla eksploatacji drugiego pokładu 430, eksploatowanego także z podsadzką pneumatyczną, parametry wynosiły:

- współczynnik eksploatacyjny $a = 0,65$,
- parametr górotworu $\operatorname{tg}\beta = 0,9$.

Współczynnik eksploatacyjny a wyznaczony dla prowadzonej z zawałem eksploatacji ostatniego pokładu 441 wynosił 0,76. Przy wyznaczeniu parametrów nie uwzględniono tak zwanego obrzeża eksploatacyjnego, ze względu na występowanie w sąsiedztwie wcześniej eksploatowanych parcel.

Współczynnik czasu dla eksploatacji pokładów węgla w filarze ochronnym wiaduktu, wyznaczony na podstawie obniżeń punktów 18 i 19, wynosił:

- $c = 1,0 \text{ rok}^{-1}$ dla eksploatacji pokładu 436/37,
- $c = 1,5 \text{ rok}^{-1}$ dla eksploatacji pokładu 430,
- $c = 1,4 \text{ rok}^{-1}$ dla eksploatacji pokładu 425/27,
- $c = 1,5 \text{ rok}^{-1}$ dla eksploatacji pokładu 441.

Wyznaczone parametry teorii świadczą o występowaniu dalekiego zasięgu wpływów, znacznie większych niż w kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, dla którego najczęściej $\operatorname{tg}\beta = 1,5\text{--}2,0$. Współczynnik eksploatacyjny dla podsadzki pneumatycznej był również większy niż dla analogicznej podsadzki stosowanej w warunkach kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego; przykładowo w kopalni Pstrowski (eksploatacja prowadzona w latach siedemdziesiątych ubiegłego stulecia) współczynnik ten wynosił $a = 0,36$. Współczynnik czasu ujawniania się wpływów świadczy o długim okresie ujawniania się deformacji i mniejszej prędkości ich narastania niż w analogicznych warunkach w GZW.

Eksploatacja górnicza prowadzona w filarze ochronnym wiaduktu na linii Kłodzko – Wałbrzych stanowi wzorcowy przykład współpracy górników, użyt-

kowników powierzchni i pracowników ośrodków naukowych, uwzględniającej dążenie do minimalizacji deformacji powierzchni terenu i do ograniczenia skutków tych deformacji w wiadukcie.

Ogólne spojrzenie na przedstawione wyniki analiz pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

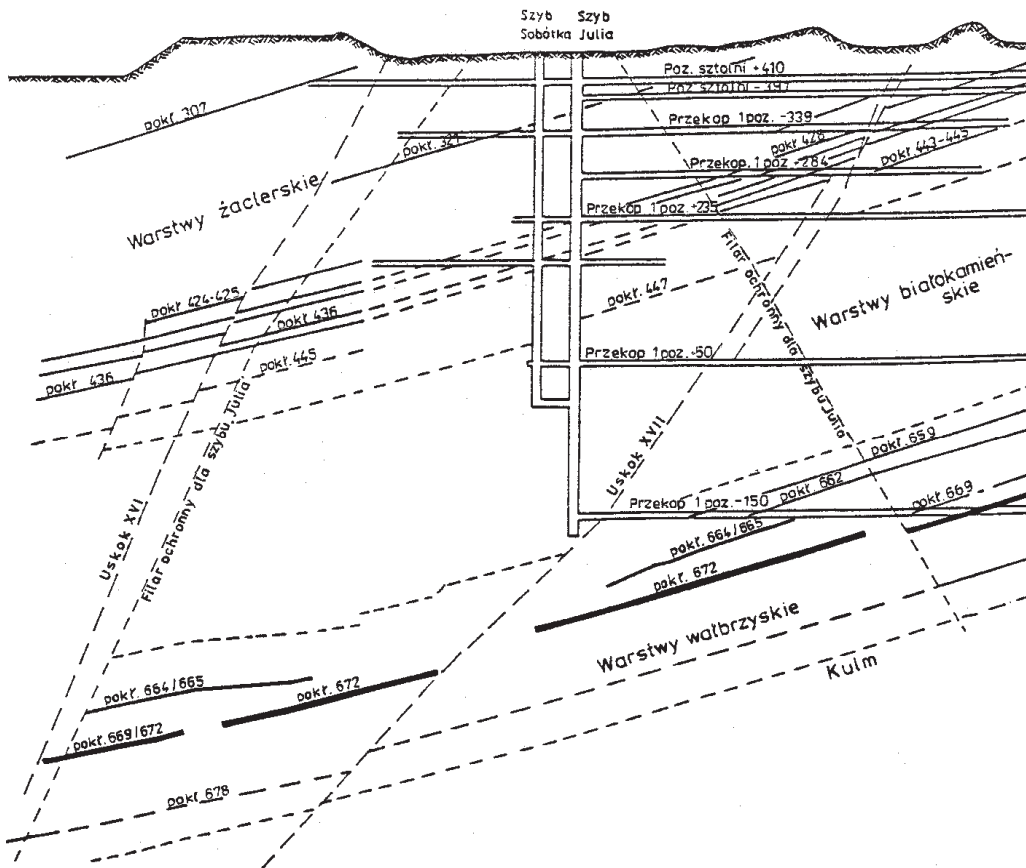
- wykonane zabezpieczenie wiaduktu okazało się właściwe,
- prowadzenie obserwacji w newralgicznych punktach za pomocą kilku uzupełniających się metod było użyteczne, szczególnie w przypadkach wystąpienia nieciągłości (nieprognozowanych) i wymagających podjęcia bieżących działań rektyfikacyjnych (przesła wiaduktu były dwukrotnie odprężane),
- prognozowanie deformacji było utrudnione ze względu na: specyficzną budowę geologiczną, warunki górnicze i zaistniałe wcześniej deformacje,
- wyniki wstępnych analiz teoretycznych zachowania się konstrukcji wiaduktu pod wpływem zaistniałych odkształceń terenu i przemieszczeń podpór okazały się trafne,
- w obrębie wiaduktu wystąpiły nieciągłości; ich bezpieczne przejście ułatwił jednak ich rodzaj (odkształcenia poziome o charakterze ściskania) – zbliżanie się do siebie podpór wiaduktu i ich wartości mieszczące się w ramach przystosowań konstrukcji wiaduktu.

3.5. Deformacje powierzchni w filarze ochronnym szybów głównych kopalni Thorez (Julia)

Eksploracja górnicza w filarach ochronnych szybów Julia i Sobótka stanowi przykład ważnego i jednocześnie trudnego pod względem technicznym przedsięwzięcia. Prowadzona była bowiem jednocześnie w dwóch pokładach, głównie z zawałem stropu, pod jedynym szybem wydobywczym Julia.

Podjęcie planowej eksploatacji w filarze podyktowane było wyczerpywaniem się zasobów węgla w kopalni i korzystnymi parametrami techniczno-ekonomicznymi eksploatacji, nie wymagało też wykonywania robót udostępniających i przygotowawczych w szerokim zakresie; możliwe było również uzyskanie koncentracji wydobywania.

Podstawowym założeniem eksploatacji górniczej było zachowanie funkcjonalności szybu Julia i głównych wyrobisk przyszybowych. Eksploatację w filarze rozpoczęto w lutym 1980 roku i trwała ona do września 1996 roku (data likwidacji kopalni). Eksploatowane były zalegające w warstwach wałbrzyskich pokłady 664/665 i 669/672 (rys. 3.5.1 i rys. 3.5.2). Wydobyto 2,2 mln Mg węgla koksowego.



Rys. 3.5.1. Filar ochronny szybu Julia i Zakładu Koksowniczego nr 3 (Kowalski, 2000)

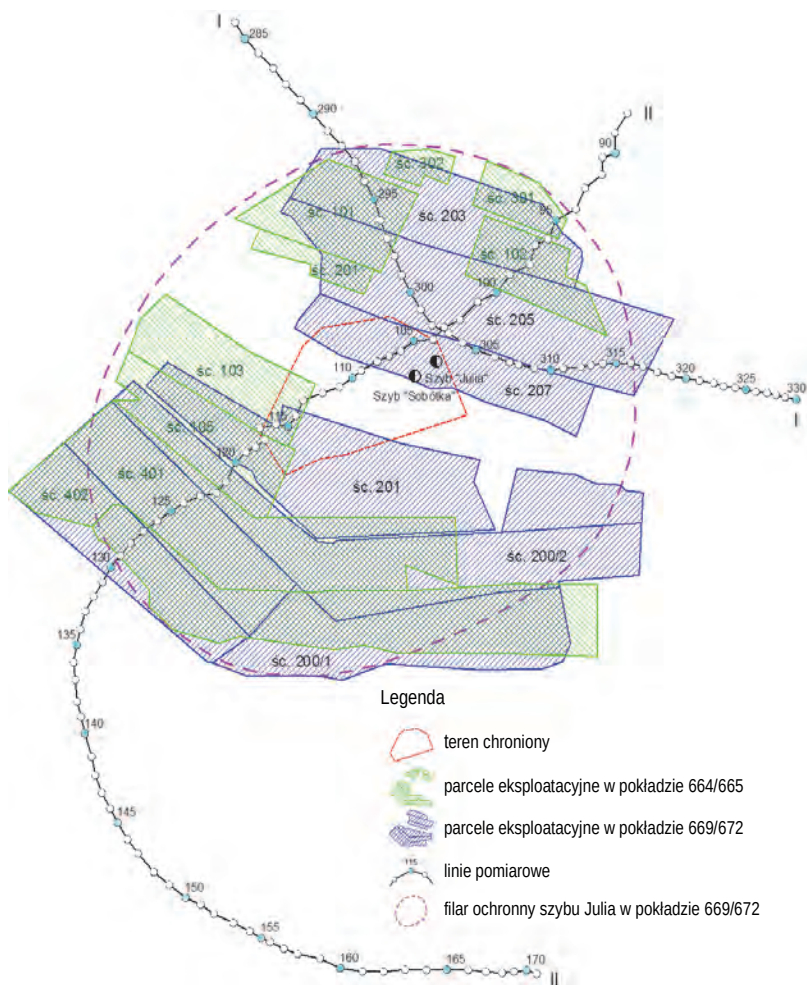
Nadzór naukowo-techniczny nad przebiegiem eksploatacji w filarze oraz ochroną wyrobisk górniczych i obiektów na powierzchni sprawował Główny Instytut Górnictwa w Katowicach.

Szyb Julia, mający głębokość 611,5 m, pełnił podczas eksploatacji wymienionych pokładów funkcję głównego szybu wydobywczo-zjazdowego. Uzbrojenie szybu stanowiły:

- dźwigary stalowe o przekroju dwuteowym do głębokości 408 m i o tzw. przekroju skrzynkowym na pozostałym odcinku szybu, zabudowane co 2 m,
- prowadniki drewniane,
- pomosty spoczynkowe z drabinami.

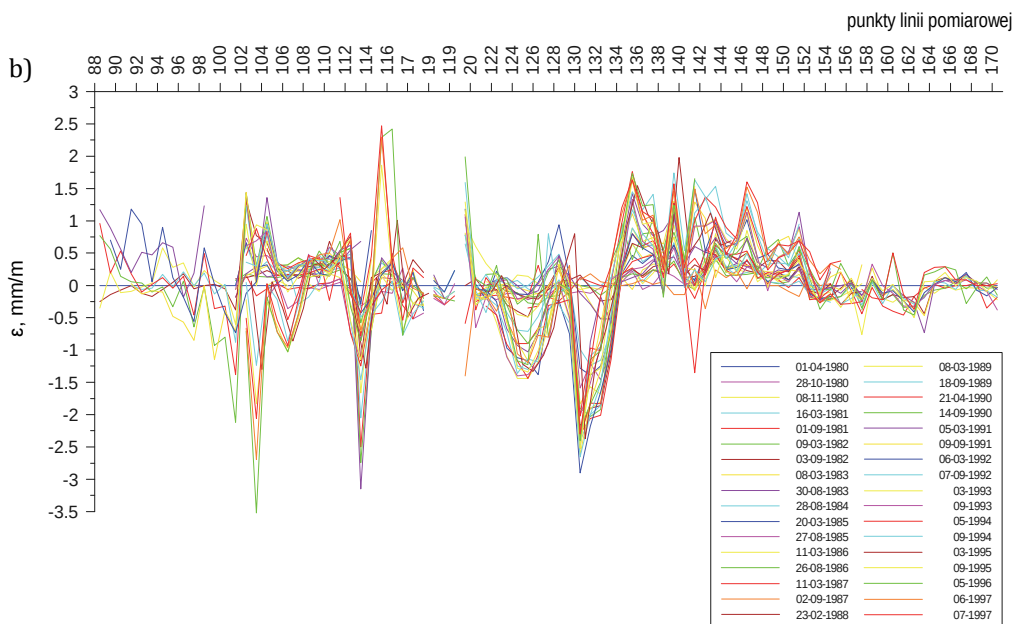
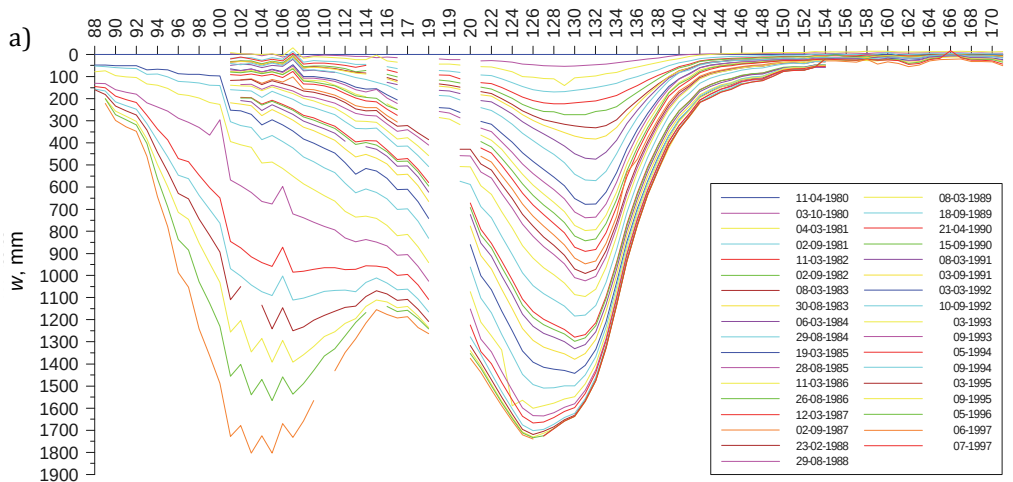
Obudowę szybu Julia stanowiła konstrukcja murowa o grubości 0,5 m, wykonana z cegły. Do jej upodatkowania, na odcinku 150 m od zrębu, zabudowane zostały drewniane wkładki o grubości 5 cm, w odległości co 10 m. Zabezpieczeniami objęto też: prowadniki szybowe, dźwigary, rurociągi, kable i przedział

drabinowy. W miejscach spodziewanych największych deformacji, tj. na głębokości 460, 515 i 560 m, obudowę upodatkowano przez ułożenie w jej wycięciach (na całym obwodzie) wkładek podatnych o wysokości 0,5 m, wykonanych z płyt wiórowo-cementowych przełożonych deskami. Eksploatację górniczą w filarze ochronnym szybu podjęto w pokładzie 672, który w południowej części filara występował łącznie z pokładem 669. Drugim pokładem eksploatowanym w filarze był pokład 664/665 zalegający 40–50 m powyżej pokładu 672. Wybieranie pokładu 664/665 rozpoczęto w sierpniu 1983 roku, także od południowej granicy filara.



Rys. 3.5.2. Schemat eksploatacji górniczej pokładów 664/665 i 669/672 w filarze ochronnym szybu Julia i usytuowanie linii obserwacyjnych na powierzchni (Kowalski, 2000)

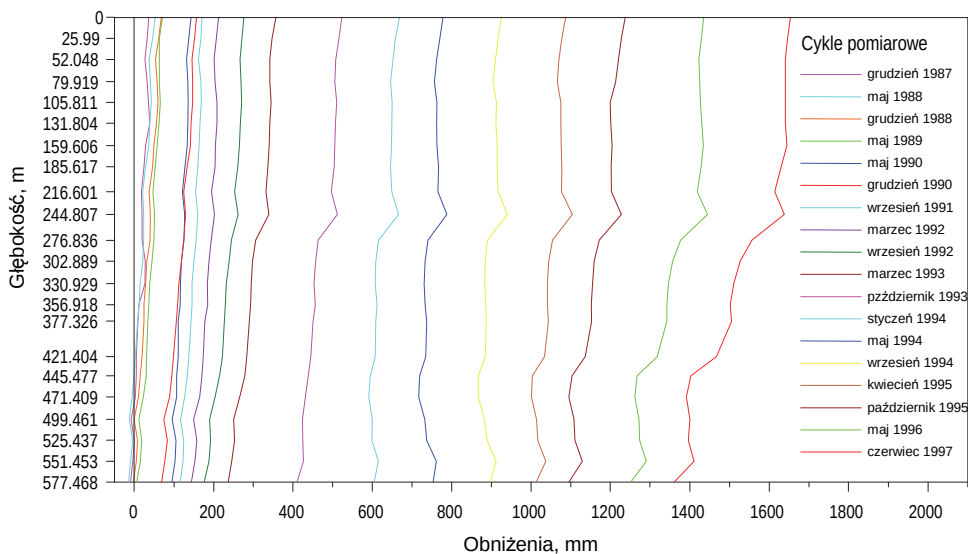
Wyniki pomiarów obniżen i odkształceń poziomych przedstawiono na rysunku 3.5.3.



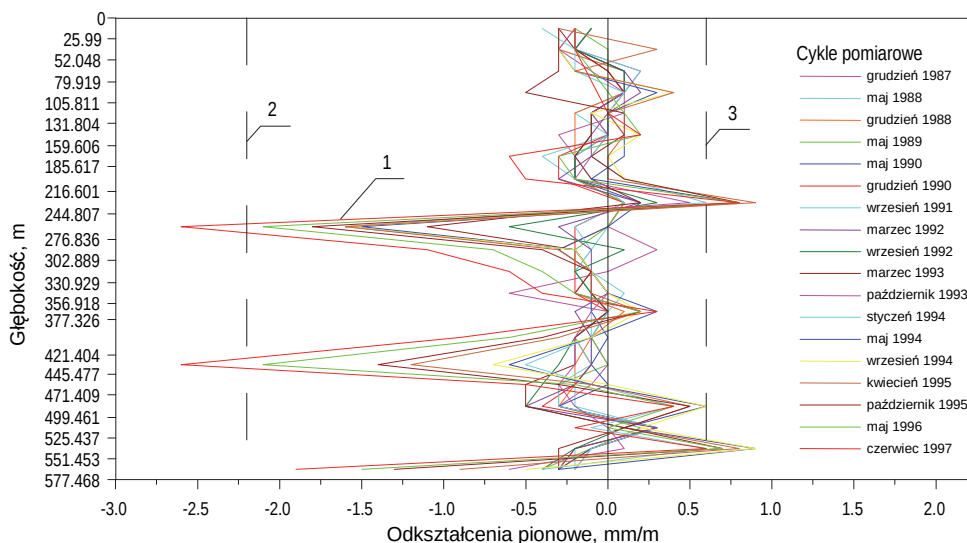
Rys. 3.5.3. Deformacje terenu wzdłuż rozwinięcia linii pomiarowej II-II (linii wzdłuż PKP) powstałe pod wpływem eksploatacji górniczej pokładów 664/665 i 669/672: a – obniżenia, b – odkształcenia poziome (Kowalski, 2000)

Największe obniżenia terenu chronionego wystąpiły w bezpośrednim sąsiedztwie szybu Julia, wynosiły one 1725 mm. Poza terenem chronionym największe obniżenia wynoszące 1740 mm pomierzono w pobliżu południowej krawędzi pola eksploatacyjnego w pokładzie 664/665.

Na terenie chronionym wartości odkształceń wynosiły od $+2,5$ mm/m w południowo-zachodniej jego części do $-3,5$ mm/m. Podobne wartości odkształceń stwierdzono wzdłuż linii kolejowej PKP relacji Jelenia Góra – Wrocław (linia II-II), natomiast odkształcenia wynoszące ± 4 mm/m – wzdłuż ul. Wysockiego (linia I-I). Deformacje, obniżenia i odkształcenia pionowe obudowy szybu Julia przedstawiono na rysunkach 3.5.4 i 3.5.5.



Rys. 3.5.4. Obniżenia szybu Julia (Kowalski, 2000)



Rys. 3.5.5. Odkształcenia pionowe obudowy szybu Julia: 1 – okresowe wyniki pomiarów odkształceń, 2, 3 – dopuszczalne odkształcenia pionowe obudowy (Kowalski, 2000)

Końcowe wartości deformacji szybu określone w czerwcu 1997 roku, tj. po dziewięciu miesiącach od czasu zakończenia eksploatacji w filarze, wynosiły:

- obniżenia 1653 mm w rejonie zrębu szybu i 1361 mm w jego rzępiu, a więc szyb uległ skróceniu o 292 mm,
- przemieszczenia poziome (wychylenia szybu) 135 mm w górnej części szybu i 109 mm w rejonie dna szybu; szyb został trwale wychylony w kierunku północno-wschodnim,
- odkształcenia pionowe od +0,8 do -2,6 mm/m.

Przeprowadzona w latach 1980–1996 eksploatacja górnicza pokładów 664/665 i 669/672 w filarze ochronnym szybu Julia była udanym przedsięwzięciem. Wykazała, że przy zastosowaniu odpowiedniej profilaktyki górniczej i budowlanej, możliwe było wybranie złoża systemem z zawałem stropu, przy zachowaniu ochrony obiektów na powierzchni. Przez cały okres prowadzenia eksploatacji górniczej w filarze utrzymywana była funkcjonalność szybu Julia – szybu wydobywczego kopalni oraz komór pomp głównego odwadniania i rozdzielni WN na poziomie -150 m.

3.6. Deformacje powierzchni po zakończeniu eksploatacji górniczej

3.6.1. Przemieszczenia pionowe po zakończeniu eksploatacji

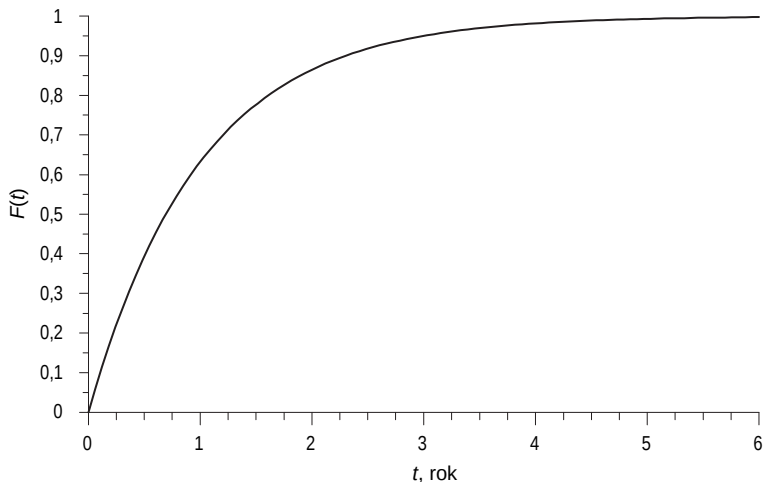
Po przyjęciu funkcji czasu Knothego w postaci $F(t) = 1 - e^{-ct}$ (Knothe, 1953b), wyznaczono wartość współczynnika czasu dla głębokości eksploatacji 700 m (ostatnia eksploatacja w rejonie szybów Julia i Sobótka), która wynosiła $c = 1,0 \text{ rok}^{-1}$.

Jeśli jako granicę zaniku przyrostów deformacji po zakończeniu eksploatacji przyjmie się przyrost obniżeń $\Delta w = 10 \text{ mm}$ to, przy spodziewanym $w_k = 1 \text{ m}$, wartość funkcji $F(t) = 1 - \Delta w/w_k = 0,99$, a postać funkcji czasu zaniku przyrostów deformacji, po przekształceniu funkcji czasu Knothego, ma postać

$$t = -\frac{1}{c} \ln \left(\frac{\Delta w}{w_k} \right) \quad (3.6.1)$$

Na rysunku 3.6.1 przedstawiono zależność ujawniania się bezpośrednich deformacji od czasu, jaki upłynął od zakończenia eksploatacji.

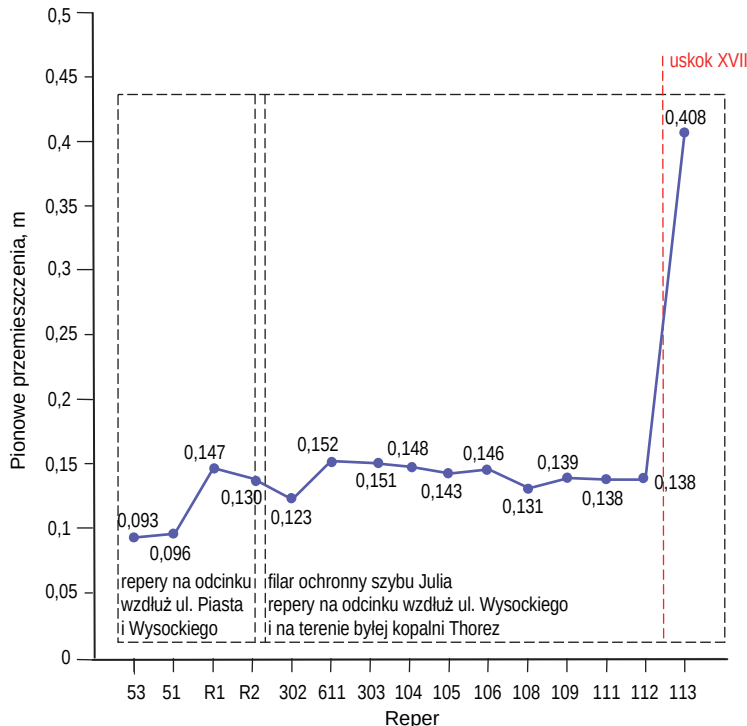
Po podstawieniu do wzoru (3.6.1) wartości współczynnika czasu $c = 1,0 \text{ rok}^{-1}$, czas zaniku przyrostów deformacji w WKWK wynosi 4,6 roku. Po tym czasie teren można uznać za wstępnie wolny od wpływów bezpośrednich.



Rys. 3.6.1. Przebieg funkcji czasu $F(t)$ dla $c = 1,0 \text{ rok}^{-1}$ (Kowalski, 2000)

Obszar kopalń wałbrzyskich po zakończonej eksploatacji nie był kompleksowo objęty monitorowaniem geodezyjnym ukierunkowanym na określenie aktywności powierzchni terenu. Wykonywano jedynie pomiary wysokościowe na małych fragmentach powierzchni w pierwszych latach po zakończeniu wydobywania (Kowalski, 2000). Objęto nimi 152 repery, stosując metodę niwelacji precyzyjnej II klasy, na sumarycznej długości ciągów 27,2 km (rys. 3.6.2). Błąd średni najślabiej określonego punktu wysokościowego w rejonie szybu Julia wynosił $\pm 6,4 \text{ mm}$. Kontynuacją były pomiary obniżen wykonane w ramach pracy doktorskiej Milczarka (2011). Na ich podstawie stwierdzono, że w okresie 2000–2008 zarejestrowano podniesienie terenu do 0,15 m (rys. 3.6.3). W roku 2002 nastąpiło zakończenie rekonstrukcji zwierciadła wód karbońskich (Fischer, 2017). Dlatego podnoszenie się grupy punktów na powierzchni można wiązać z odbudową karbońskiego poziomu wodonośnego – rysunek 3.6.3.

Niezależnie Kłyż (2011), w ramach pracy inżynierskiej, wykonał kolejny pomiar niwelacji precyzyjnej II klasy, obejmujący część sieci z lat 1999–2000, w tym fragment linii obserwacyjnej złożonej z punktów ziemnych na poboczu ul. Wysockiego (rejon szybu Julia) i reperów ściennych na ul. Piasta (rejon na wschód od szybu Jan) – rysunek 3.6.2. Wykazał wypiętrzenia terenu, których wielkość zarejestrowana na punktach obserwacyjnych wynosiła od 0,06 do 0,13 m. Obliczone wypiętrzenia były większe od błędu granicznego równego $\pm 11,4 \text{ mm}$, co oznacza, że pomierzone wartości były wiarygodne. Nie jest możliwe ustalenie, kiedy rozpoczął się proces wypiętrzania górotworu, przypuszcza się, że było to w roku 2003, po zakończeniu zatapiania zrobów.



Rys. 3.6.3. Zmiany wysokości reperów w obszarze filara ochronnego szybu Julia w latach 2000–2008 (Milczarek, 2011)

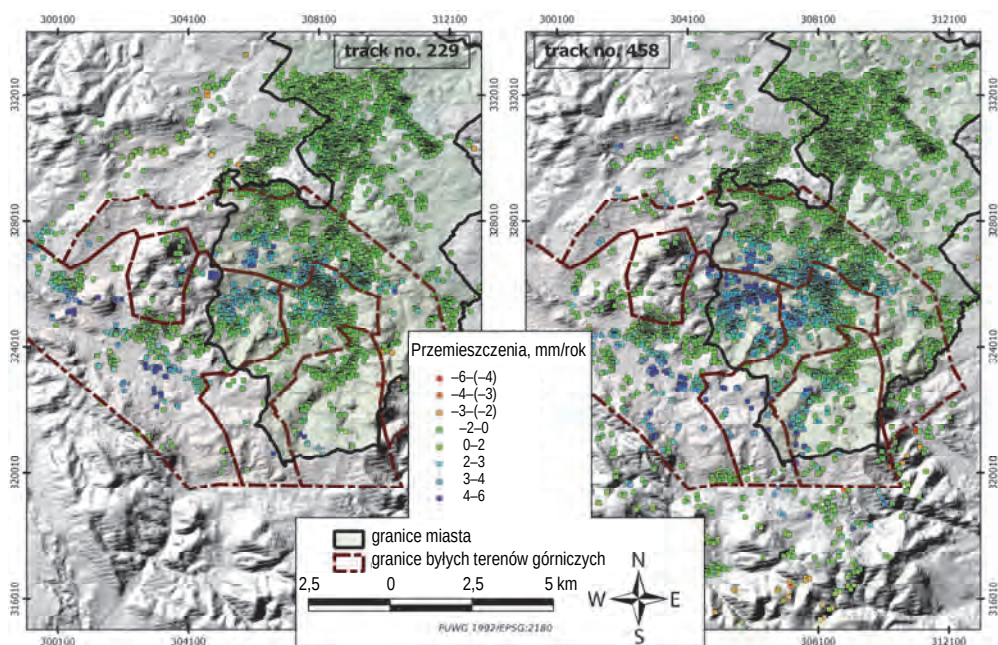
Ciekawego spostrzeżenia dotyczącego podnoszenia się powierzchni terenu na skutek zatopienia zrobów kopalń w Wałbrzychu dokonali Blachowski, Milczarek i Grzempowski (2015). Wykazali oni, że obszary o największym wypiętrzaniu powierzchni, które wynosiło 0,237 m, są zbieżne przestrzennie z obszarami największych obniżen w okresie końcowej fazy eksploatacji w kopalniach w Wałbrzychu (1972–1993). Wartości podnoszenia powierzchni, określone dla lat 1993–2014, są o rząd do dwóch rzędów wielkości mniejsze niż obniżenia.

Kompleksowe pomiary przemieszczeń pionowych powierzchni terenu na obszarze Wałbrzycha prowadzone są dopiero od roku 2014, ponad 15 lat od likwidacji zakładów górniczych. Przeprowadzone do tej pory pomiary geodezyjne techniką niwelacji precyzyjnej na około 500 punktach wskazują, że w dalszym ciągu powierzchnia terenu wykazuje aktywność. Lokalnie obserwowane są obniżenia terenu rzędu -5 mm/rok (rys. 3.6.4).

Brak danych geodezyjnych dla całego obszaru byłego zagłębia w okresie poeksploatacyjnym uniemożliwił przeprowadzenie analizy zjawiska deformacji wtórnych. W związku z powyższym należało znaleźć inne źródło opisujące

zachowanie się powierzchni terenu w analizowanym okresie. Wykorzystano satelitarną interferometrię radarową (SAR). W oparciu o metody PSInSAR i SBAS przeprowadzono obliczenia dla całego okresu poeksploatacyjnego, wykorzystując dane radarowe pochodzące z satelitów ERS 2, Envisat i Sentinel 1A.

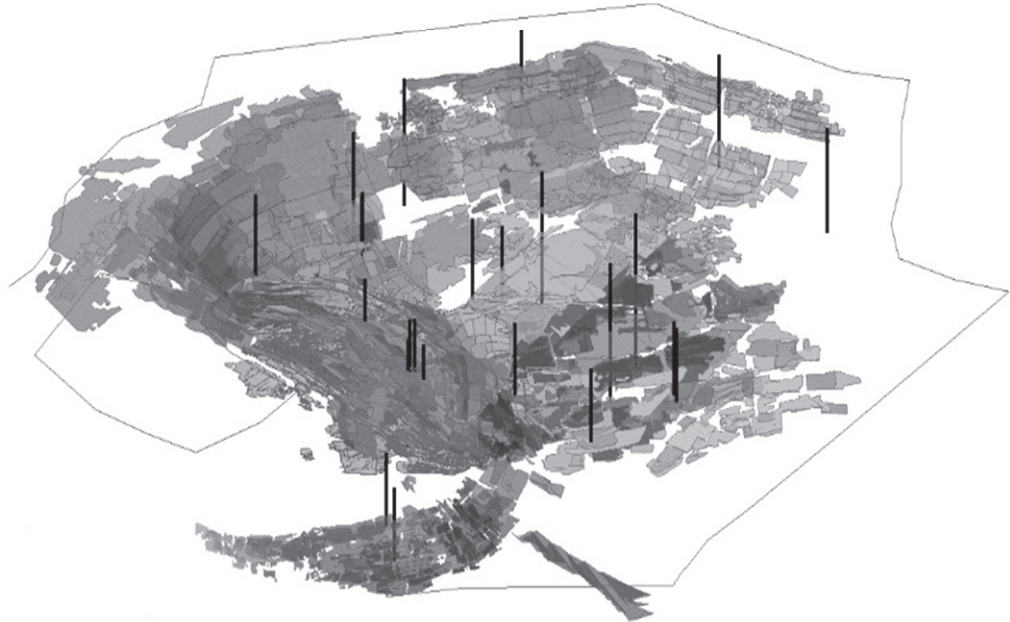
Otrzymane wyniki wykazały korelację procesu zatapiania kolejnych podziemnych zbiorników wodnych z występowaniem wypiętrzeń powierzchni terenu po zakończeniu eksploatacji. Natomiast po okresie odbudowy poziomów wodonośnych powierzchnia górotworu lokalnie, choć w dużo mniejszym stopniu, ale w dalszym ciągu obniża się.



Rys. 3.6.4. Wyniki pomiarów techniką niwelacji precyzyjnej w latach 2014–2016 (Milczarek, 2017)

3.6.2. Bazy danych GIS

Do wspomagania badań deformacji powierzchni terenu górniczego i pogórniczego w dawnych podziemnych kopalniach węgla kamiennego w Wałbrzychu zespół pod kierunkiem Blachowskiego zbudował system informacji o deformacjach górniczych (DIS) (Blachowski, Milczarek i Stefaniak, 2014). System integruje dane przestrzenne i atrybutowe oraz wykorzystuje interaktywne trójwymiarowe modele geologiczne. Przykład wykorzystania bazy danych do wizualizacji parcel eksploatacyjnych i głównych szybów kopalń przedstawiono na rysunku 3.6.5.



Rys. 3.6.5. Fragment przestrzennej bazy danych GIS dla kopalń w Wałbrzychu
(Blachowski, Milczarek i Stefaniak, 2014)

W opracowanym systemie baz danych zastosowano narzędzia do analizy przestrzennej oparte na funkcjach interpolacyjnych i algebrze mapy, które dostarczają ilościowych informacji o deformacjach powierzchni dla prowadzonej w latach 1886–2009 działalności górniczej, przy braku innych źródeł danych o zmianach wysokości powierzchni terenu. Porównano modele numeryczne terenu (NMT) otrzymane na podstawie map topograficznych z uzyskanymi z ortofotomap. Na tej podstawie zidentyfikowano obszary przekształceń funkcji terenu i porównano je z obecnym zagospodarowaniem. Wyznaczono obszary obniżenia terenu spowodowanych podziemną eksploatacją pokładów węgla i obszary podniesienia powierzchni terenu w wyniku rozwoju hałd górniczych.

Metoda oparta na analizie GIS pozwala na określenie obniżenia terenu, który przez wiele lat był pod wpływem działalności górniczej i na analizę ich zmian w przeszłości.

3.7. Inwentaryzacja wyrobisk mających kontakt z powierzchnią

3.7.1. Wyniki inwentaryzacji

Łączna liczba wyrobisk (szybów i sztolni) zidentyfikowanych w obrębie dawnych obszarów górniczych kopalń w Wałbrzychu wynosi 669, a w obrębie

terenu kopalni Nowa Ruda – 246 (Kowalski i Kotyrba, 2017). Na obszarze zlikwidowanej kopalni barytu w Boguszowie-Gorcach zidentyfikowano cztery szyby.

Proces inwentaryzacji wyrobisk górniczych mających połączenie z powierzchnią obejmował:

- kwerendę archiwów map górniczych,
- wykonanie pomiarów geodezyjnych wyrobisk górniczych i określenie współrzędnych tych wyrobisk w układzie współrzędnych 2000,
- wykonanie dokumentacji fotograficznej przedstawiającej aktualny stan powierzchni terenu w rejonie wyrobisk górniczych,
- opracowanie kart informacyjnych i parametrycznych wyrobisk górniczych,
- opracowanie kart oceny zagrożenia i ryzyka ze strony wyrobisk górniczych,
- utworzenie relacyjnej bazy danych wyrobisk górniczych,
- sporządzenie map w skali 1:5000 ze wskazaniem lokalizacji połączeń z powierzchnią wyrobisk górniczych.

Podstawą teoretyczną wykonania inwentaryzacji i opracowania jej wyników była metodyka powstała w Głównym Instytucie Górnictwa w roku 2012, której główne założenia zostały opublikowane (Frolik i Kotyrba, 2015). Zakończenie prac nastąpiło w czerwcu 2016 roku, a wyniki przekazano do Archiwum Dokumentacji Mierniczo-Geologicznej w Wyższym Urzędzie Górniczym w Katowicach.

Wyniki inwentaryzacji udokumentowano w postaci papierowej (10 tomów) i w wersji elektronicznej, która zawiera relacyjną bazę danych.

Do poszczególnych kategorii zagrożenia zaliczono:

- kategoria I: brak zagrożenia – 16 wyrobisk,
- kategoria II: zagrożenie małe – 636 wyrobisk,
- kategoria III: zagrożenie średnie – 267 wyrobisk,
- kategoria IV: zagrożenie duże – 0 wyrobisk.

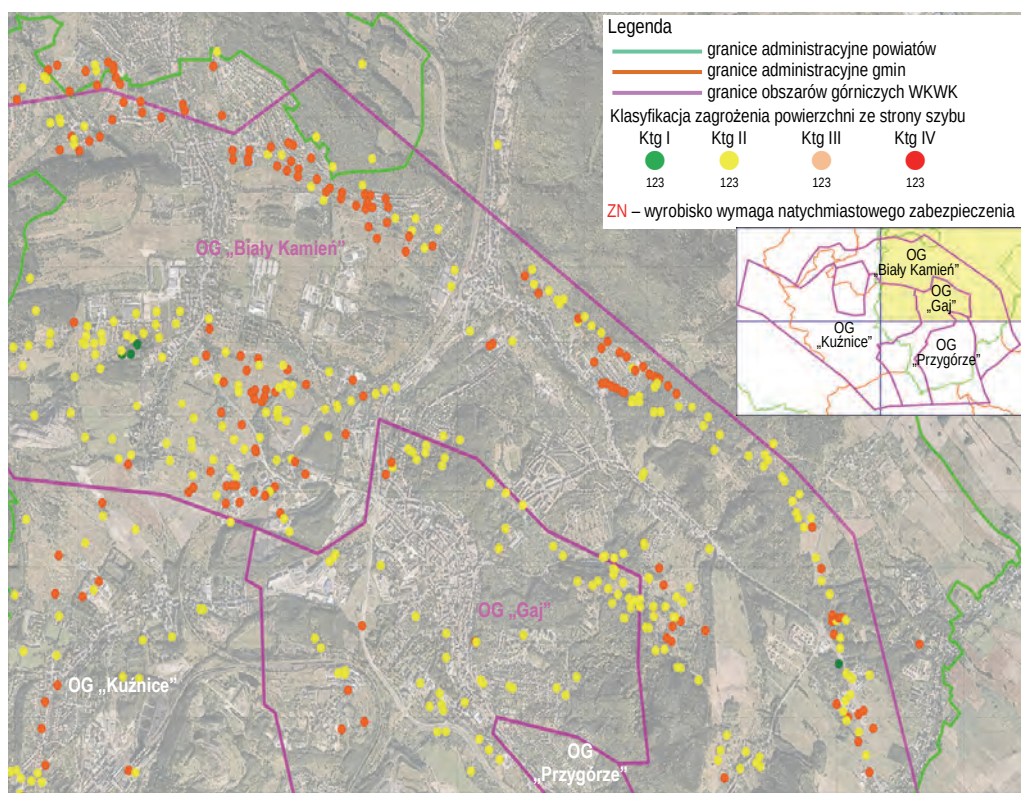
Na podstawie wizji lokalnej wskazano 24 wyrobiska, które stwarzają potencjalne zagrożenie dla bezpieczeństwa użytkowników terenu i wymagają podjęcia działań zabezpieczających.

W klasyfikowaniu ryzyka zagrożenia powierzchni ze strony szybów przyjęto charakterystyki potencjalnych szkód według schematu przedstawionego w tabeli 3.7.1. Zamieszczony tam wykaz rozmiaru szkód należy interpretować w ten sposób, że zaliczając szyb do wyższej kategorii nie można wykluczać skutków odpowiadających niższej kategorii.

Tabela 3.7.1. Szkody spowodowane zawaleniem się szybu, odpowiadające kategorii zagrożenia

Rozmiar szkody	Opis	Kategoria zagrożenia	Koszt naprawy szkody, zł
Katastrofa	uszkodzenie linii kolejowej lub drogowej, obiektu budowlanego, wypadek zbiorowy (ofiary śmiertelne)	IV	> 10 mln
Wypadek	uszkodzenie linii kolejowej lub drogowej, obiektu budowlanego, wypadek indywidualny lub zbiorowy bez ofiar	III	1–10 mln
Szkoda budowlana	uszkodzenie linii kolejowej lub drogowej, obiektu budowlanego	II	0,1–< 1 mln
Szkoda gruntowa	lej zapadliskowy wymagający rekultywacji, utrata wartości nieruchomości	II	< 0,1 mln

Wyniki klasyfikacji szybów wałbrzyskich kopalń węgla kamiennego i barytu w sposób graficzny przedstawiono na rysunku 3.7.1 [jest to jedna z czterech sekcji Wałbrzycha (NE)].



Rys. 3.7.1. Lokalizacja wyrobisk górniczych mających połączenie z powierzchnią kopalń węgla kamiennego i barytu w Wałbrzychu – północno-wschodnia sekcja ortofotomapy

Ryzyko z tytułu zagrożenia można ograniczać przez wykonywanie badań geofizycznych i rozpoznawanie za pomocą wierceń geologicznych. Na koszt naprawy szkody będą składać się wszystkie wydatki poniesione w związku z wystąpieniem zdarzenia zapadliskowego, takie jak: koszty ekspertyz, badań, prac ratunkowych, projektów i prac dotyczących likwidacji szkody, a także roszczenia finansowe rodzin ofiar w przypadku wystąpienia szkód o rozmiarze katastrofy lub wypadku oraz właścicieli uszkodzonych obiektów budowlanych i nieruchomości.

3.7.2. Przykłady lokalizacji i stanu wyrobisk mających połączenie z powierzchnią

W czasie przeprowadzania inwentaryzacji napotkano różny stan szybów.

Przykład 1: Szyby i obiekty kopalni Tiefbau (szyby Hans Heinrich i Marie) – stan około roku 1920 (fot. 3.7.1).



Fot. 3.7.1. Panorama kopalni Tiefbau z końca XIX wieku – widok na północny zachód, rejon późniejszej galerii Victoria w Wałbrzychu (Kowalski, 2008)

Po roku 1945 szyby znalazły się w obszarze górniczym kopalni Wałbrzych; zlikwidowano je w latach 1956–1957. Szyb Jan-Henryk (na fot. 3.7.1 po prawej stronie) miał głębokość 480 m, szyb Maria, znajdujący się w odległości 20 m od szybu Jan-Henryk, miał głębokość 300 m. Na powierzchni nie było śladów

po ich likwidacji, teren stanowiły nieużytki. W związku z budową galerii Victoria szyby zostały zlokalizowane i odkryte w roku 2008 (Kowalski, 2008) – fotografie 3.7.2 i 3.7.3.



Fot. 3.7.2. Szyb Maria – odsłanianie płyty przykrywającej wylot szybu
(fot. K. Kominowski)



Fot. 3.7.3. Szyb Maria – niezasypany odcinek szybu pod płytą, na głębokości 7,0 m
(fot. K. Kominowski)

Po ich odkryciu (odsłonięciu płyty) przy powierzchni stwierdzono pustki. Zo-
stały one zlikwidowane przez zasypanie i zabudowę studni o głębokości około
5 m i średnicy około 1 m (fot. 3.7.4).



Fot. 3.7.4. Przykład ponownej likwidacji szybu Jan-Henryk (fot. S. Siwek)

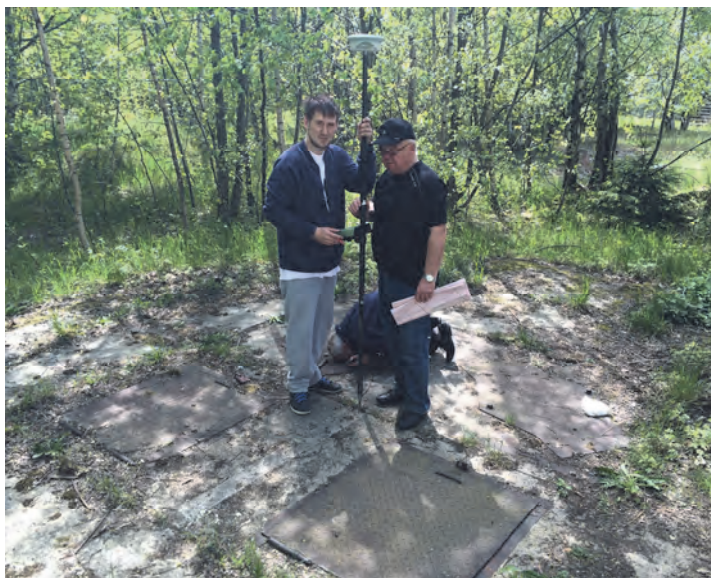
Przykład 2: Szyb (w katalogu nr 92) wentylacyjny o średnicy 1,5 m i głębokości 7,0 m (fot. 3.7.5)



Fot. 3.7.5. Lokalizacja szybu nr 92 (fot. S. Siwek)

Z katalogu wynika, że nie jest znany rodzaj obudowy szybu i sposób jego likwidacji. Jest to wyrobisko odkryte, w obudowie murowej, niezabezpieczone, zlokalizowane na łące, w rejonie wychodni pokładów dolnożaclerskich (pokład 437), przy pomocy GPS. Współrzędne szybu odczytano z mapy pokładowej w skali 1:2000. Błąd lokalizacji szybu wynosił 1,0 m.

Przykład 3: Szyb Pokój (wcześniej Kriegschacht) (fot. 3.7.6)



Fot. 3.7.6. Lokalizacja szybu Pokój (fot. S. Siwek)

Szyb Pokój był szybem wentylacyjnym o głębokości 330 m i średnicy 4,4 m, w obudowie murowej. Rzędna zrębu szybu wynosiła +536,2 m. Współrzędne szybu były znane. Zlokalizowanie szybu nie stanowiło problemu, gdyż znajduje się on w terenie ogólnodostępnym przy ul. Włociańskiej w Wałbrzychu. Szyb nie był likwidowany. Planowano go wykorzystać jako ujęcie wody, jednak od tego projektu odstąpiono. W roku 1995 na zrębie szybu położono metalowe płyty, pod którymi jest pusta przestrzeń. Obecnie zwierciadło wody znajduje się na głębokości około 130 m.

W podsumowaniu doświadczeń dotyczących inwentaryzacji wyrobisk mających kontakt z powierzchnią można stwierdzić, że:

1. Podstawowym i najbardziej uciążliwym etapem prowadzonej inwentaryzacji było zgromadzenie danych wyjściowych przez kwerendę archiwów. W czasie likwidacji kopalń w Zagłębiu Dolnośląskim nie było wypracowanych zasad archiwizacji danych geologiczno-górnich, ich zbiór nie jest pełny.
2. W przypadku Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego, na podstawie wizji w terenie, stwierdzono, że 24 wyrobiska stwarzają potencjalne zagrożenie dla bezpieczeństwa użytkowników terenu i wymagałyby podjęcia działań zabezpieczających.
3. Większość szybów była płytka, zlokalizowana na wychodniach pokładów, dla których brak było danych dotyczących ich likwidacji, a w terenie nie było śladów ich lokalizacji.

3.8. Podsumowanie

Dolnośląskie Zagłębie Węglowe było pierwszym w Polsce likwidowanym zagłębiem węglowym, dla którego gromadzono dane o zagrożeniach dla powierzchni, stwarzanych przez wyrobiska górnicze, które nie zostały w pełni zlikwidowane. Ponadto w czasie likwidacji kopalń nie było wypracowanych zasad archiwizacji danych geologiczno-górnich; tworzone je na bieżąco.

Na terenie Wałbrzycha obserwowano podnoszenie się powierzchni terenu na skutek zatopienia zrobów kopalń. Wykazano, że obszary o największym podnoszeniu, które wynosiło 0,237 m, są zbieżne przestrzennie z obszarami o największych obniżeniach w okresie końcowej fazy eksploatacji w kopalniach w Wałbrzychu (1972–1993). Wartości podnoszenia są o dwa rzędy mniejsze niż obniżenia.

Pomiary geodezyjne techniką niwelacji precyzyjnej prowadzone od roku 2014 (czyli po 15 latach od likwidacji zakładów górniczych) wskazują, że

w dalszym ciągu powierzchnia terenu jest nieznacznie aktywna. Lokalnie obserwowane są obniżenia terenu i wypiętrzenia rzędu 5 mm/rok.

Pozostałością po działalności górniczej w DZW jest duża liczba wyrobisk mających połączenie z powierzchnią (szybów i sztolni) – w Wałbrzychu jest ich 669, a w obrębie kopalni Nowa Ruda – 246. Na obszarze zlikwidowanej kopalni barytu w Boguszowie-Gorcach zidentyfikowano cztery szyby.



Fot. 3.8.1. Pozostałości po „biedaszybach” na południe od ul. Żeromskiego w Wałbrzychu

Likwidacja kopalń węgla kamiennego w Wałbrzychu spowodowała, na przełomie XX i XXI wieku oraz na początku XXI, bezrobocie, co było głównym powodem prowadzenia „dzikiej eksploatacji”, tzw. biedaszybów. Przedstawiony na fotografii 3.8.1 teren to rejon wychodni pokładów, który pokrywa się z miejscem najstarszej – pierwotnej eksploatacji pokładów węgla kamiennego (rys. 3.2.1).

Znakiem czasu w górnictwie węgla kamiennego w GZW początku XXI wieku jest likwidacja starych kopalń i prowadzenie w istniejących kopalniach skoncentrowanej eksploatacji.

Dokonana eksploatacja górnicza spowodowała przekształcenie powierzchni i jej deformacje, a następnie szkody górnicze i związane z nimi uciążliwości dla użytkowników. Dalsza eksploatacja pokładów węgla kamiennego w GZW będzie prowadzona w coraz trudniejszych warunkach geologicznych i górniczych. Krępować ją będą ponadto uwarunkowania środowiskowe związane z ochroną powierzchni i protestami społecznymi poszkodowanych przez działalność górniczą (szkody górnicze).

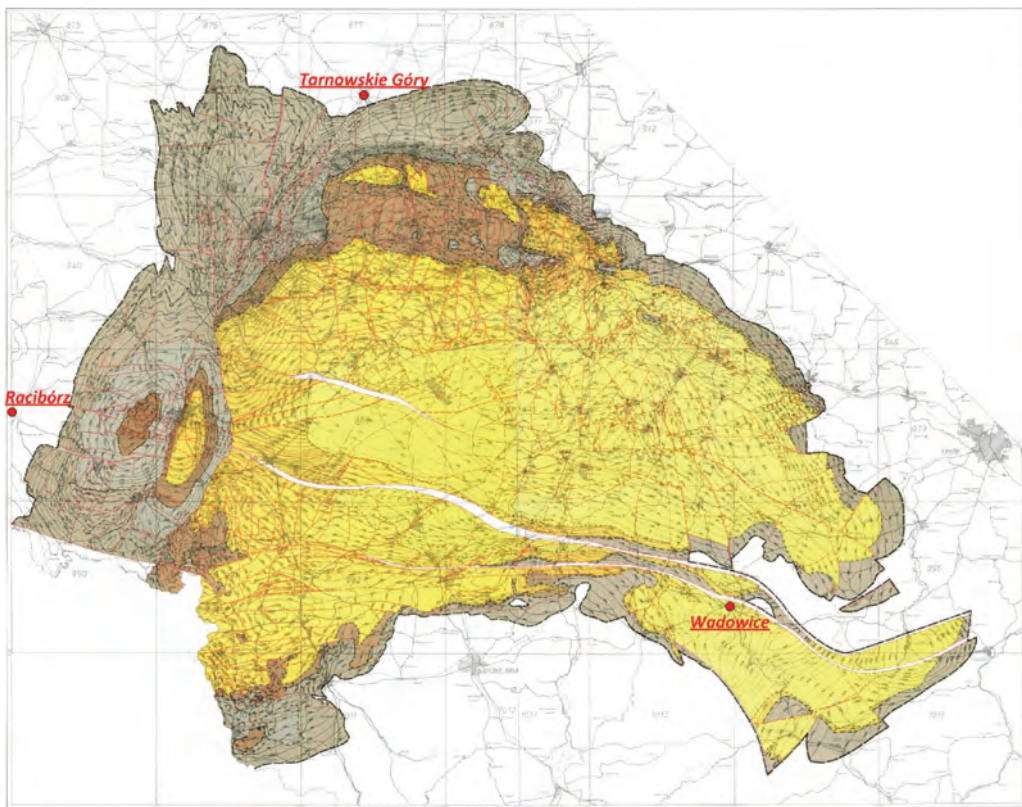
Wiedza o powstawaniu deformacji powierzchni i ich prognozowaniu jest oparta głównie na doświadczeniach i pomiarach, które są powtarzane. Dlatego przedstawione wyniki pomiarów deformacji w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym dotyczą ostatnich dziesięciu lat. Są to głównie doświadczenia kopalni Bobrek, w której od wielu lat jest prowadzona wielokrotna eksploatacja górnicza z zawałem stropu, a każda nowa eksploatacja ma istotne ograniczenia. Opisano także doświadczenia z eksploatacji z podsadzką hydrauliczną prowadzonej pod miastami Katowice i Bytom, a także z eksploatacji częściowej pokładów węgla kamiennego prowadzonej chodnikami w dwóch zakładach górniczych.

4.2. Geologia

Górny karbon w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym obejmuje serię warstw do głębokości 3000 m. Warstwy te podzielone są na trzy grupy: łekowe (o numerach pokładów od 100 do 499), siodłowe (501–510) i brzeżne (601–900). Na rysunku 4.2.1 przedstawiono mapę stropu karbonu, gdzie kolorami wyróżniono poszczególne warstwy stratygraficzne (Atlas, 1994; Internet 4):

- jasnożółtym – warstwy libiąskie (grupa 100) i łaziskie (200), krakowska seria piaskowcowa; głównie piaskowce z zawartością skałeni i zlepieńców, zawierające nieliczne, ale o dużej miąższości, pokłady węgla kamiennego,
- ciemnożółtym – warstwy orzeskie (300) i załęskie (do pokładu 405), seria mułowcowa; dominują mułowce z wkładkami iłowców i cienkimi pokładami węgla kamiennego, z wyjątkiem pokładu 405,
- brązowym – warstwy rudzkie (407–499) i siodłowe (501–510), seria piaskowcowa, głównie piaskowce i zlepieńce z niewielkim udziałem iłowców i mułowców oraz grubymi do 24 m pokładami węgla kamiennego (pokład 510),
- szarym – warstwy jakłowskie (600), porębskie (700), gruszowskie (800) i pietrzykowickie (900) oraz w części północno-wschodniej warstwy florow-

skie (800) i sarnowskie (900), seria paraliczna zbudowana ze: zlepieńców, piaskowców, mułowców, iłowców i łupków węglowych, ponad 200 cienkich numerowanych pokładów węgla kamiennego.



Rys. 4.2.1. Mapa geologiczna karbonu produktywnego GZW (Atlas, 1994)

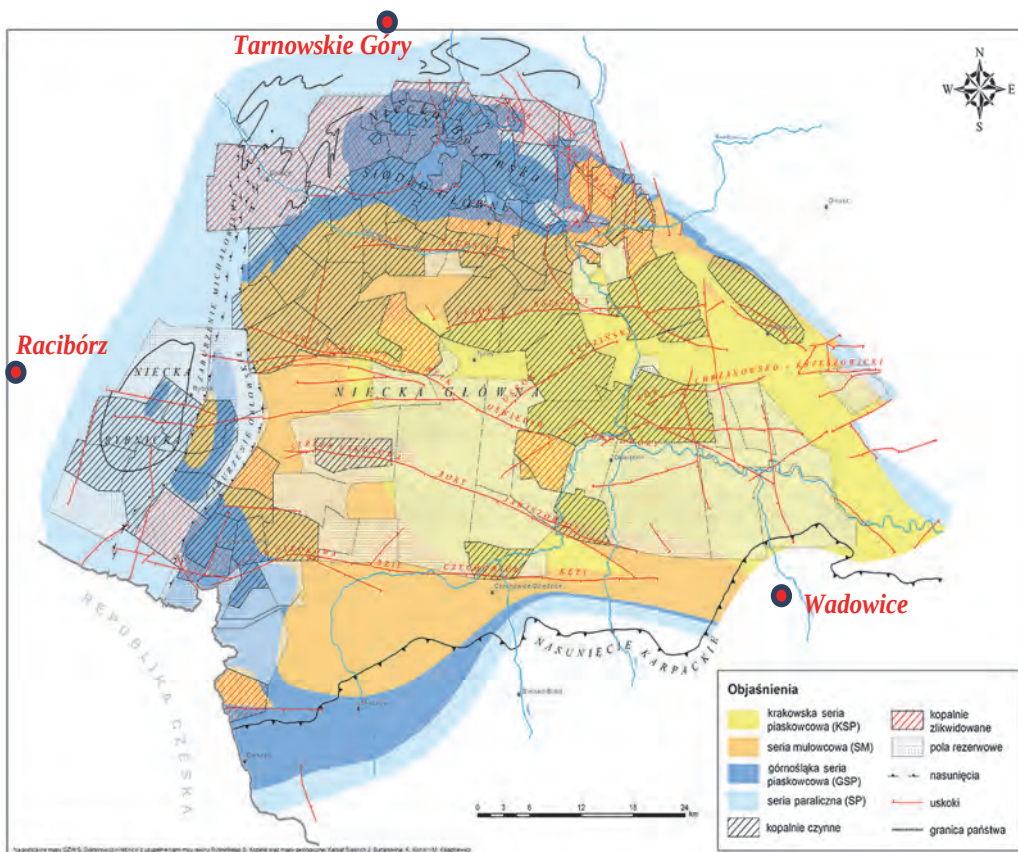
Podstawowe znaczenie przemysłowe mają warstwy siodłowe i rudzkie z uwagi na ich grubość i głębokość. Według szacunków Jarosa (1965) w GZW eksploatowane są 92 pokłady o łącznej grubości 137 m. Ich liczba zmniejsza się stopniowo w kierunku z zachodu na wschód, od około 30 (w rejonie Rybnika-Chwałowic) do kilkunastu (w rejonie Dąbrowy Górniczej).

Utwory karbońskie w części północnej i wschodniej są przykryte warstwami młodszymi triasu i warstwami najmłodszymi czwartorzędu. Trias o miąższości do około 200 m występuje w rejonie niecki bytomskiej i w części wschodniej niecki chrzanowskiej (Chećko, 2013).

W południowej i zachodniej części zagłębia występują głównie warstwy czwartorzędu i trzeciorzędu. Miąższość czwartorzędu i trzeciorzędu w Rybnickim Okręgu Węglowym dochodzi do 800 m. Zdarza się, że bezpośrednio na utwo-

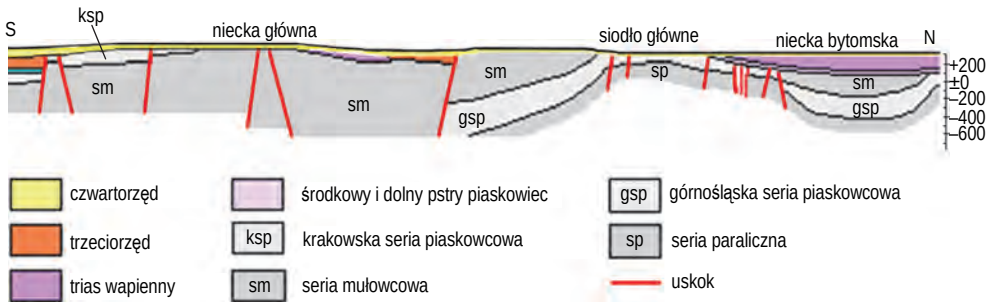
rach karbońskich zalegają warstwy nadkładu czwartorzędowego (rejon siodła głównego – rejon Katowic). Zbudowane są z piasków, żwirów i glin, na ogół są silnie zawodnione. Miąższość warstw czwartorzędowych osiąga 100 m. Przypowierzchniowa warstwa czwartorzędu jest zbudowana z utworów spoiстых (gliny) i niespoistych (piaski); decydują one o ciągłości deformacji powierzchni.

Zaleganie warstw karbońskich jest nieregularne, szczególnie rozwinięta jest tektonika fałdowa i uskokowa (rys. 4.2.2).



Rys. 4.2.2. Mapa litostratygraficzna GZW z elementami struktury tektonicznej (Kowalski, 2015)

Zapadanie warstw i pokładów węgla jest silnie zróżnicowane, od pokładów poziomych do stojących. W zachodniej części GZW występują nasunięcia warstw michałowickich i orłowskich. W pokładach węgla występują czasami zmycia erozyjne i zaniki. Utwory karbonu są łagodnie nachylone o upadach nieprzekraczających 15° i tworzą formy kopuł i niecek. Dominuje niecka główna, a na północy niecka bytomska i siodło główne (rys. 4.2.3).



Rys. 4.2.3. Przekrój geologiczny centralnej części GZW (Rogoż, 2004)

Większość uskoków o przebiegu równoleżnikowym ma zrzućy w kierunku południowym, a uskoków o przebiegu południkowym – w kierunku zachodnim. Wielkość zrzućy poszczególnych uskoków w GZW maleje w kierunku północnym. Tektonika ma istotny wpływ na kształtowanie się deformacji. Sprzyja powstawaniu stref deformacji powierzchni o charakterze rozciągających odkształceń poziomych, a w konsekwencji deformacji w postaci szczelin i stopni na powierzchni.

Układ, w którym karbon zalega blisko powierzchni, występuje w obszarze siodła głównego (rejon Katowic) i w północno-wschodniej części zagłębia – rejon Jaworzna, Sosnowca i Dąbrowy Górniczej. W czwartorzędzie zalega jeden złożony nieciągły poziom wodonośny związany z soczewkowatym układem osadów piaszczysto-żwirowych przewarstwionych glinami.

W obrębie siodła głównego, gdzie nadkład czwartorzędowy wynosi od kilku do kilkudziesięciu metrów, dopływy do kopalń nie przekraczają $10 \text{ m}^3/\text{min}$. W części północno-wschodniej zagłębia natomiast warstwy czwartorzędowe charakteryzuje duże zawodnienie; dopływy do kopalń osiągają $30 \text{ m}^3/\text{min}$, a okresowo $50 \text{ m}^3/\text{min}$.

Kopalnie eksploatujące pod warstwami triasu, w rejonie niecki bytomskiej i chrzanowskiej, charakteryzują się rozpiętością dopływów: $10\text{--}25 \text{ m}^3/\text{min}$.

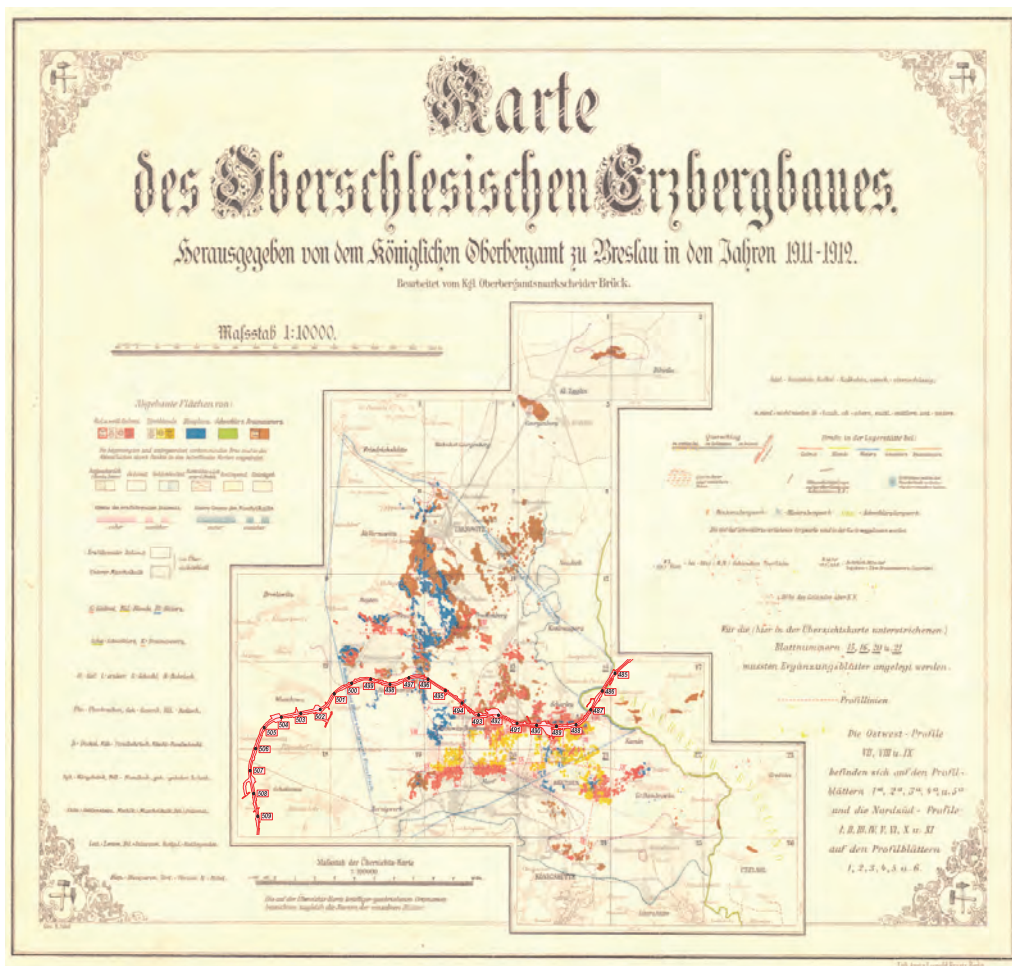
Układ, w którym karbon zalega pod grubymi warstwami trzeciorzędu i czwartorzędu, występuje w południowej i zachodniej części zagłębia. Trzeciorząd tworzą kompleksy iłów i iłowców, które mają charakter izolacyjny; dopływy w tych rejonach są małe i wynoszą około $5 \text{ m}^3/\text{min}$. Lokalnie w ROW, gdzie w stropie karbonu zalegają warstwy dębowieckie, występuje silne zawodnienie.

Rejon, gdzie występują izolacyjne warstwy czwartorzędu i trzeciorzędu nad warstwami karbonu, jest podatny na powstawanie zalewisk (północna część Bytomia, Knurów, Szczygłowiec, rejon Rybnika i Jastrzębia Zdroju).

4.3. Historia działalności górniczej

4.3.1. Eksploatacja złóż rud cynku i ołowiu

Pierwsze wzmianki o eksploatacji rud złóż srebra i żelaza na terenie Górnego Śląska pochodzą z roku 1136 (Album, 2007). W średniowieczu w rejonie Bytomia powstało górnictwo i hutnictwo kruszców srebra i żelaza (rud żelaziaka brunatnego – limonitów). Na historycznych mapach (sprzed 1912 r.) przedstawiane są udokumentowane rejony eksploatacji górniczej żelaziaka brunatnego oraz złóż rud cynku i ołowiu, których rozwój nastąpił w XIX wieku (rys. 4.3.1). Wynika z nich, że rudy żelaziaka, cynku i ołowiu zalegały nieregularnie w formie żył, soczewek i nieregularnych pokładów (ław).



Rys. 4.3.1. Mapa przeglądowa historycznej eksploatacji złóż rud (Archiwum ZGH Orzeł Biały SA) z zaznaczoną lokalizacją autostrady A1 (Kowalski, 2015)

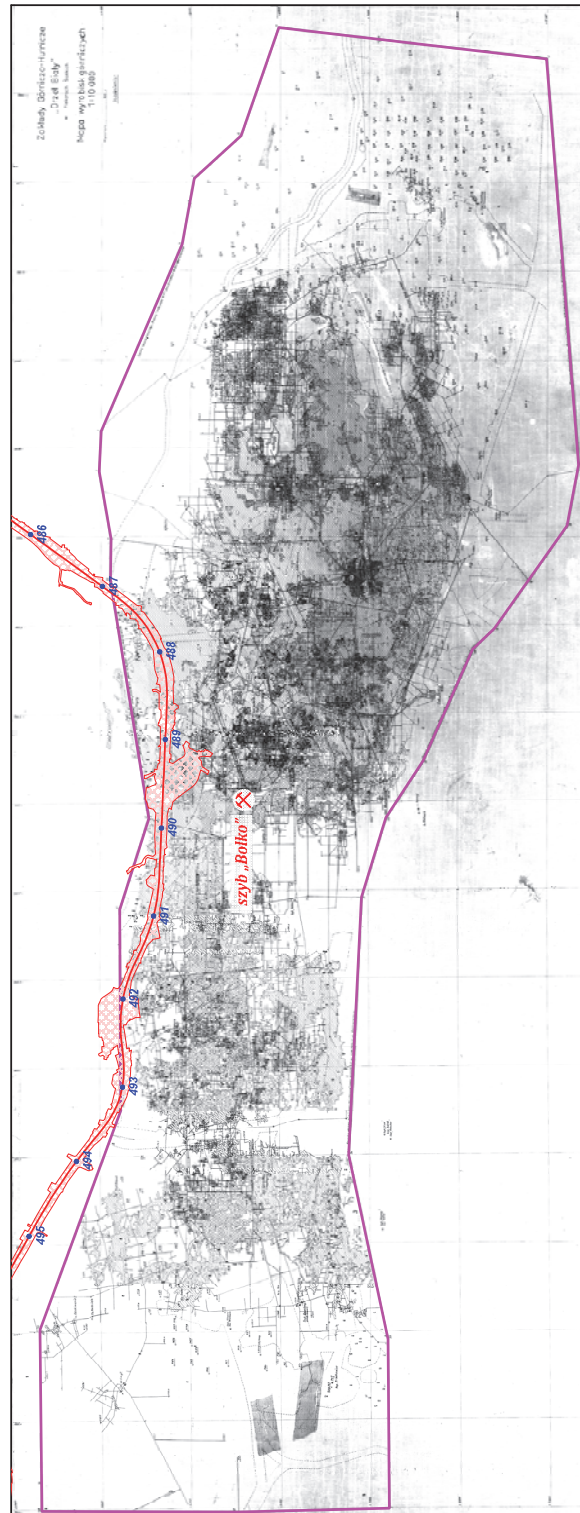
Początkowo eksploatację rudy żelaza brunatnego i rudy ołowiu, później rudy cynku i ołowiu, prowadzono w rejonie Tarnowskich Gór, potem w okolicach Bytomia i Piekar Śląskich, a także lokalnie w Zagłębiu Dąbrowskim, w Strzemieszycach (Rybak, 2002). Była to płytką eksploatacja prowadzona początkowo odkrywkowo pod cienką warstwą gruntu, następnie metodą podziemną wieloszybkową, szybami o małej głębokości (do 30 m). Po wydrążeniu szybu rudę wybierano w bezpośredniej jego bliskości w polu o powierzchni około 36 m². Po zastosowaniu maszyn parowych (pomp odwadniających; pierwszą zainstalowano w 1788 r.) eksploatację prowadzono już na większych głębokościach do 100 m. Na rysunku 4.3.1 eksploatację zaznaczono kolorami:

- brązowym – rudy żelaza brunatnego,
- żółtym – utlenionej siarkowej rudy cynku (blendy cynkowej) – złoża płycej zalegające,
- czerwonym – siarkową rudę cynku (galman) – złoża głębiej zalegające,
- niebieskim – rudy ołowiu-cynkowej (galena).

Żelazak brunatny zalegał zazwyczaj w stropie dolomitów kruszczośnych, w zagłębieniach sedymentacyjnych, od powierzchni do głębokości około 30 m. Złoża rudy cynku i ołowiu występowały na ogół w jednej lub dwóch ławach (warstwach), w spągu dolomitów kruszczośnych. Głębokość eksploatacji w części wschodniej i północnej była najmniejsza: 30–40 m, a w części południowej (gdzie eksploatowano w dwóch ławach) wynosiła 50–70 m. Eksploatowano głównie systemem komorowym i zabierkami z zawalem stropu. Złoża rudy ołowiu, które było surowcem strategicznym, należało do państwa – kopalnia fiskalna, natomiast złoża rudy cynku do przedsiębiorców prywatnych – właścicieli nadeń.

Późniejsza eksploatacja rudy cynku i ołowiu (po 1912 r.) została udokumentowana na mapach ZGH Orzeł Biały, który powstał w roku 1935 (rys. 4.3.2). Po roku 1945 eksploatację złoża rudy cynku i ołowiu prowadzono w czterech obszarach górniczych, od zachodu były to:

- Miechowice (kopalnia Nowy Dwór) – zachodnia część Bytomia, dzielnice Karb i Miechowice,
- Piekary Śląskie (kopalnia Waryński) – południowa część Piekar Śląskich i północna część Bytomia,
- Bytom (kopalnia Marchlewski) – południowa i wschodnia część Bytomia,
- Brzeziny (kopalnie Orzeł Biały i Dąbrówka) – obszar obejmujący głównie dzielnice Piekar Śląskich, tj. Brzozowice-Kamień, Brzeziny Śląskie i Dąbrówkę Wielką.



Rys. 4.3.2. Mapa obszaru górniczego ZGH Orzeł Biały z zaznaczoną lokalizacją szybu Bolko i autostrady A1

Od roku 1955 podejmowano również eksploatację z podsadzką piaskową i betonową w zrobach i w filarach ochronnych. Eksploatację złoża rudy cynku i ołowiu w niecce bytomskiej zakończono 31 grudnia 1989 r. Ostatnia eksploatacja była prowadzona na terenie miasta Piekary Śląskie w dzielnicy Brzeziny i w dzielnicy Dąbrówka Wielka (kopalnia Dąbrówka).

W roku 1990 rozpoczęto likwidację wyrobisk ZGH Orzeł Biały, która była pierwszą, dla której sporządzono program likwidacji zaopiniowany przez Komisję ds. Ochrony Powierzchni przed Szkodami Górniczymi WUG (Krawczyk i Kowalski, 1990).

W latach 2009–2010, w związku z budową autostrady A1 (rys. 4.3.1 i rys. 4.3.2), której trasa przecinała obszar płytkiej eksploatacji rudy cynku i ołowiu, na znacznej powierzchni były prowadzone badania geofizyczne zrobów porudnych, za pomocą których stwierdzano rejony anomalii geofizycznych (pustki). Podłoże uzdatniano, stosując roboty górnicze, strzelanie w otworach wiertniczych o głębokości około 40 m, materiałami wybuchowymi, a także przez podsadzanie zrobów przez otwory wiertnicze z powierzchni. Na trasie projektowanej autostrady zinwentaryzowano około 100 starych płytkich szybów.

4.3.2. Początki górnictwa węgla kamiennego – przed rokiem 1945

Burzliwa historia ziem znajdujących się w granicach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i zmieniająca się ich przynależność państwowa od XVIII do XX wieku, spowodowały rozproszenie dokumentów i map górniczych. Dlatego opisy początków górnictwa na tym terenie nie są jednolite (Kowalski, 2015).

Najstarsze informacje o wydobywaniu węgla kamiennego w zagłębiu górnośląskim są datowane na rok 1657, kiedy ówczesny właściciel ziemi pszczyńskiej von Promnitz zarządził, aby kuźnia jaroszowicka koło Tychów używała węgla kamiennego pochodzącego z rejonu Murcek i Kostuchny. Pierwsze kopalnictwo prowadzono przez około sto lat na wychodni pokładu Emanuels-segen – rysunek 4.3.3 (według stosowanej obecnie numeracji pokład 318). Prowadzono je odkrywkowo, sztolniami, duklami oraz płytkimi szybami (pingami). Dopiero w roku 1768 zaczęto budować kopalnię Emanuelssegen (Błogosławieństwo Emanuela), głębiąc szyby (kopalnia ta krótko, bo w latach 1937–1939, nazywała się Książę Maria, a od 1945 r. Murcki). Najstarszy szkic eksploatacji górniczej w niej prowadzonej pochodzi z roku 1828 (rys. 4.3.4).

Kolejna kopalnia, zaliczana do najstarszych na Górnym Śląsku, to kopalnia Brandenburg w Rudzie (rys. 4.3.5); współcześnie jest to północna dzielnica Rudy Śląskiej. Otrzymała ona nadanie w roku 1770 (później był to obszar górniczy kopalni Wawel, potem Pokój).



Rys. 4.3.3. Wycinek mapy kopalni Emanuelsthal, gdzie na wychodni rozpoczęto podziemną eksploatację węgla kamiennego (Album, 2003) z zaznaczoną lokalizacją DK 86 Katowice – Bielsko-Biała i zbiorników GPW na Wzgórzu Wandy w Katowicach-Murckach (Kowalski, 2015)

Znaczący wpływ na rozwój górnictwa węgla kamiennego na Górnym Śląsku na przełomie XVIII i XIX wieku miał Fryderyk Wilhelm von Reden (1752–1815), dyrektor Wyższego Urzędu Górniczego we Wrocławiu w latach 1779–1802, potem minister w rządzie pruskim w latach 1803–1807. Przyczynił się do uruchomienia (we współczesnych granicach Chorzowa) pierwszych nadań Fürstin Hedwig (Księżna Jadwiga) w roku 1787, a następnie Neue Hedwig (Nowa Jadwiga) w roku 1805 (rys. 4.3.6). Nadania te włączono później do kopalni König (Król), która była kopalnią państwową, po II wojnie światowej stała się kopalnią Prezydent.

Pierwszy wykaz kopalń w Polskim Zagłębiu Węglowym, po uzyskaniu niepodległości Polski po I wojnie światowej, sporządził w roku 1924 Arnold Sarjusz Makowski (1924). Opracował on także bilans zasobów i mapę z lokalizacją kopalń w skali 1:300 000 (rys. 4.3.7).



Rys. 4.3.5. Nadania górnicze w północno-zachodniej części Górnego Śląska w roku 1897
(źródło: Archiwum Państwowe w Katowicach)

Wcześniej nazwę Zagłębie Górnos Śląskie zaproponował w roku 1913 niemiecki geolog R. Michael. Górnos Śląskie Zagłębie Węglowe stanowi wielką nieckę utworzoną przez utwory karbonu produktywnego z licznymi pokładami węgla kamiennego.

Z wykazu zamieszczonego na rysunku 4.3.7 wynika, że w części polskiej PZW były 94 kopalnie, w tym:

- na Górnym Śląsku – 56 kopalń,
- w Zagłębiu Dąbrowskim – 20 kopalń,
- w Zagłębiu Krakowskim – 18 kopalń.

Są różne szacunki powierzchni i granic GZW zarówno z uwagi na zasięg zagłębia w zachodniej części Małopolski (wschodnia część GZW), jak i niejednoznaczność południową jego granicę.

Według Makowskiego w roku 1924 łączna powierzchnia Polskiego Zagłębia Węglowego wynosiła około 3880 km² i znajdowało się na niej 108 kopalń. W części niemieckiej Górnego Śląska znajdowało się 14 kopalń na powierzchni 570 km².



Rys. 4.3.6. Pierwsze nadania – Księżna Jadwiga i Nowa Jadwiga na terenie Chorzowa (Klenczar, 1930)

Mapa przeglądowa Polskiego Zagłębia Węglowego — Carte synoptique du Bassin Houiller Polonais

opracowana przez A. MAKOWSKIEGO. — par A. MAKOWSKI.

Nazwy kopalni. Noms des Houillères.

I. Śląsk Górný — Haute Silésie

1. Górny Śląsk — Haute Silésie

2. Katowice — Katowice

3. Bytom — Bytom

4. Sosnowiec — Sosnowiec

5. Zabrze — Zabrze

6. Siemianowice — Siemianowice

7. Kłajpana — Kłajpana

8. Kłajpana — Kłajpana

9. Kłajpana — Kłajpana

10. Kłajpana — Kłajpana

11. Kłajpana — Kłajpana

12. Kłajpana — Kłajpana

13. Kłajpana — Kłajpana

14. Kłajpana — Kłajpana

15. Kłajpana — Kłajpana

16. Kłajpana — Kłajpana

17. Kłajpana — Kłajpana

18. Kłajpana — Kłajpana

19. Kłajpana — Kłajpana

20. Kłajpana — Kłajpana

21. Kłajpana — Kłajpana

22. Kłajpana — Kłajpana

23. Kłajpana — Kłajpana

24. Kłajpana — Kłajpana

25. Kłajpana — Kłajpana

26. Kłajpana — Kłajpana

27. Kłajpana — Kłajpana

28. Kłajpana — Kłajpana

29. Kłajpana — Kłajpana

30. Kłajpana — Kłajpana

31. Kłajpana — Kłajpana

32. Kłajpana — Kłajpana

33. Kłajpana — Kłajpana

34. Kłajpana — Kłajpana

35. Kłajpana — Kłajpana

36. Kłajpana — Kłajpana

37. Kłajpana — Kłajpana

38. Kłajpana — Kłajpana

39. Kłajpana — Kłajpana

40. Kłajpana — Kłajpana

41. Kłajpana — Kłajpana

42. Kłajpana — Kłajpana

43. Kłajpana — Kłajpana

44. Kłajpana — Kłajpana

45. Kłajpana — Kłajpana

46. Kłajpana — Kłajpana

47. Kłajpana — Kłajpana

48. Kłajpana — Kłajpana

49. Kłajpana — Kłajpana

50. Kłajpana — Kłajpana



48. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
49. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
50. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
51. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
52. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
53. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
54. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
55. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
56. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
57. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
58. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
59. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
60. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
61. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
62. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
63. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
64. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
65. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
66. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
67. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
68. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
69. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
70. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
71. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
72. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
73. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
74. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
75. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
76. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
77. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
78. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
79. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
80. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
81. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
82. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
83. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
84. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
85. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
86. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
87. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
88. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
89. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
90. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
91. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
92. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
93. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
94. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
95. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
96. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
97. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
98. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
99. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)
100. Kopalnia (Hauts) Lwów — (Lwów)

Rys. 4.3.7. Mapa przeglądowa Polskiego Zagłębia Węglowego (Makowski, 1924)

pod Jaworzniem oraz na wschodzie w rejonie Sierszy i Tenczynka. Były to małe kopalnie, przeważnie odkrywkowe lub eksploatujące za pomocą niezbyt głębokich szybów (ping). W roku 1913 na terenie Zagłębia Krakowskiego było czynnych osiem kopalń, które wydobyły 1,971 mln Mg węgla kamiennego (Jaros, 1965).

W okresie międzywojennym wydobycie węgla kamiennego fluktuowało, głównie z uwagi na wielki kryzys gospodarczy w latach 1929–1933. Likwidacji uległa większość małych kopalń węgla kamiennego, a duże kopalnie ograniczyły wydobycie.

W latach 1931–1933 zatrzymano przejściowo lub na dłuższy czas działalność 16 dużych kopalń (Pazdur, 1961). W roku 1933 wydobyto tylko 27,4 mln Mg węgla kamiennego w części polskiej GZW, a w części niemieckiej 15,6 mln Mg, razem 43,0 mln Mg.

Jednocześnie bezrobotni górnicy zakładali tzw. biedaszyby. Szacuje się, że w okresie 1931–1936 wydobycie z „biedaszybów” wynosiło rocznie około 500 tys. Mg. Liczba „biedaszybów” w GZW była zróżnicowana w poszczególnych rejonach i okresach.

Biedaszyb miał przy zrębie kształt prostokąta o wymiarach 60x80 cm, głębokość przynajmniej 10 do 12 m. Szybik ten był drążony w rejonie szybu „Prittwitz”, między Szopienicami, a Mysłowicami. W głąb szybu opuszcza się dwu – trzech ludzi zaopatrzonych w młotki, małe łopatk i zwyczajne latarki bateryjne. Obsada na powierzchni składa się z jednego człowieka, który wyciąga kubły węgla¹.

Po okresie kryzysu gospodarczego nastąpił przyrost rocznego wydobycia węgla kamiennego, łączenie się kopalń we wspólnoty i koncerny, rozwój techniki i technologii eksploatacji. W roku 1938 wydobycie węgla kamiennego w granicach Polski wynosiło 38,1 mln Mg, a na obszarze Niemiec na Górnym Śląsku – 26 mln Mg, na Dolnym Śląsku – 5,3 mln Mg (Pazdur, 1961). W tym czasie i podczas II wojny światowej we współczesnych granicach Polski na terenie GZW działało kilkanaście koncernów, spółek i gwarectw (Frużyński, 2012).

¹ Według relacji Wacława Pioruna: Śląscy bieda ludzie (Sabelanka i Koźniewski, 1983).

4.3.3. *Górnictwo węgla kamiennego po roku 1945 i jego współczesna specyfika*

Po II wojnie światowej w roku 1945 w obrębie GZW przejęto i uruchomiono 74 kopalnie w 10 zjednoczeniach:

- bytomskim – 7 kopalń,
- chorzowskim – 7 kopalń,
- dąbrowskim – 12 kopalń,
- gliwickim – 7 kopalń,
- katowickim – 5 kopalń,
- krakowskim – 7 kopalń,
- mikołowskim – 6 kopalń,
- rudzkim – 8 kopalń,
- rybnickim – 9 kopalń,
- zabrzańskim – 6 kopalń.

W latach 1945–1982 liczba kopalń zmniejszała się, niektóre likwidowano, inne łączono, a także uruchamiano nowe w południowej części zagłębia, w rejonie Jastrzębia Zdroju i w Ornontowicach (kopalnia Budryk). W roku 1982 było 65 kopalń w sześciu zrzeszeniach, z siedzibą w:

- Mysłowicach – 10 kopalń,
- Sosnowcu – 11 kopalń,
- Katowicach – 10 kopalń,
- Bytomiu – 11 kopalń,
- Zabrze – 9 kopalń,
- Jastrzębiu Zdroju – 14 kopalń.

W Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym eksploatację prowadziły ponadto cztery kopalnie: Thorez (Julia), Wałbrzych, Victoria i Nowa Ruda.

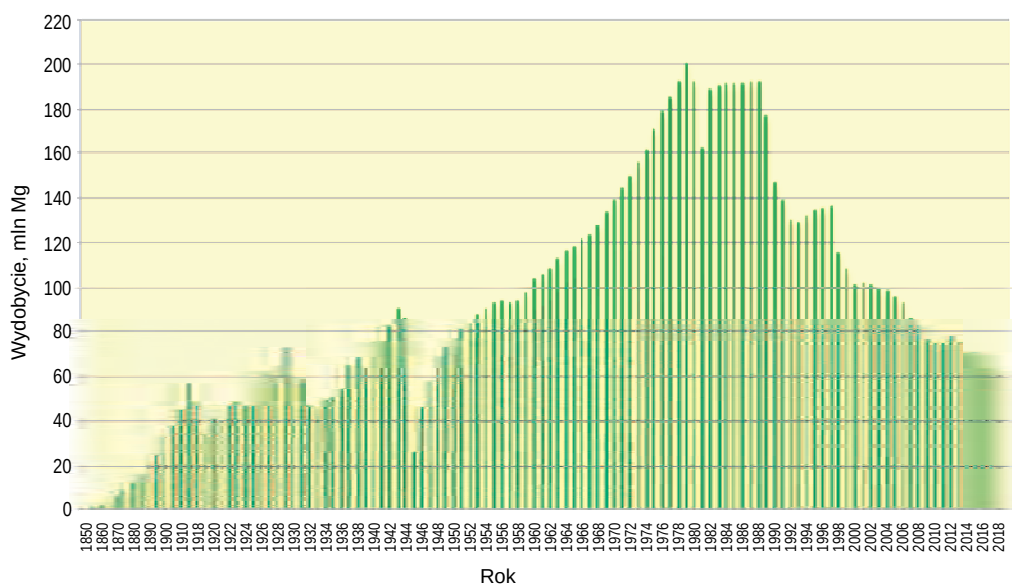
Rok 1989 był istotny dla górnictwa węgla kamiennego, rozpoczęto bowiem jego restrukturyzację polegającą na likwidacji nierentownych kopalń. Podstawowe dane dotyczące funkcjonowania górnictwa węgla kamiennego w roku 1990 i 2017 przedstawiono w tabeli 4.3.1, natomiast rysunek 4.3.9 pokazuje mapę czynnych kopalń w roku 2019 i kopalń zlikwidowanych po roku 1990.

Z tabeli 4.3.1 wynikają następujące wnioski:

- Nastąpiła istotna zmiana liczby kopalń, eksploatowanych ścian i wielkości wydobywania. W roku 1990 czynnych było 65 dużych kopalń, a w roku 2017 po kolejnej reorganizacji, 21 kopalń, w tym dwa małe prywatne zakłady górnicze. Zlikwidowano wszystkie kopalnie w Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym. Wydobywanie zmniejszyło się o ponad połowę.

- Obecnie podstawowym systemem eksploatacji jest system ścianowy z zawalaniem stropu, nie prowadzi się eksploatacji systemem ścianowym z podszadką hydrauliczną.
- W roku 2017 w jednej kopalni węgla kamiennego prowadzono średnio trzy lub cztery ściany, a łącznie eksploatację prowadzono 85 ścianami.
- Długość ściany eksploatacyjnej wynosiła średnio 240 m, najczęściej mieściła się w przedziale od 220 do 250 m. Ściany były prowadzone pojedynczo, kolejno jedna po drugiej.
- Średnia głębokość eksploatacji wynosiła 780 m, a wysokość eksploatowanego pokładu lub warstwy 2,0–3,5 m. Postęp frontu ścianowego wynosił średnio 4,0 m/dobę, choć w wielu kopalniach dobowe postępy ścian w dni robocze wynosiły średnio 7 m.

Na rysunku 4.3.10 przedstawiono udokumentowane wydobycie węgla kamiennego w granicach Polski od roku 1850 do 2018, w którym wyniosło 63,4 mln Mg.



Rys. 4.3.10. Udokumentowane wydobycie węgla kamiennego w granicach Polski od roku 1850 do 2018

W większości kopalń eksploatacja jest prowadzona w warunkach występowania zagrożeń naturalnych – tąpnięć, wypływów metanu, zagrożenia pożarowego. W dwóch małych zakładach sprywatyzowanych Siltech i EKO-PLUS prowadzi się eksploatację chodnikami z pozostawieniem między nimi płotu (filara) węglowego (podrozdział 4.5.2).

4.4. Deformacje powierzchni w ważniejszych filarach ochronnych

4.4.1. Eksploatacja z podsadzką hydrauliczną

Podstawowym celem, który kształtował rozwój eksploatacji z podsadzką, był zamiar wypełnienia przestrzeni poeksploatacyjnej materiałem podsadzkowym tak, aby przez eliminowanie zawału stropu, zmniejszać obniżanie się powierzchni na podbieranym obszarze górniczym. Eksploatację z podsadzką hydrauliczną po raz pierwszy zastosowano w kopalni Mysłowice (1901 r.), później w kopalniach dąbrowskich, w których w okresie międzywojennym z jej użyciem uzyskiwano nawet 80% ogólnego wydobywania (Lisowski, 1997).

W latach sześćdziesiątych ubiegłego stulecia w GZW udział wydobywania z podsadzką hydrauliczną w wydobywaniu ogółem wynosił około 50%. Potem zmniejszał się i w roku 1971 klasyczna eksploatacja z podsadzką hydrauliczną została całkowicie zaniechana.

Materiał podsadzkowy stanowił mieszaninę wody, piasku lub piasku z dodatkiem kamienia, która była dostarczana do zrobów za pomocą rurowciągów. Stopień podsadzenia wyrobisk zależał od jakości materiału podsadzkowego – jego ściśliwości, a współczynnik eksploatacyjny dodatkowo od technologii podsadzania i stopnia zdeformowania górotworu nad eksploatacją.

Rozróżniano cztery klasy materiału podsadzkowego:

- klasa I z piasku, który zapewniał ściśliwość materiału podsadzkowego do 5%,
- klasa II z piasku lub piasku z dodatkiem kamienia, którego ściśliwość wynosi od ponad 5 do 10%,
- klasa III z piasku lub piasku z dodatkiem kamienia, którego ściśliwość wynosi od ponad 10 do 15%,
- klasa IV z piasku lub piasku z dodatkiem kamienia, którego ściśliwość wynosi co najmniej 15%.

Podaną powyżej ściśliwość określono dla porównywalnego ciśnienia 15,0 MPa (co odpowiada głębokości około 600 m).

Z wykorzystaniem wyników badań ściśliwości materiału podsadzkowego z piasku z dodatkiem odpadów górniczych (kamienia z zakładu górniczego) Skinderowicz (1977) określił relacje między wartością współczynnika eksploatacyjnego, a ściśliwością materiału podsadzkowego i dodatkowo nachyleniem eksploatowanego pokładu (większe nachylenie pokładu umożliwia lepsze podsadzanie wyrobisk), według zależności podanej w tabeli 4.4.1.

Krokiem milowym w technologii eksploatacji górniczej było, zapoczątkowane w kopalni Generał Zawadzki w roku 1971, wykorzystanie pyłów elektrowniowych w podsadźce hydraulicznej (Mazurkiewicz, 1990). Istota rozwiązania technologicznego polegała na tym, że do wypełniania i likwidacji wyrobisk pod-

ziemnych i pustek poeksploatacyjnych oraz do uszczelniania górotworu i zrobów, stosuje się zagęszczoną zawieszinę popiołów lotnych w wodzie, nazywaną przez energetyków emulgatem. Emulgat w warunkach dołowych po kilku dniach przechodzi w ciało stałe.

Tabela 4.4.1. Wartość współczynnika eksploatacyjnego w zależności od ściśliwości materiału podsadzkowego i nachylenia pokładu (Skinderowicz, 1977)

Klasa materiału podsadzkowego	Ściśliwość przy ciśnieniu 15 MPa %	Współczynnik eksploatacyjny przy nachyleniu pokładu	
		≤ 6°	> 6°
I	5	0,12–0,15	0,12
II	10	0,16–0,20	0,13–0,15
III	15	0,21–0,25	0,16–0,20
IV	20	0,26–0,30	0,21–0,25
	25	0,31–0,35	0,26–0,30
	30	0,35–0,40	0,31–0,35
	> 30	0,41–0,45	0,36–0,40

Według badaczy (Piotrowski i Mazurkiewicz, 2006) chłonność zrobów zawałowych w analizowanych 39 przypadkach wahała się od 0,07 do 0,27. Na podstawie wyznaczonej na powierzchni objętości niecki po zakończonej eksploatacji i objętości w górotworze pustki po wybraniu złoża rudy miedzi został wyznaczony stopień wypełnienia zrobów rumowiskiem skalnym i określona pojemność zrobów, w której można lokalizować mieszaninę podsadzkową (Mazurkiewicz i in., 2015). Wyznaczony za pomocą tej metody współczynnik, określający pojemność zrobów w stosunku do objętości nominalnej pustki (powierzchnia pomnożona przez grubość wybranego złoża), wynosi 0,3.

Badania w zakresie doszczelniania zrobów prowadzono także na Politechnice Śląskiej. Zespół pod kierunkiem Plewy badał wpływ zastosowania odpadów energetycznych na zestalanie rumowiska skalnego (Plewa, Mysłek i Stozik, 2008); prowadzono też badania wpływu doszczelniania zrobów zawałowych na wielkość deformacji powierzchni terenu (Zych, Żyliński i Strzałkowski, 1993; Strzałkowski, 1995).

Pojemność wodna zrobów (czyli porowatość), wykazana doświadczalnie przez hydrogeologa w jednej z kopalń, wynosiła 0,25–0,30 dla nowych zrobów i 0,2 dla wieloletnich zrobów (Ślaski, 2010).

Rutkowski (2019) w swej pracy doktorskiej wyznaczył empiryczną zależność między współczynnikiem eksploatacyjnym, a objętością pyłów dostarczanych do zrobów zawałowych. Z badań tych wynika, że dla warunków geologiczno-górnich kopalni Ruda Ruch Pokój wartość współczynnika eksploatacyjnego bez doszczelniania zrobów wynosi 0,88, natomiast przy pełnym doszczelnieniu zrobów na wysokość 0,3 grubości eksploatowanego pokładu, można uzyskać zmniejszenie

współczynnika eksploatacyjnego do 0,69. Autor ten zaproponował także poprawę skuteczności wpływu doszczelniania zrobów przez równomierne i cykliczne doszczelnianie przynajmniej raz na dobę.

Najbardziej zaawansowaną eksploatację z podszadką hydrauliczną, z uwagi na ochronę powierzchni, prowadzono pod śródmieściem Katowic i Bytomia.

4.4.2. Skoordynowana eksploatacja pod śródmieściem Katowic

4.4.2.1. Założenia i przebieg eksploatacji

Skoordynowana eksploatacja górnicza prowadzona pod śródmieściem Katowic lub potocznie „płytą Katowic”, była jednym z największych osiągnięć w zakresie ochrony powierzchni w polskim górnictwie węgla kamiennego (Pawełczyk, 2009). Była prowadzona równocześnie przez trzy kopalnie – Katowice, Gottwald (od 1990 r. kopalnia Kleofas) i Wujek. Pole powierzchni skoordynowanej eksploatacji pod śródmieściem Katowic wynosiło około 7 km²; zostało utworzone przez wyznaczenie granic terenu chronionego, powiększonego o pas równy głębokości zalegania najgłębszego pokładu 510 w serii siodłowej. Granice eksploatacji w przybliżeniu wyznaczały (rys. 4.4.1 i rys. 4.4.2):

- od zachodu obiekty stacji kolejowej Katowice Główny, zabudowa huty Baildon i magazyny oraz kąpielisko Bugla,
- od północy ul. Chorzowska, Hala Widowiskowo-Sportowa Spodek i Al. Roździeńskiego,
- od wschodu ul. Górnicza,
- na południu Al. Górnośląska.

Eksploatację, którą rozpoczęto w roku 1970, poprzedziła Decyzja Rządu Nr 6/70 z 21.01.1970 r. Eksploatację podzielono na trzy etapy, w każdym dwie fazy. Zrealizowano etap I fazę 1 i 2 oraz etap II fazę 1. Zakończono ją 12.12.1998 r.

Zasadnicza koordynacja eksploatacji obejmowała kopalnie Katowice i Gottwald, które utworzyły jeden front eksploatacyjny w kształcie linii prostej, który składał się z kilkunastu ścian podsadzkowych.

Najważniejsze rygory eksploatacyjne były następujące:

- Deformacje powierzchni spowodowane eksploatacją każdej fazy nie mogły przekroczyć I kategorii terenu górniczego, a sumaryczne II kategorii.
- Należy prowadzić eksploatację z podszadką hydrauliczną z piasku dobrej jakości, a w rejonie strefy uskoku Wojciech eksploatację kompensującą deformacje.
- Wzajemne wyprzedzenie między frontami ścian należy ustalać tak, aby zachować linię prostą.



Rys. 4.4.1. Granice skoordynowanej eksploatacji pod śródmieściem Katowic (owal zaznaczony linią przerywaną) i Osiedlem Paderewskiego; kolorem czerwonym zaznaczono granice obszarów górniczych: na północnym zachodzie była zlokalizowana kopalnia Gottwald, na wschodzie kopalnia Katowice, a na południowym zachodzie kopalnia Wujek



Rys. 4.4.2. Zakres eksploatacji dokonanej w ramach fazy 1 etapu I (Borecki, 1980)

W celu wyznaczenia parametrów teorii, zasadniczą eksploatację pod płytą Katowic poprzedziła eksploatacja doświadczalna, którą prowadzono na obrzeżach filara w latach 1964–1968.

W fazie 1 etapu I w latach 1970–1981 eksploatowano (rys. 4.4.2):

- w kopalni Gottwald – pokład 504 (kolor czerwony) o grubości 3,0 m w partii centralnej, a w kopalni Katowice w części wschodniej,
- w kopalni Wujek – pokład 510 w. I (kolor zielony) o grubości 3,0 m w części południowej, a w kopalni Katowice w partii północnej.

W fazie 2 etapu I w latach 1980–1989 eksploatowano:

- w kopalni Gottwald i Katowice – pokład 501 w. I o grubości 3,0 m,
- w kopalni Gottwald – pokład 510 w. I o grubości 3,0 m,
- w kopalni Katowice – pokład 504 o grubości 2,0–2,3 m.

W strefie uskoju Wojciech kopalnia Katowice eksploatowała pokład 405 na wysokość 3,0 m z podsadzką hydrauliczną, a w części południowej kopalnia Wujek w warstwie II pokładu 501 na wysokość 2,8 m, z zawalaniem stropu na głębokości 610 m.

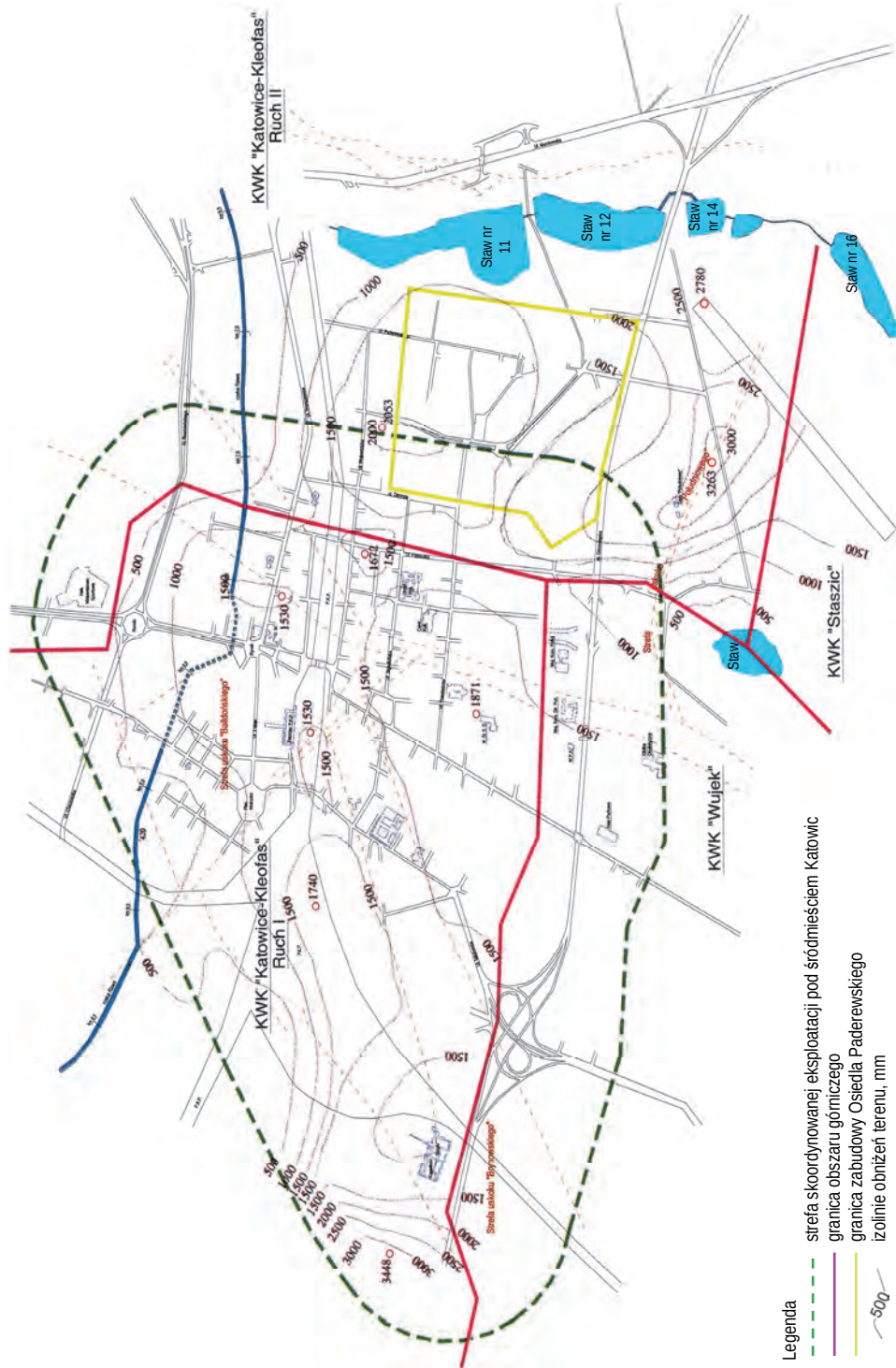
W fazie 1 etapu II w latach 1985–1998 eksploatowano:

- w kopalni Gottwald (Kleofas) – pokład 510 w. II na wysokość 2,5 m i pokład 501 w. II na wysokość 2,4–3,2 m,
- w kopalni Katowice – pokład 510 w. I i pokład 501 w. II na wysokość 2,5 m, na głębokości 280–420 m.

W strefie uskoju Wojciech kopalnia Katowice eksploatowała pokład 407/1 na wysokość 1,8 m z podsadzką hydrauliczną na głębokości 280–420 m. Równocześnie z eksploatacją pod płytą Katowic (faza 1 etapu II) w połowie roku 1994 podjęto eksploatację pod Osiedlem Paderewskiego, na obszarze położonym na południowy wschód od śródmieścia Katowic (rys. 4.4.1), którą prowadzono do zamknięcia kopalni Katowice w lipcu 1999 roku.

4.4.2.2. Deformacje powierzchni – wnioski

W czasie eksploatacji pod płytą Katowic raz na pół roku prowadzono pomiary geodezyjne deformacji powierzchni na sieci wzdłuż głównych ulic miasta i ważniejszych obiektów użyteczności publicznej. Wyniki pomiaru obniżeń za cały okres 1970–1999 przedstawiono na rysunku 4.4.3, a za półrocze od października 1998 roku do maja 1999 roku na rysunku 4.4.4.



Rys. 4.4.3. Obniżenia od roku 1970 do maja 1999 roku (Pawelczyk, 2009)

Zakończenie procesu deformacji terenu stwierdzono na podstawie pomiarów przeprowadzonych pod koniec roku 2002 (przyrost obniżeń w ciągu roku był mniejszy od 10 mm).

Największe sumaryczne obniżenia powierzchni zarejestrowano w rejonie katowickiej katedry przy ul. Powstańców – 1,87 m i na ul. Damrota – 2,05 m (rys. 4.4.3). W półroczu od października 1998 roku do maja 1999 roku obniżenia w centrum były mniejsze niż 10 mm, a na granicach filara wynosiły do 0,1 m, przy czym w części południowo-wschodniej oddziaływała eksploatacja prowadzona poza płytą Katowic, pod Osiedlem Paderewskiego (rys. 4.4.4).

Po eksploatacji (Kaszowska, 1999) obniżenia wynosiły:

- dla fazy 1 etapu I – 0,51 m,
- dla fazy 2 etapu I – 0,63 m,
- dla fazy 1 etapu II – 0,73 m.

Nachylenia terenu nie przekroczyły sumarycznie 4,0 mm/m, a odkształcenia poziome nad centrum eksploatacji były od –1,2 do +1,4 mm/m. Prędkość obniżeń terenu nie przekroczyła 0,53 mm/dobę.

Wyznaczony współczynnik eksploatacyjny wynosił:

- dla fazy 1 etapu I – 0,17,
- dla fazy 2 etapu I – 0,21,
- dla fazy 1 etapu II – 0,26.

Parametr górotworu wynosił $\text{tg}\beta = 1,6$.

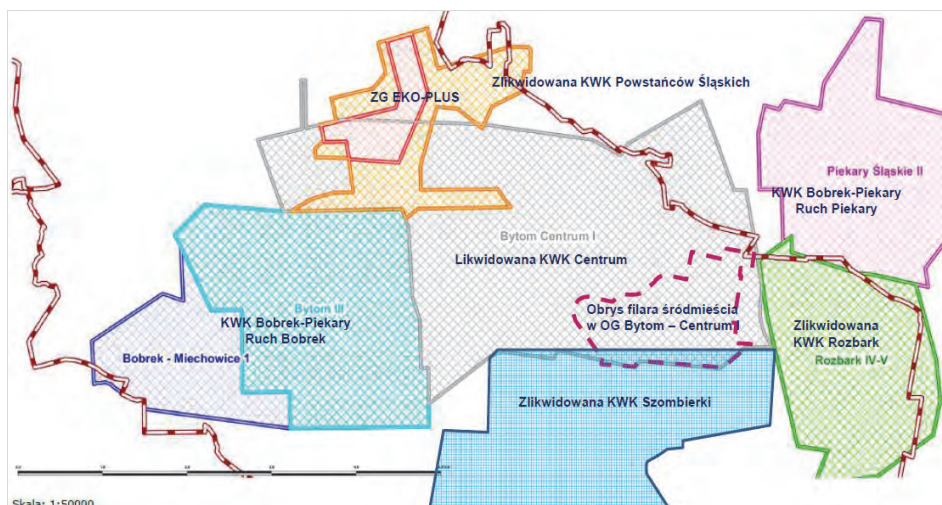
W podsumowaniu eksploatacji pod płytą Katowic można stwierdzić, że:

- Była to ostatnia eksploatacja zaprojektowana i realizowana, która w tak znacznym stopniu uwzględniała wymogi ochrony powierzchni, przy małych szkodach na chronionej powierzchni. Wszystkie obiekty na terenie chronionym pełniły bez przerwy swoje funkcje.
- Rygory eksploatacji: wysokości eksploatowanych warstw, postępy frontów, wzajemne wyprzedzenia sąsiednich ścian, były przestrzegane i kontrolowane.
- W czasie eksploatacji w etapie I stosowano bardzo dobrą podsadzkę w 100% z piasku klasy I i II, a od roku 1988 piasku (65–70%) z dodatkiem skał odpadowych i żużli wielkopieczowych w 30–35%. Nie stosowano pyłów dymnicowych.
- Wyznaczone *a posteriori* współczynniki eksploatacyjne były prawie czterokrotnie mniejsze niż przy eksploatacji z zawałem stropu.
- Łącznie wydobyto 46,16 mln Mg węgla kamiennego bardzo dobrej jakości.

4.4.3. Eksploatacja pod śródmieściem Bytomia

4.4.3.1. Wprowadzenie

Eksploatacja w filarze ochronnym śródmieścia Bytomia (Kowalski, 2015) została zakończona w kwietniu 2015 roku. Filar ochronny obejmował część obszarów górniczych kopalń Centrum, Szombierki i Rozbark. Na rysunku 4.4.5 przedstawiono granice terenu chronionego na tle granic zlikwidowanych obszarów górniczych i czynnych w roku 2017 kopalń Bobrek-Piekary, Ruch Bobrek oraz EKO-PLUS (mała prywatna kopalnia).

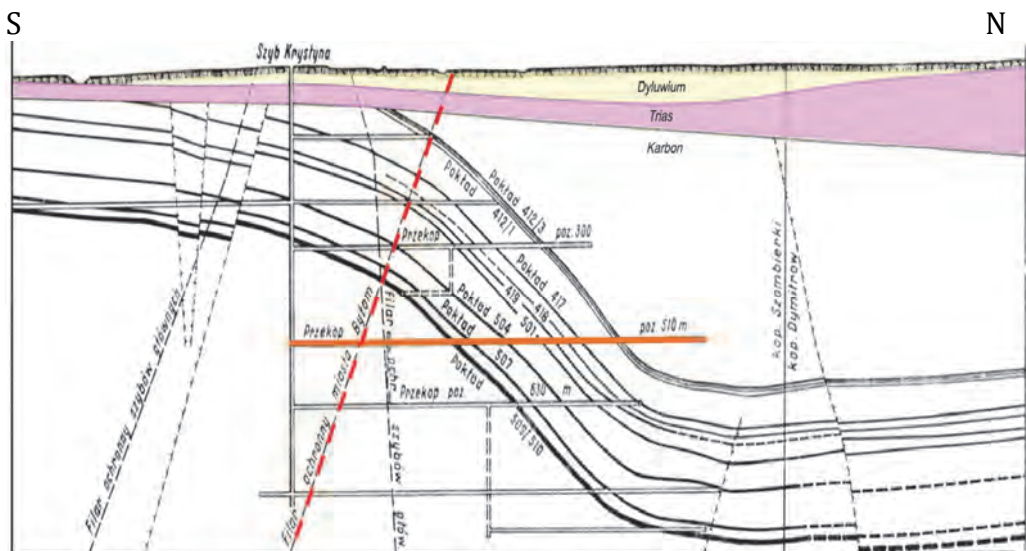


Rys. 4.4.5. Granice obszarów górniczych kopalń w rejonie Bytomia w roku 2017 i obrys terenu chronionego dla śródmieścia Bytomia (Wagner, 2017)

Kopalnia Centrum wywodziła się z kopalni galmanu Teresa, w której pod koniec lat pięćdziesiątych XIX wieku zakończono wydobywanie, a w roku 1881 zaczęto wydobywać węgiel kamienny. Od maja 2015 roku kopalnia Centrum znajduje się w strukturach SRK SA, która prowadzi likwidację kopalni i utrzymuje Pompownię Centralną dla niecki bytomskiej.

4.4.3.2. Warunki geologiczne

Bytom jest położony na warstwach karbońskich nad niecką geologiczną nazywaną niecką bytomską, zasobną w bogate złoża węgla kamiennego, nad którą zalegają warstwy czwartorzędu i triasu (rys. 4.4.6), w którym występowały dolomity kruszconośne (rozdz. 4.2). Złoża rud srebra, cynku i ołowiu występowało przeważnie w jednej lub w dwóch ławach, na głębokości 40–100 m. Miąższość warstwy kruszconośnej wynosiła od kilku centymetrów do kilku metrów.



Rys. 4.4.6. Przekrój geologiczny filara ochronnego (południe-północ)

Karbon stanowi kompleks iłowcowo-mułowcowo-piaskowcowy z pokładami węgla warstw rudzkich (od 404 do 419), siódłowych (od 501 do 510) i porębskich (najgrubszych 615 i 620). W filarze ochronnym zalegają 22 pokłady węgla kamiennego, z których prawie połowa była eksploatowana. W stropie pokładu 504 zalega ława zwięzłego piaskowca o grubości 40–60 m, a nad pokładami 507 i 510 ława o grubości kilkunastu metrów. Grubość pokładów wynosi od 0,8 m do 9,0 m.

Głębokość zalegania eksploatowanych pokładów wynosi od stu kilkudziesięciu metrów na wychodniach karbonu do ponad 1000 m w dnie niecki geologicznej (pokład 510).

Złoże w rejonie terenu chronionego jest przecięte dwoma głównymi uskokiemi: radzionkowskim na granicy z kopalnią Rozbark o zrzucie 40–160 m i uskokiem bytomskim o zrzucie do 20 m.

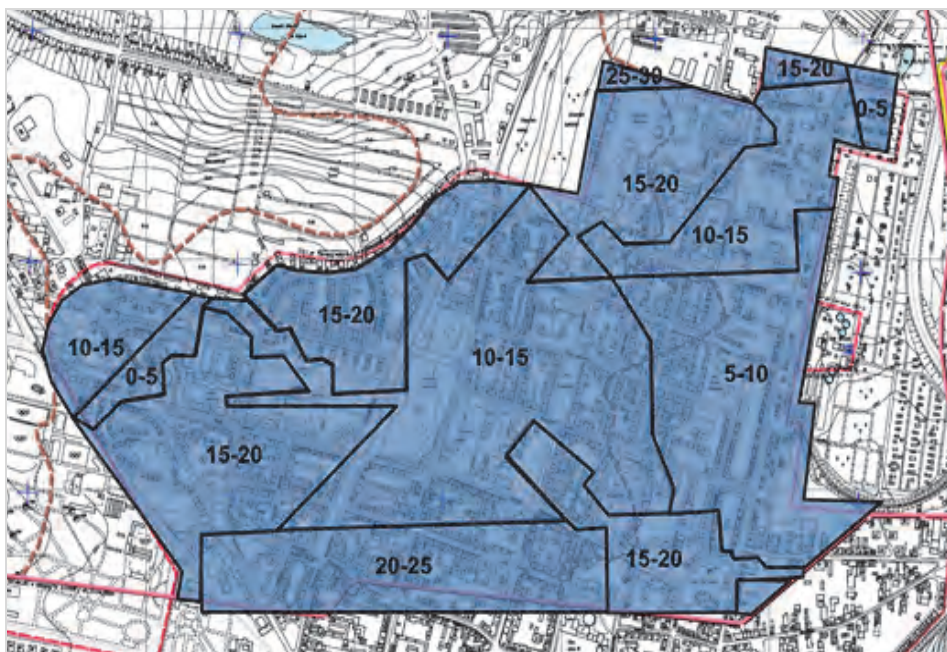
4.4.3.3. Eksploatacja złóż węgla kamiennego

Najważniejsze daty w okresie eksploatacji prowadzonej w filarze ochronnym śródmieścia Bytomia to:

- rok 1949 – wyznaczenie filara ochronnego i rozpoczęcie eksploatacji,
- rok 1993 – utworzenie (przez połączenie) kopalni Centrum-Szombierki,
- rok 1999 – rozpoczęcie likwidacji kopalni Centrum-Szombierki i wydzielenie z niej ZG Centrum,

- rok 2005 – połączenie ZG Centrum i ZG Bytom III (wydzielonego ze zlikwidowanej kopalni Bobrek-Miechowice) w jedną kopalnię pod nazwą Bobrek-Centrum,
- rok 2015 – rozdzielenie kopalni Bobrek-Centrum na dwie kopalnie Bobrek i Centrum oraz rozpoczęcie likwidacji kopalni Centrum w ramach SRK SA w Bytomiu,
- 28.04.2015 r. – zakończenie eksploatacji w filarze ochronnym.

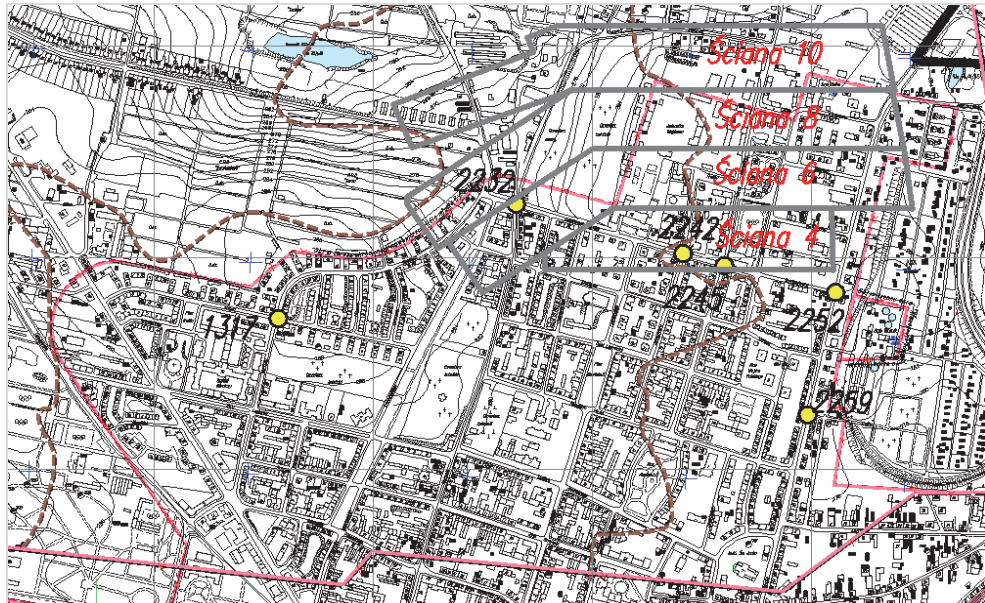
W filarze ochronnym śródmieścia Bytomia zostało wyeksploatowane złożo o łącznej miąższości wynoszącej około 30 m (rys. 4.4.7).



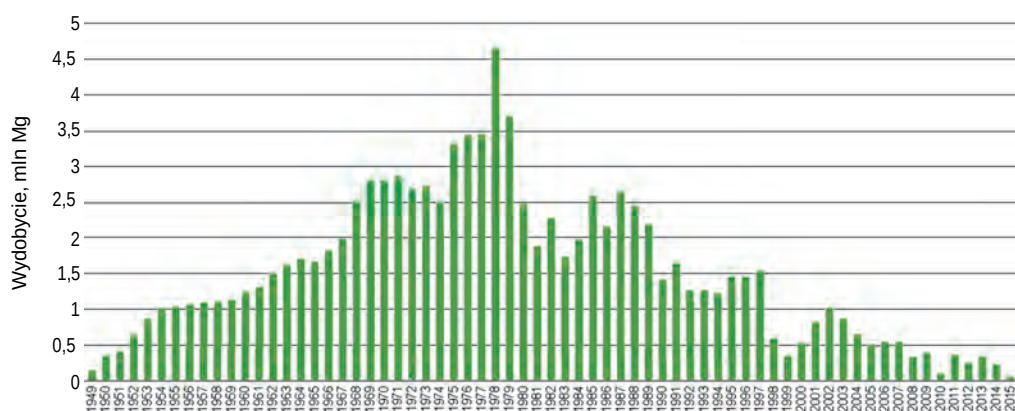
Rys. 4.4.7. Miąższość wybranych warstw węgla w obrysie filara śródmieścia Bytomia (Wagner, 2019)

Ostatnią eksploatację prowadzono ścianą 4 w warstwie dolnej pokładu 510 na podszatkę hydrauliczną na wysokość warstwy 2,4 m (rys. 4.4.8). Głębokość eksploatacji wynosiła 650 m, a szerokość frontu eksploatacji ściany – 140 m. Była to czwarta, ostatnia z grupy ścian w pokładzie 510, z kierunkiem eksploatacji ścian z zachodu na wschód oraz w kolejności ścian z północy na południe.

Na rysunku 4.4.9 przedstawiono kształtowanie się wielkości wydobywania z filara ochronnego śródmieścia Bytomia. Największe wydobywanie 4,5 mln Mg było w roku 1979; wydobywanie ogółem wynosiło wtedy prawie 102 mln Mg.



Rys. 4.4.8. Eksploatacja w ostatnim pokładzie 510w.d. w roku 2015 (Wagner, 2019)



Rys. 4.4.9. Wydobywanie węgla kamiennego z filara ochronnego śródmieścia Bytomia (Kowalski i Klabis, 2015)

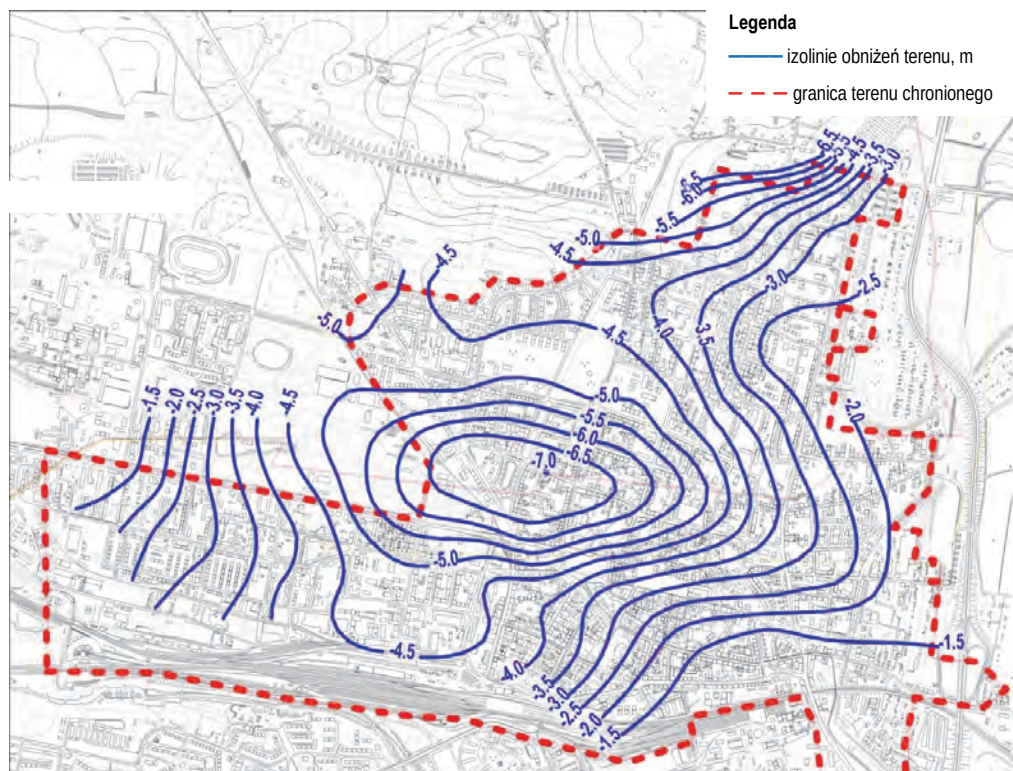
4.4.3.4. Deformacje powierzchni

Pomiary deformacji powierzchni i ich wyniki

Na terenie chronionym śródmieścia Bytomia pomiary wysokości i długości na liniach wzdłuż głównych ulic prowadzono dwa razy w roku – wiosną i jesienią. Ostatnią serię wykonano w październiku 2018 roku. Wyniki pomiarów były każdorazowo opracowywane w postaci map izolinii obniżen i wykresów odkształceń poziomych [za ostatnie dziesięć lat; okres ten ustalono według zaleceń Knothego (1984)].

gdzie $M_0 = \pm 2,0$ – błąd niwelacji precyzyjnej klasy II (Instrukcja techniczna G-2),
gdzie $M_0 = \pm 4,0$ – błąd niwelacji technicznej klasy III (Instrukcja techniczna G-2).

Wartości obniżeń, które zmierzono w okresie 1949–2012 przedstawiono na rysunku 4.4.11. Na terenie chronionym największe obniżenia wystąpiły w rejonie skrzyżowania ul. Piekarskiej i ul. Strzelców Bytomskich, wynosiły one 7,1 m. W latach 2002–2012 odkształcenia poziome mieściły się w granicach kategorii I terenu górniczego.



Rys. 4.4.11. Izolinie obniżeń terenu chronionego śródmieścia Bytomia zmierzonych w latach 1949–2012 (Kowalski i Klabis, 2015)

Wartość współczynnika eksploatacyjnego wyznaczona z wyników pomiarów obniżeń spowodowanych eksploatacją z podsadzką hydrauliczną pokładu 414/1 w latach 1999–2006 wynosiła $a = 0,23$. Wyznaczony parametr górotworu $\text{tg}\beta$ wynosił około jedności, co może wynikać z uwzględnienia w dopasowaniu tzw. obrzeża eksploatacyjnego i oddziaływania eksploatacji zewnętrznej na analizowane punkty. Do prognozowania deformacji spowodowanych eksploatacją ostatniego pokładu z podsadzką przyjęto wartości: $\text{tg}\beta = 1,5$ i współczynnik eksploatacyjny $a = 0,25$.

Deformacje zanikające

Poniżej przedstawiono obniżenia, które wystąpiły w czterech różnych okresach:

- ostatnich 15 lat eksploatacji,
- od maja 2005 roku (ostatnich 10 lat eksploatacji),
- od października 2010 roku (ostatnich 5 lat eksploatacji),
- od maja 2015 roku (po zakończeniu eksploatacji).

Punkty o największej wartości obniżeń (2232, 2242, 2252) zlokalizowane w ciągu ul. Powstańców Śląskich w okresie 19 lat (2000–2018) obniżyły się od 0,99 do 2,82 m, w tym w ostatnich trzech latach od 17,7 do 26,2 mm (rys. 4.4.12).



Rys. 4.4.12. Obniżenia punktów niwelacji precyzyjnej w latach 2000–2018 (Wagner, 2019)

W okresie od maja 2015 roku do września 2018 roku pomierzone wartości obniżeń w rejonie ostatniej eksploatacji na ogół kształtowały się w granicach od 2,5 do 27,2 mm (rys. 4.4.12). Po zakończeniu eksploatacji przyrosty obniżeń rocznych mieściły się w granicach od +2,9 do -4,2 mm. W latach 2017–2018 obniżenia wynosiły od -0,2 do -3,0 mm (błąd średni $\pm 5,1$ mm).

Na rysunku 4.4.13 przedstawiono wartości obniżeń, które wystąpiły w czterech różnych okresach:

- od października 2014 roku do października 2015 roku – od -1,2 do -67,2 mm (wpływy główne),
- od października 2015 roku do października 2016 roku – od +2,9 do -1,9 mm,
- od października 2016 roku do października 2017 roku – od -0,2 do -4,2 mm,
- od października 2017 roku do października 2018 roku – od -0,2 do -3,0 mm.



Rys. 4.4.13. Wykres zanikania obniżenia w latach 2015–2018 (Wagner, 2019)

W świetle przedstawionych wyników mieszczących się w granicach błędów pomiarowych można sformułować wniosek, że bezpośrednie wpływy eksploatacji na teren górniczy, po zastosowaniu podszadki hydraulicznej, zanikają w ciągu dwóch lat od zakończenia eksploatacji. Obniżenia terenu górniczego o wartościach do kilku milimetrów na rok będą się jednak jeszcze ujawniać.

Na negatywną ocenę eksploatacji pod śródmieściem Bytomia miało wpływ kilka czynników:

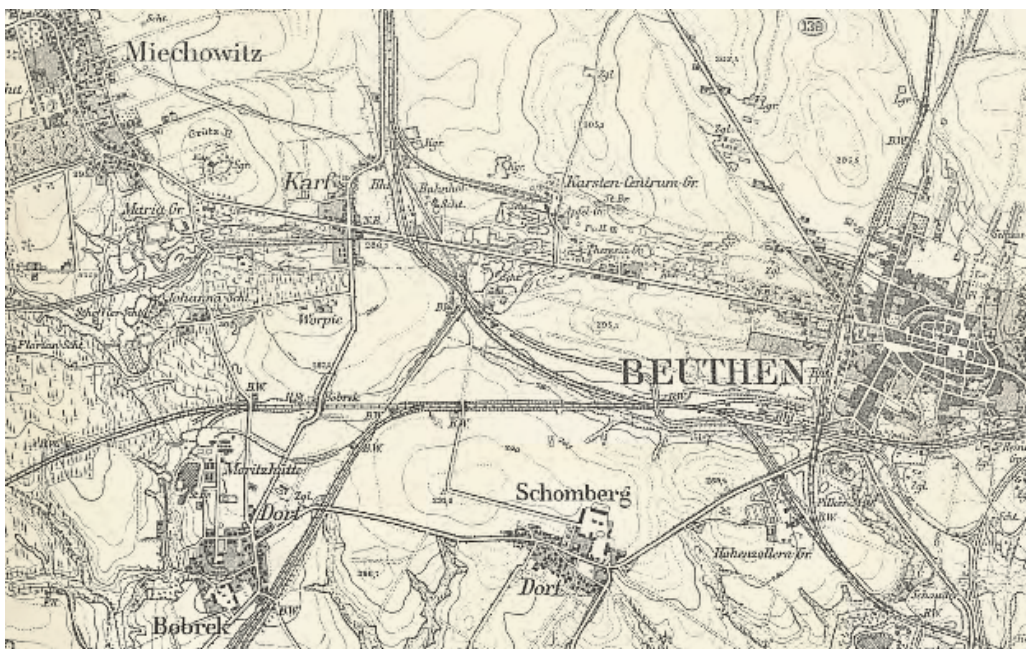
- dwukrotnie większe wydobycie niż pod Katowicami,
- trudne warunki geologiczne (głębokość, nachylenie warstw karbonu, występowanie zwięzłych warstw piaskowców powodujących wstrząsy i tąpnięcia),
- prowadzenie intensywnej eksploatacji górniczej w latach siedemdziesiątych i na początku lat osiemdziesiątych XX wieku spowodowało wystąpienie wysokoenergetycznych wstrząsów górniczych (o energii 10^9 J) i liczne uszkodzenia budynków,
- opóźnienia w usuwaniu szkód w budynkach, na co duży wpływ miały nieuregulowane sprawy własnościowe; wpłynęło to na stan techniczny budynków (odporność na deformacje i wstrząsy).

Z uwagi na zły stan techniczny, spowodowany głównie uszkodzeniami górniczymi, w latach 1949–2019 rozebrano około 100 budynków, a kolejne 100 częściowo rozebrano i/lub przeznaczono do rozbiórki.

4.4.4. Dzielnica Karb w Bytomiu

4.4.4.1. Historia i zabudowa dzielnicy

Karb (niem. *Karft*) to dzielnica Bytomia położona na zachód od śródmieścia. Schemat ówczesnej zabudowy jest udokumentowany na mapie z roku 1883 (rys. 4.4.14). Współcześnie zabudowa skupiona jest wzdłuż drogi DK94 (Legnica – Wrocław – Bytom – Kraków), ul. Wrocławskiej i dalej na zachód ul. Miechowickiej oraz prostopadłej do niej ul. Konstytucji – głównej ulicy dzielnicy (rys. 4.4.15).



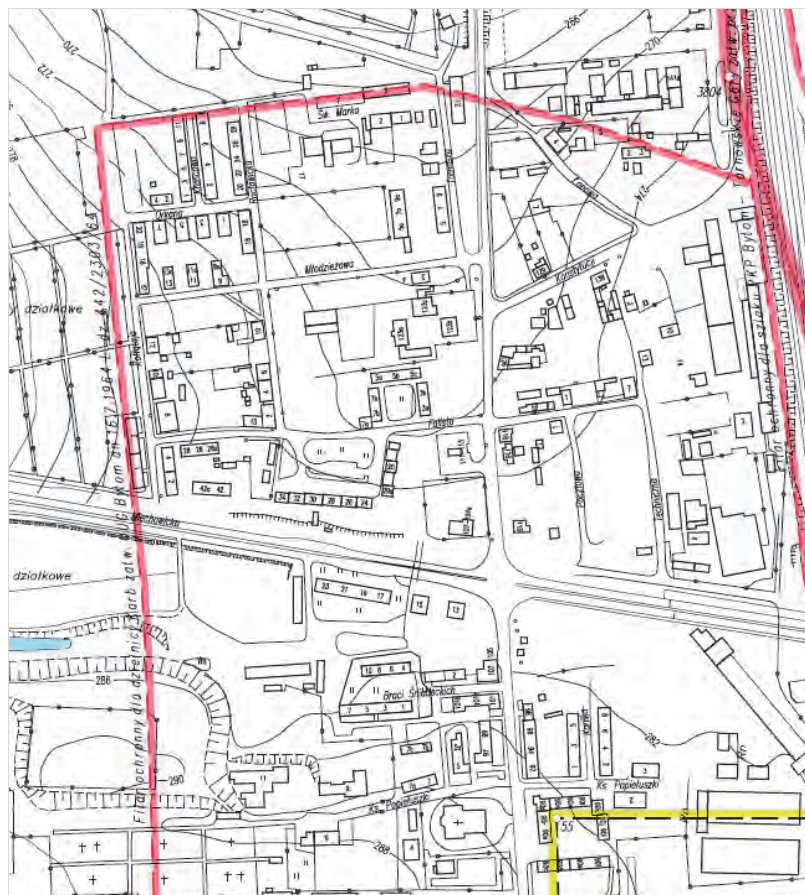
Rys. 4.4.14. Wycinek mapy powierzchni z rejonu Karbia (Internet 5)

Rozwój Karbia ma związek z sąsiadującą z nim wcześniej kopalnią galmanu Maria, położoną między Karbiem a Miechowicami, która została uruchomiona w roku 1823 (Hebliński, 2002). Drugą okolicznością sprzyjającą rozwojowi dzielnicy była budowa kopalni węgla kamiennego Grafen Johanna Schachtanlage (obecny Ruch Bobrek kopalni Bobrek-Piekary) i budowa kościoła parafialnego pw. Dobrego Pasterza, którą rozpoczęto w roku 1907 (rys. 4.4.14 i rys. 4.4.15).

Złoża rudy cynku i ołowiu oraz węgla kamiennego w rejonie Bytomia, a także dzielnic Karb i Miechowice były jednymi z największych na świecie.

W dzielnicy Karb przeważa obecnie zabudowa mieszkalna wielorodzinna, o konstrukcji tradycyjnej, wznoszona od końca XIX wieku do lat czterdziestych

XX wieku. Budynki mają zabudowę zwartą, półzwartą lub są wolno stojące, całkowicie lub częściowo podpiwniczone, a sumaryczna długość ciągów mieszkalnych wynosi nawet do 90 m. Zabudowa zwarta i półzwarda znajduje się przy ul. Falistej, Kołłątaja, Krańcowej, Miechowskiej, Młodzieżowej, Orkana, Raławickiej, św. Marka. Budynki wolno stojące rozlokowane są przy ul. Kołłątaja, Orkana i Raławickiej (rys. 4.4.15).



Rys. 4.4.15. Współczesna zabudowa dzielnicy Karb

Większość starszych budynków jednorodzinnych zabezpieczano zazwyczaj w fazie ich użytkowania przez kotwienie w poziomie stropów. Dla niektórych budynków w poziomie fundamentów wykonano obwodową opaskę żelbetową. Obiekty nowsze wykonano z zabezpieczeniem przed deformacjami odpowiadającymi III lub IV kategorii terenu górniczego z żelbetowymi, dodatkowo zbrojonymi, ławami i ściągami, stropami gęstożebrowymi i płytowymi, zmonolizowanymi z obwodowo konstruowanymi wieńcami żelbetowymi.

4.4.4.2. Zarys dokonanej eksploatacji górniczej

Przedmiotem analizy deformacji powierzchni i oceny zgodności prognozy z wynikami pomiarów była eksploatacja ścianami 2 i 3 w górnej warstwie pokładu 504, prowadzona w latach 2014–2016 przez kopalnię Bobrek-Piekary Ruch Bobrek (rys. 4.4.16 i rys. 4.4.17). Odbывała się ona w bezpośrednim sąsiedztwie ściany nr 1, której eksploatacja w roku 2011 spowodowała znaczne uszkodzenia budynków przy ul. Pocztowej i Technicznej. Z powodu zaistniałych uszkodzeń konieczne stało się wyburzenie tych budynków (Kowalski, 2015).



Rys. 4.4.16. Wycinek mapy z wyrobiskami górniczymi w złożu rudy, na którym zaznaczono kontur ścian nr 1–3 w pokładzie 504w.g. oraz wyburzone budynki przy ul. Pocztowej i Technicznej

Największą sumaryczną grubość wybrane pokłady miały na północnym zachodzie; za cały okres eksploatacji wynosiła ona około 36 m. Wyeksploatowane (po 1965 r.) złoża węgla kamiennego z zawałem stropu miało grubość około 24 m, a z podsadzką hydrauliczną – 5,7 m; największe obniżenia osiągały 22,0 m.

Eksploatację pokładu 504 w górnej warstwie poprzedzała eksploatacja pokładu 503, zalegającego nad nim w odległości pionowej 17 m, prowadzona w latach 2006–2010 z zawałem stropu na wysokość średnio 3,4 m. Eksploatację ścianą 1 w górnej warstwie pokładu 504 prowadzono z zawałem stropu w latach 2010–2011. Wysokość warstwy wynosiła 2,0 m, głębokość 730 m. Eksploatację ścianą 1 zakończono 29.08.2011 r. (rys. 4.4.17).

Eksploatacja ścianą 2 w pokładzie 504 została uruchomiona na przełomie lipca i sierpnia 2014 roku, a ścianą 3 w marcu 2015 roku. Ściana 2 miała długość 250 m, a ściana 3 – 330 m, wybiegi odpowiednio 1125 i 1010 m. Eksploatację prowadzono z zawałem stropu z obudową górniczą Fazos 12/28. Kierunek eksploatacji ścian był z północy na południe. W części południowej eksploatację prowadzono pod zabudową dzielnicy Karb. Eksploatację ścianą 2 zakończono w lipcu 2016 roku, a ścianą 3 w październiku 2016 roku. Głębokość eksploatacji wynosiła średnio 730 m.

W celu zminimalizowania deformacji do wskaźników odpowiadających kategorii II terenu górniczego eksploatacja ścianami 2 i 3 była ograniczona do wysokości 1,8 m, a wyprzedzenia między ścianami do 150 m. Maksymalne dobowe postępy ścian nie przekraczały 3,0 m, a miesięczne 90 m.

W trakcie eksploatacji ścianami 2 i 3 w pokładzie 504 w.g. w końcowej ich fazie (2016 r.) zarejestrowano pięć wstrząsów wysokoenergetycznych (o energii większej od $1 \cdot 10^5$ J). Najsilniejszy wstrząs o energii $3 \cdot 10^8$ J, który wystąpił 3.06.2016 r., spowodował maksymalne parametry drgań, zarejestrowane w szkole przy ul. św. Marka (rys. 4.4.15); przyspieszenia drgań wynosiły 1000 mm/s^2 , a prędkość $27,1 \text{ mm/s}$.

4.4.4.3. Prognozowane i pomierzone deformacje powierzchni

Do prognozy deformacji powierzchni przyjęto parametry (Ekspertyza, 2014):

- współczynnik eksploatacyjny $a = 0,85$,
- parametr górotworu $\text{tg}\beta = 2,0$,
- parametr przemieszczeń poziomych $B = 0,32r$.

Największe prognozowane obniżenia wynosiły 1,55 m, natomiast największe pomierzone (marzec 2017 r.) obniżenie terenu stwierdzono w północnej

części dzielnicy w punkcie 1245 usytuowanym przy ul. św. Marka – wynosiło ono 2,39 m (sic!). Wyznaczone z obniżeń maksymalne nachylenia wynosiły 6,2–8,0 mm/m, średnio 7,1 mm/m, a odkształcenia poziome $\pm 3,3$ mm/m.

Na rysunku 4.4.18 zaznaczono prognozowane izolinie obniżeń i kategorie terenu górniczego, a także wartości pomierzonych obniżeń w wybranych punktach. Kolorem czerwonym zaznaczono punkty, w których nastąpiło przekroczenie obniżeń prognozowanych. Największe przekroczenia obniżeń pomie-



Rys. 4.4.18. Prognozowane izolinie obniżeń i kategorie terenu górniczego oraz wartości obniżeń pomierzone w wybranych punktach (zabudowa według stanu na 31.12.2016 r. po wyburzeniach segmentów)

rzonych dochodziły do 60–90% wartości prognozowanych. Natomiast w części na południe od konturów eksploatacji ścianami 2 i 3 obniżenia pomierzone były równe, a nawet mniejsze od prognozowanych (kolor jasnozielony).

Przyczyna przekroczenia prognozowanych obniżień wynikała zarówno z warunków geologicznych, jak i górniczych:

- opadu skał ze stropu bezpośredniego i jego urabiania z warstwą węgla kamiennego; wówczas rzeczywista grubość eksploatowanej warstwy mogłaby być większa od 1,8 m zakładanej w prognozie (przyp. A. Kowalski),
- aktywizacji pustek w stropie pokładu 503 ($g = 3,0\text{--}3,4\text{ m}$) eksploatowanego z zawalem stropu wcześniej (6–7 lat), nad którym zalegała gruba ława piaskowca; pokład 503 zalegał 17 m nad pokładem 504,
- zruszenia górotworu, w którym wcześniej wyeksploatowano kilkanaście warstw węgla kamiennego.

4.4.4.4. Profilaktyka budowlana

Wykonane obliczenia sprawdzające odporność długich ciągów budynków na oddziaływanie prognozowanych odkształceń poziomych powierzchni wykazały, że wartości głównych naprężeń ścinających mogą zostać przekroczone, co mogłoby wywołać podobny efekt, jak opisany dla rejonu zabudowy przy ul. Pocztowej i Technicznej. W celu uniknięcia takiej sytuacji postanowiono zastosować, oprócz profilaktyki górniczej, profilaktykę budowlaną, która pozwoliła na utrzymanie istniejącej zabudowy, w stanie zdatnym do użytkowania. Profilaktyka budowlana polegała na wyburzeniu jednego segmentu przy ul. Raławickiej i segmentów w dwóch ciągach przy ul. Krańcowej (fot. 4.4.1, fot. 4.4.2).



Fot. 4.4.1. Wyburzany segment w ciągu budynków



Fot. 4.4.2. Wykonane przypory po wyburzeniu segmentu

Nadzór budowlany wykazał, że w konstrukcji ciągów budynków przy ul. Krańcowej po przeprowadzonych wyburzeniach nie wystąpiły większe uszkodzenia spowodowane eksploatacją górniczą (Ekspertyza, 2016). W większości przypadków doszło do nieznacznej intensyfikacji istniejących deformacji i uszkodzeń, które nie wpłynęły jednak na bezpieczeństwo konstrukcji i użytkowników.

4.4.4.5. Doświadczenia z prognozy deformacji

1. Zastosowana profilaktyka górnicza i budowlana spełniła cel, jakim było bezpieczne prowadzenie eksploatacji górniczej i ochrona obiektów przed szkodami.
2. Profilaktyka górnicza polegała na równoczesnym prowadzeniu eksploatacji ścianami 2 i 3 oraz ograniczeniu prędkości postępu ścian i wysokości eksploatowanej warstwy pokładu. Profilaktyka budowlana polegała na wyburzeniu środkowych segmentów długich ciągów budynków przy ul. Racławickiej i Krańcowej. Należy podkreślić, że oprócz względów czysto technicznych, wpłynęło to na poprawę warunków bytowych mieszkańców tej dzielnicy. Miałoby to bowiem bardzo negatywny wydźwięk społeczny, gdyby poprzednia historia z roku 2011 powtórzyła się choć w niewielkim stopniu.
3. Analizowany przykład wykazał rozbieżność prognozy deformacji i wyników pomierzonych obniżen, zwłaszcza w rejonie dna niecki obniżeniowej w północno-zachodniej części dzielnicy, gdzie pomierzone obniżenia przekroczyły prognozowane o około 50%. Przeprowadzona ocena tych rozbieżności wykazała, że mogło dojść do przekroczenia eksploatowanej wysokości ścian, a także do aktywizacji pustek w stropie, eksploatowanych z zawałem stropu pokładów 503 i 504.
4. Dobra prognoza oznacza najlepszą osiągalną prognozę, lecz nie oznacza prognozy „dobrej z punktu widzenia użytkownika”. Każda prognoza jest obciążona pewną odchyłką, której przyczyna powinna być wyjaśniona, najlepiej po zakończeniu eksploatacji górniczej, a jej wyniki wykorzystane w kolejnych prognozach. Takie jest postępowanie kopalni i zespołu ekspertów opiniujących prowadzenie eksploatacji górniczej w kopalni Bobrek-Piekary Ruch Bobrek.
5. Doświadczenia te korespondują z niezależną oceną eksploatacji prowadzonej przez kopalnię Bobrek-Piekary, zamieszczoną w artykule Napierały i Dudy, w której stwierdzono, że (...) *odpowiednie zaprojektowanie eksploatacji*

oraz stosowanie w czasie jej trwania profilaktyki górniczej i budowlanej, ogranicza powstawanie szkód w infrastrukturze powierzchniowej oraz umożliwia prowadzenie eksploatacji w terenie silnie zurbanizowanym (Napierała i Duda, 2017, s. 32).

4.4.5. Dzielnica Miechowice w Bytomiu

4.4.5.1. Historia dzielnicy i zarys działalności górniczej

Miechowice, obecnie dzielnica Bytomia, są jedną z najstarszych miejscowości zlokalizowanych w sąsiedztwie Bytomia; ich początki sięgają XIII wieku (Hebliński, 2002). Podobnie jak pod śródmieściem Bytomia i dzielnicą Karb, pod Miechowicami również zalegały bogate złoża rud srebra, cynku i ołowiu oraz węgla kamiennego.

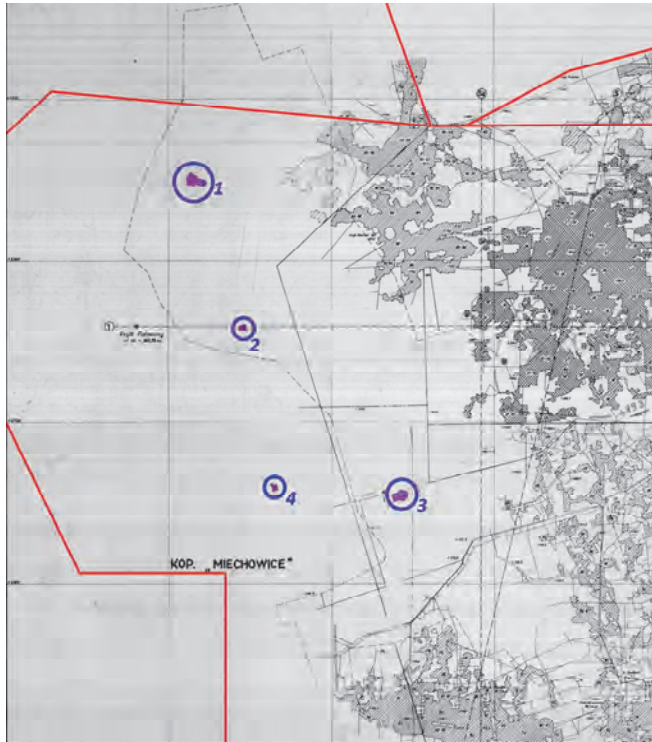
Na południe od zabudowy Miechowic F. Winckler i K. Godula założyli na początku XIX wieku kopalnię rudy Maria. W roku 1865 ze środków fundacji Winklerów zbudowano nowy kościół rzymskokatolicki pw. Św. Krzyża (fot. 4.4.3), a w roku 1904 kościół ewangelicki (fot. 4.4.4).



Fot. 4.4.3. Portal i wieża kościoła pw. Św. Krzyża w Bytomiu-Miechowicach – widok od zachodu (fot. P. Gruchlik)



Fot. 4.4.4. Kościół Parafii Ewangelicko-Augsburskiej w Bytomiu-Miechowicach (fot. K. Mendlik, Internet 6)



Rys. 4.4.19. Wycinek mapy pokładowej eksploatacji rudy, na którym zaznaczono lokalizację: 1 – kościoła pw. Bożego Ciała, 2 – kościoła Parafii Ewangelicko-Augsburskiej, 3 – kościoła pw. Św. Krzyża, 4 – Pałacu Tiele-Wincklerów (obecnie ruiny)

Na rysunku 4.4.19 przedstawiono wycinek mapy pokładowej złoża rudy z granicami pól eksploatacyjnych. Bezpośrednio pod dzielnicą (linia przerywana), w rejonie kościołów i Pałacu Tiele-Wincklerów, nie prowadzono eksploatacji płytko zalegającego złoża rud cynku i ołowiu (40–80 m).

Eksploatację bogatego złoża węgla kamiennego (północno-zachodnia część niecki bytomskiej) rozpoczęła w roku 1906 kopalnia Preusen (Prusy). Po roku 1945 eksploatację prowadziła kopalnia Miechowice, której znaczna część po kolejnych przekształceniach weszła najpierw w skład kopalni Bobrek-Centrum, a potem (lata 2017–2019) Bobrek-Piekary.

Złoże węgla kamiennego było eksploatowane w kilkunastu warstwach w latach od 1937 do 2018. Głębokość eksploatacji wynosiła od 270 m (pokład 406/4) do 815 m (pokład 510). Pokłady wybierano na wysokość od 1,5 do 3,6 m. Głównym sposobem eksploatacji był system ścianowy z zawalem stropu. Na początku w pokładach górnorudzkich (406/4–409) stosowano podsadzkę suchą, potem dominowała eksploatacja z zawalem stropu, w mniejszym zakresie wykorzystywano podsadzkę hydrauliczną (w pokładach 418 i 501).

Łącznie wyeksploatowano złożę o miąższości około 35,5 m, przy czym przed rokiem 1965 (data rozpoczęcia pomiarów w dzielnicy Miechowice) na sumaryczną wysokość około 9,0 m, głównie z podsadzką suchą. Po roku 1965 sumaryczna miąższość wybranych, głównie z zawałem stropu, 12 pokładów węgla wynosiła około 25 m.

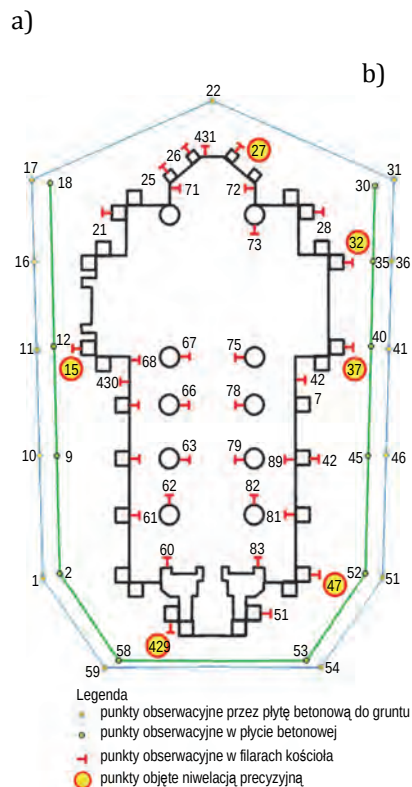
W monografii Kowalskiego (2015) przedstawiono doświadczenia zgromadzone podczas ostatniej eksploatacji ściany 18a pod kościołem Parafii Ewangelicko-Augsburskiej (fot. 4.4.4) oraz ścian 30 i 30a w pokładzie 510w.d. pod kościołem pw. Św. Krzyża (fot. 4.4.3).

Przedmiotem analizy jest eksploatacja ścianami 5 i 6 w pokładzie 503 pod kościołem pw. Św. Krzyża, w szczególności ocena narastania deformacji – prędkości obniżień – określanej z wykorzystaniem metod geodezyjnych i zgodność prognozy z późniejszymi wynikami pomiarów wskaźników deformacji powierzchni. Z uwagi na bogate złoża węgla kamiennego i zabudowę dzielnicy eksploatacja kolejnych pokładów węgla kamiennego jest ograniczana, a powstające deformacje powierzchni i uszkodzenia obiektów budowlanych są monitorowane (wykonywane przeglądy i obserwacje budowlane) przez Instytut Techniki Budowlanej i Główny Instytut Górnictwa.

Metodyka dopuszczania i prowadzenia eksploatacji górniczej zarówno pod dzielnicą Karb, jak i Miechowice, była oparta na ocenie ekspertów budowlanych w dziedzinie konstrukcji podlegających wpływom eksploatacji górniczej. Ocena ekspercka odporności zabudowy na deformacje i wstrząsy opracowana przez dr. hab. inż. Mariana Kawuloka, prof. ITB, uwzględnia (...) *doświadczenie eksperta odnośnie zachowania się obiektów o podobnej geometrii i konstrukcji w zbliżonych warunkach geologicznych i górniczych lub przez porównanie z innymi rozwiązaniami, na przykład analizami obliczeniowymi* (Kawulok, 2015, s. 113). Należy jednak mieć na uwadze, że w trakcie ujawniania się deformacji konieczne jest, aby ocena eksperta była okresowo weryfikowana przez obserwacje budowlane zachowania się obiektów. W ramach wyżej wymienionej metodyki dodatkowo zabezpiecza się nieodporne obiekty budowlane i monitoruje je, prowadząc systematyczne obserwacje i przeglądy budowlane.

4.4.5.2. Eksploatacja ścianami 5 i 6 w pokładzie 503 i jej wpływ na budynek kościoła

Ściana 5 została uruchomiona w marcu, a ściana 6 w sierpniu 2016 roku. Zakończenie eksploatacji ścianą 6 nastąpiło 1.02.2018 r., ścianą 5 – 15.05.2018 r. (rys. 4.4.20). Głębokość eksploatacji wynosiła od 650 m na północy do 670 m na



Rys. 4.4.20. Schemat eksploatacji ścianami 5 i 6 w pokładzie 503 w rejonie kościoła – a, opaska Ledwonia i geodezyjna sieć pomiarowa do badań deformacji – b

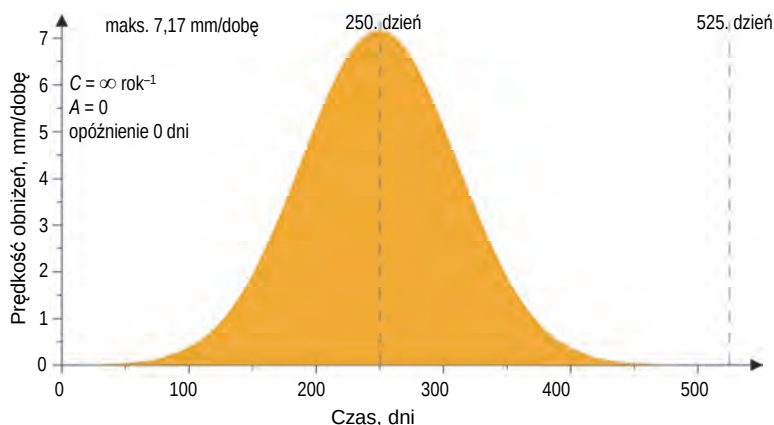
południu. Wysokość eksploatacji wynosiła od 2,3 m na północy ścian, do 2,0 m w środkowej części (w rejonie kościoła pw. Św. Krzyża) i 2,3 m w południowej części ściany 6. Długość ściany 5 wynosiła 200 m, a wybieg 1050 m, długość ściany 6 wynosiła 170 m, a wybieg 750 m. Miesięczny postęp ściany 6 wynosił 60 m. Od wschodniej strony parceli utworzonej ze ścian 5 i 6 znajdują się zroby wcześniej eksploatowanej ściany 4 w pokładzie 503 (w latach 2011–2013), a od zachodniej strony calizna węgla kamiennego wzdłuż strefy uskokowej. W południowej części (w rejonie końcowego wybiegu ścian) znajduje się dno niecki bytomskiej.

W pierwotnych projektach eksploatacji, z uwagi na ochronę kościoła, który wcześniej był poddawany wpływom wielokrotnej eksploatacji, i na który oddziaływały krzywizny pionowe wklęsłe i deformacje poziome o charakterze ściskania, zakładano ograniczenie – zatrzymanie eksploatacji ścianą 6 – 100 m przed budynkiem kościoła.

Po wykonaniu prac naprawczych i wzmocnieniu budynku kościoła, uwzględniając istniejące zabezpieczenia – tzw. opaskę Ledwonia – płytę usztywniającą fundamenty (rys. 4.4.20b) i ściągi stalowe w poziomach posadowienia i węzłowi (Kawulok, Słowik i Chomacki, 2017), zmieniono zakres eksploatacji ścianą 6, wydłużając jej bieg. Zakładano także rektyfikację kościoła z uwagi na jego pochylenia; przed eksploatacją ścianami 5 i 6 wychylenia posadzki kościoła dochodziły do 30 mm/m.

Podstawowym rygiem prowadzenia eksploatacji ścianą 6, z uwagi na ochronę kościoła, było ograniczenie prędkości postępu ściany do 2,0 m/dobę i jej eksploatacja w sposób quasi-ciągły na wybiegu od 100 m przed kościołem do około 100 m za obrysem kościoła, przy czym druga granica miała być potwierdzona za pomocą pomiarów prędkości obniżen. Quasi-ciągłość postępu ściany uzyskiwano przez eksploatację w czasie 1 i 3 lub 2 i 4 zmiany przez siedem dni w tygodniu, przy podziale dobowego postępu ściany na cztery zmiany.

Prędkość ściany 6 wyznaczano w kolejnych próbach, przyjmując zmienne dobowe postępy ściany i założenie, że wpływy ujawniają się prawie natychmiast oraz kryterium maksymalnej prędkości narastania obniżen nieprzekraczającej 7,5 mm/dobę, która odpowiadała dobowemu przyrostowi obniżen dla kategorii II terenów górniczych (Knothe i in., 1997). Obliczona maksymalna prędkość dobowych obniżen ściany 6 wynosiła 7,17 mm/dobę (rys. 4.4.21).



Rys. 4.4.21. Dobowe przyrosty obniżen, wyznaczone przy założeniu natychmiastowego ujawniania się wpływów, bez uwzględnienia obrzeża eksploatacyjnego (Kowalski i Gruchlik, 2018)

Z uwagi na zagrożenie pożarowe i tąpniętami ograniczenie prędkości frontu ściany 6 nie było korzystne. Z tego powodu zalecano, aby ściana 6 „goniła” front ściany 5, który na końcowym wybiegu znajdzie się w dnie niecki bytomskiej.

Dlatego poszukiwano granicy (daty lub odległości od kościoła), od której można będzie zwiększyć prędkość ściany do 3,0 m/dobę. W tym celu prowadzono pomiary geodezyjne prędkości narastania obniżeń budynku kościoła.

4.4.5.3. Wyniki pomiarów obniżeń w funkcji czasu i ich analiza

Oprócz planowych pomiarów deformacji powierzchni w obrębie dzielnicy Miechowice od kwietnia 2017 roku kościół pw. Św. Krzyża był dodatkowo monitorowany. Początkowo prowadzono codzienne obserwacje – niwelację techniczną, a potem niwelację precyzyjną w odstępach 3–4 dni, zmiany wysokości reperów na budynku kościoła (rys. 4.4.20b), a także cotygodniowe obserwacje budowlane.

Wyniki pomiarów obniżeń punktów przedstawiono na rysunku 4.4.22, a na rysunku 4.4.23 prędkości ich narastania i średnią wartość. W dniu 25.07.2017 r., gdy front ściany 6 znajdował się pod środkiem kościoła, obniżenia spowodowane eksploatacją ścianami 5 i 6 wynosiły od 0,455 do 0,672 m, co stanowiło średnio 33% obniżeń końcowych (1,55 m), a prędkość narastania obniżeń wynosiła średnio 4 mm/dobę.

Na koniec lutego 2018 roku pomierzone sumaryczne obniżenie budynku kościoła wynosiło od 1,062 do 1,636 m (rys. 4.4.22), co stanowiło średnio około 90% prognozowanych obniżeń końcowych 1,400–1,680 m. Z wykresów prędkości obniżeń punktów przedstawionych na rysunku 4.4.23 wynika, że maksymalna prędkość obniżeń wahała się od 7,5 do 13,0 mm/dobę, średnio 10,5 mm/dobę. Maksymalne wartości prędkości wystąpiły w 58. dniu, kiedy front ściany był za środkiem budynku kościoła, co odpowiadało odległości 116 m (0,17H). Po tej dacie zwiększono prędkość frontu ściany 6.

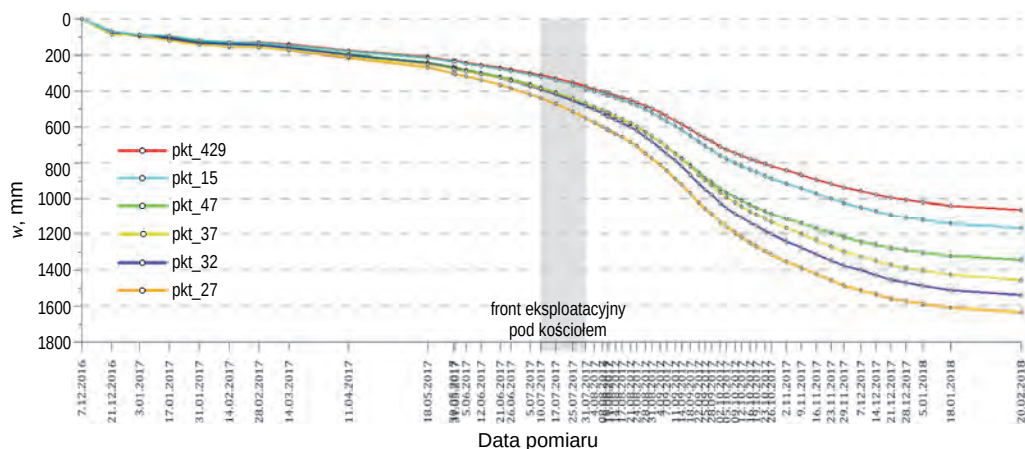
Na rysunku 4.4.23 poziome linie przerywane w kolorze zielonym odpowiadają prognozowanej maksymalnej prędkości obniżeń (7,5 mm/dobę), w kolorze pomarańczowym – tolerowanej prędkości obniżeń, tj. 12 mm/dobę, a w kolorze czerwonym – niebezpiecznej prędkości obniżeń, tj. 15 mm/dobę, odpowiadającej granicznej wartości kategorii III terenu górniczego. Maksymalna prędkość obniżeń w stosunku do wartości prognozowanej była większa o 30%, była jednak w granicach prędkości tolerowanej przez autorów ekspertyzy. Wyznaczony współczynnik proporcjonalności – wzór (4.4.2) – między maksymalną prędkością obniżeń, a prędkością frontu ścianowego, wynosił $k = 5,0$ mm/m, co odpowiadało w przybliżeniu maksymalnemu nachyleniu niepełnej niecki obniżeniowej, wynoszącemu 4,6 mm/m

$$\frac{dw}{dt} = kv \quad (4.4.2)$$

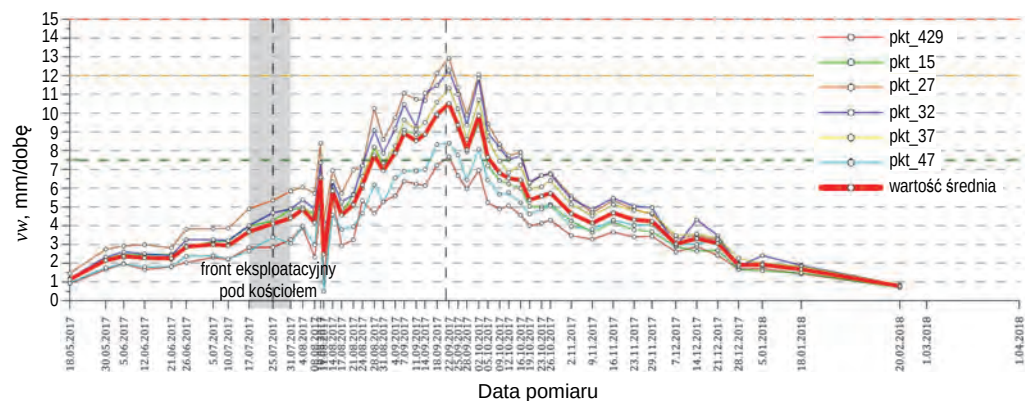
gdzie:

k – współczynnik proporcjonalności odpowiadający maksymalnemu nieustalonemu obniżeniu,

v – prędkość postępu frontu ścianowego.



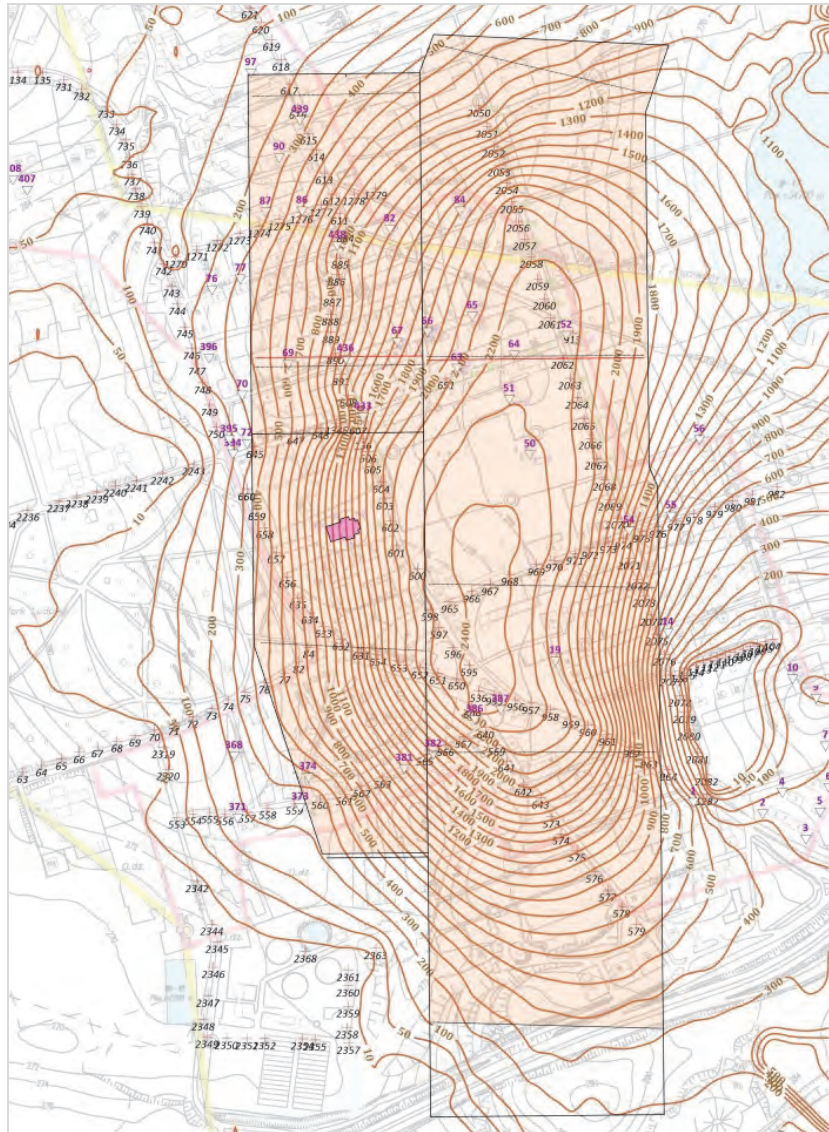
Rys. 4.4.22. Obniżenia punktów na kościele w zależności od czasu



Rys. 4.4.23. Prędkość narastania obniżenia punktów na kościele w zależności od czasu, określona niwelacją precyzyjną

4.4.5.4. Pomiary deformacji w dzielnicy Miechowice

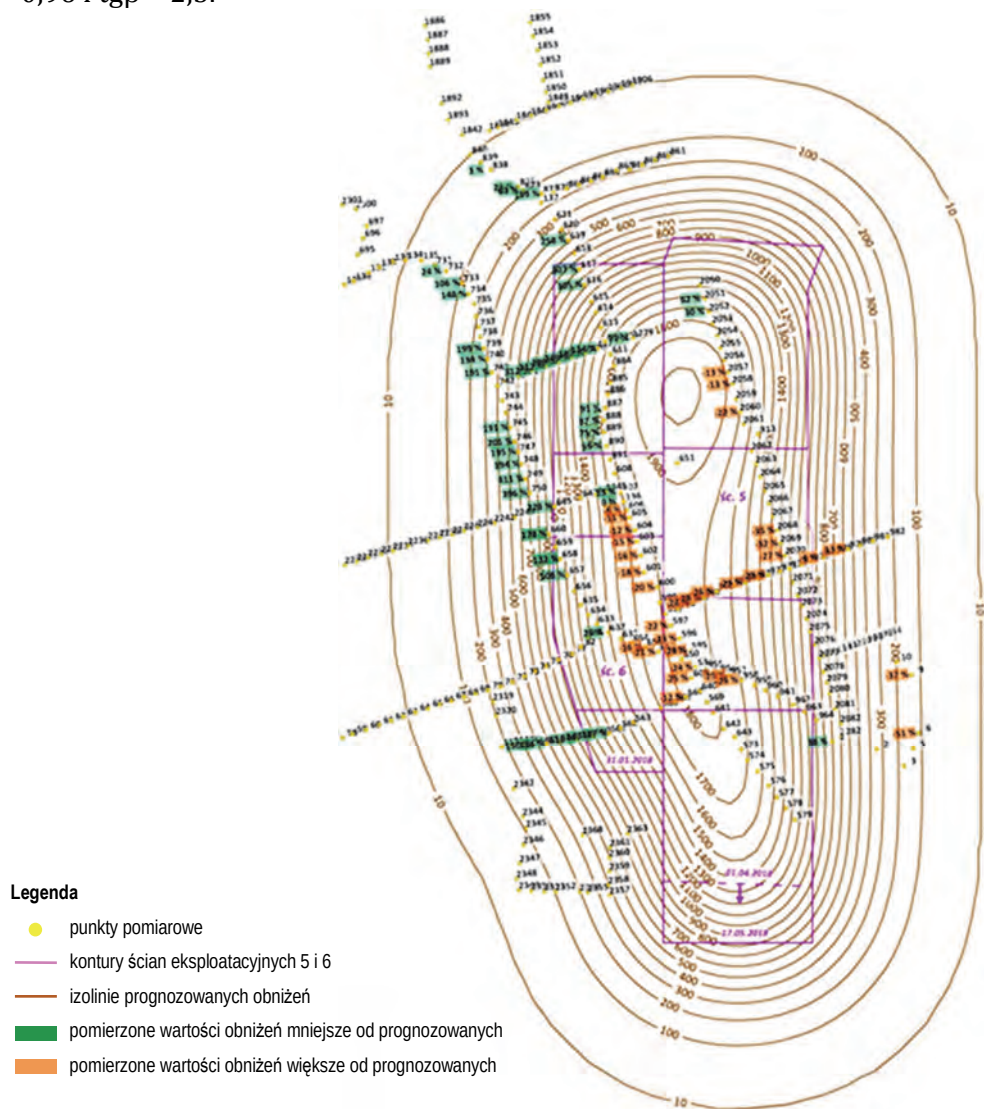
W dzielnicy Miechowice sieć pomiarowa składała się z linii założonych wzdłuż ulic i punktów rozproszonych – reperów na budynkach (rys. 4.4.24). W filarze ochronnym dzielnicy założono 16 linii, w skład których wchodziło 400 punktów rozmieszczonych w odległościach 24–30 m. Punktów rozproszonych – reperów było około 300. Należy jednak zaznaczyć, że około 50% punk-



Rys. 4.4.24. Izolinie obniżen spowodowanych eksploatacją pokładu 503 prowadzoną od kwietnia 2016 roku do kwietnia 2018 roku

tów zostało zniszczonych. Pierwsze pomiary wykonano w czerwcu 1965 roku. Pomiary były wykonywane dwa razy w roku – wiosną (w kwietniu) i jesienią (w październiku). Były to pomiary niwelacyjne, na podstawie których określano obniżenia powierzchni i pomiary długości na liniach, na podstawie których określano odkształcenia poziome (wydłużenia lub skrócenia) wzdłuż linii pomiarowych. Pomiary niwelacyjne były nawiązywane do punktów, które są kontrolowane nawiązaniem do punktu stałego w Suchej Górze, odległego od

Miechowic o około 14 km. Błąd określenia wysokości punktów na terenie dzielnicy wynosił $\pm 15,4$ mm, a błąd określenia obniżenia $\pm 21,8$ mm. Błąd określenia długości odcinków linii pomiarowej wynosił $\pm 3,0$ mm, a błąd średni odkształcenia poziomego $\pm 0,15$ mm/m. Największe pomierzone obniżenia wynosiły 2,4 m. Na rysunku 4.4.24 przedstawiono obniżenia pomierzone, a na rysunku 4.4.25 porównanie wartości pomierzonych na liniach pomiarowych z prognozowanymi. W tabeli 4.4.2 zestawiono ekstremalne wskaźniki pomierzone i prognozowane. Do prognozy przyjęto wartości parametrów $\alpha = 0,96$ i $\text{tg}\beta = 2,3$.



Rys. 4.4.25. Porównanie obniżeń prognozowanych i pomierzonych w dzielnicy Miechowie

Tabela 4.4.2. Porównanie ekstremalnych wskaźników deformacji prognozowanych i pomierzonych w dzielnicy Miechowice, spowodowanych eksploatacją pokładu 503, prowadzoną ścianami 5 i 6

Wskaźnik deformacji	Prognoza	Pomiar	Różnica
Największe obniżenie, m	2,0	2,5	-0,5
Nachylenie niecki, mm/m	7,0	7,3-9,7	-0,3-(-2,7)
Nachylenie w rejonie kościoła, mm/m	6,5	11,7	-5,8
Odształcenie poziome, mm/m	+4,0-(-5,5)	+1,6-(-3,9)	+2,4-(-1,2)
Prędkość obniżeń, mm/dobę	7,0	7,5-13,0	-0,5-(-6,0)

Oprócz analizy deformacji prognozowanych i pomierzonych wyznaczono także *a posteriori* parametry teorii Knothego-Budryka dla sześciu wytypowanych grup punktów pomiarowych, które przedstawiono w tabeli 4.4.3 i graficznie dla linii nr 1 i linii wzdłuż ul. Frenzla na rysunkach 4.4.26 i 4.4.27.

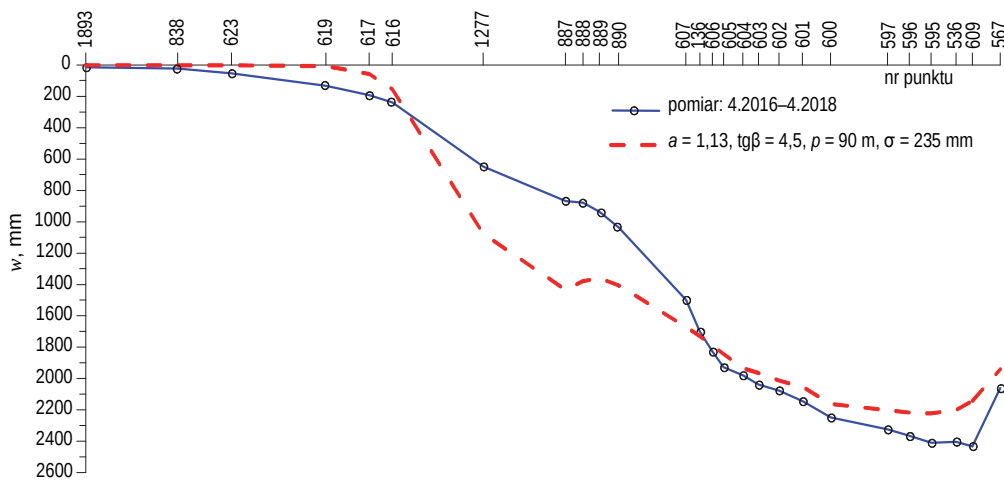
Tabela 4.4.3. Wyznaczone parametry teorii z pomiarów obniżeń spowodowanych eksploatacją pokładu 503 ścianami 5 i 6

Linia pomiarowa/ nr punktu	Parametr			
	współczynnik eksploatacyjny <i>a</i>	parametr górotworu tgβ	obrzeże eksploatacyjne <i>m</i>	odchylenie standardowe dopasowania mm
Linia nr 1/1893-567	1,13	4,5	90	235
Linia nr 2/632-979	1,14	2,7	50	257
Linia nr 3/632-979	1,14	2,7	50	257
Linia nr 4/1279-979	1,06	3,0	80	278
	1,08	2,9	90	281
Linia ul. Warszawska/ 2051-20170	1,0	3,1	90	91
Linia ul. Frenzla/ 732-958	1,20	3,0	80	85
	1,25	3,3	90	86
Średnia	1,13	3,15	~80	-

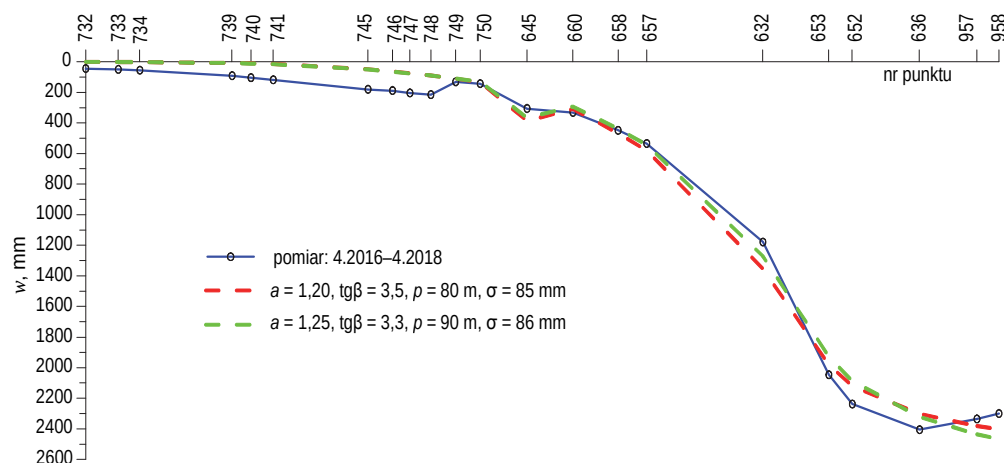
Z tabeli 4.4.3 wynika, że wyznaczone wartości parametrów teorii są większe od przyjętych do prognozy, współczynnik *a* o 18%, a parametr górotworu o 40%. Są to duże różnice, w szczególności różnica wartości parametru górotworu, który ma wpływ na nachylenie niecki obniżeniowej.

Z pomiarów obniżeń *a* czasie i danych przedstawionych w tabelach 4.4.2 i 4.4.3 wynika, że:

- Szacunkowo około 80% obniżeń ujawniło się prawie natychmiast po dokonaniu eksploatacji, pozostałe wpływy – obniżenia ujawniły się w czasie około jednego roku, półroczne przyrosty obniżeń były znaczne, dochodziły do 1670 mm, co przy założeniu równomiernego przyrostu powodowało, że dobowe przyrosty były rzędu 9,3 mm, a chwilowa prędkość mogła wynosić 13,0 mm/dobę.



Rys. 4.4.26. Wyniki dopasowania parametrów teorii dla ścian 5 i 6 wzdłuż wytyczonej linii nr 1



Rys. 4.4.27. Wyniki dopasowania parametrów teorii dla ścian 5 i 6 wzdłuż wytyczonej linii ul. Frenzla

- W dniu niecki największe obniżenia były większe od prognozowanych do 0,5 m, co stanowiło 25%.
- Wyznaczone największe nachylenie niecki obniżeń wynosiło od 7,3 mm/m (na północy) do 9,7 mm/m (na południu).
- Uwzględniając wartości ekstremalne obniżeń i grubość eksploatowanej warstwy pokładu, współczynnik eksploatacyjny (iloraz największego obniżenia grubości eksploatowanego pokładu $g = 2,3$ m) wynosił $a = 1,09$ i był większy od średniej wartości dla eksploatacji wielokrotnej w GZW $a = 0,85$. Wynikało to głównie z zaszłości eksploatacyjnych, zwłaszcza wpływów

eksploatowanego w latach 2013–2015 pokładu 510 w warstwie dolnej; do prognozy przyjęto $a = 0,96$. Przekroczenie prognozowanych obniżień wystąpiło w dniu niecki (punkty w kolorze czerwonym – rys. 4.4.25), co potwierdzało większą wartość wyznaczonego *a posteriori* współczynnika eksploatacyjnego $a = 1,13$.

- Drugi parametr teorii Knothego-Budryka, tzw. parametr górotworu $\text{tg}\beta = 3,15$, był również większy od średniej wartości dla GZW, która wynosiła $\text{tg}\beta = 2,0$; był większy również od wartości przyjętej do prognozy $\text{tg}\beta = 2,3$.
- Zaleca się uwzględnianie w prognozie parametru, tzw. obrzeża eksploatacyjnego; zarówno jego brak w prognozie, jak i jego mniejsza wartość, spowodowały zaniżenie prognozowanych nachyleń kościoła i ich lokalizację względem krawędzi eksploatacyjnej.
- Przyjmując, że prognozowane odkształcenia poziome rzędu $\pm 4,2$ mm/m były zbliżone do oszacowanych (dla niecki pełnej $w = 2,5$ m), współczynnik parametru przemieszczeń i odkształceń poziomych powinien być rzędu 0,24, czyli mniejszy od przyjętego do prognozy 0,32. Jak wynika z pomiarów, prognozowane odkształcenia poziome były zawyżone o około 25%.
- Należy zauważyć, że obok wysokich wartości parametru $\text{tg}\beta = 3,15$ występowały (podobnie jak w innych rejonach, gdzie prowadzona była eksploatacja wielokrotna doprowadzona w pionie do wspólnej krawędzi) wpływy dalekie, które można opisać z zastosowaniem superpozycji niecek Knothego, zgodnie z propozycją Białka (1993, 1996) oraz Białka i Pomykoła (2004).

Najistotniejsze, obok prognozy deformacji, było rygorystyczne przestrzeganie ograniczenia prędkości eksploatacji frontu ścianowego i quasi-ciągłość eksploatacji, co powodowało, że narastanie deformacji było regularne, choć nie uniknięto fluktuacji wokół średnich wartości. Wyznaczony *a posteriori* wzór na prędkość obniżień potwierdził związek między prędkością narastania obniżień, a prędkością frontu ścianowego i współczynnikiem k_T , którego wartość odpowiadała maksymalnemu nachyleniu niecki nieustalonej.

4.5. Eksploatacja częściowa

4.5.1. Doświadczenia historyczne

W Polsce eksploatacja częściowa ma długą historię. Pierwszą taką eksploatację prowadzono pod Mysłowicami w pokładzie 510 ubierkami z podsadzką hydrauliczną (1920–1935), potem w latach 1930–1936 pod hutą Katarzyna

w Sosnowcu. Natomiast kopalnia Matyllda w latach 1936–1937 eksploatowała pokład pod hutą Silesia pasami z zawalem stropu. Szerokość wybranych pasów i pozostawionych filarów dobierano tak, aby pozostawione filary podtrzymywały warstwy stropowe i nie ulegały rozgnieceniu (Knothe, 1958).

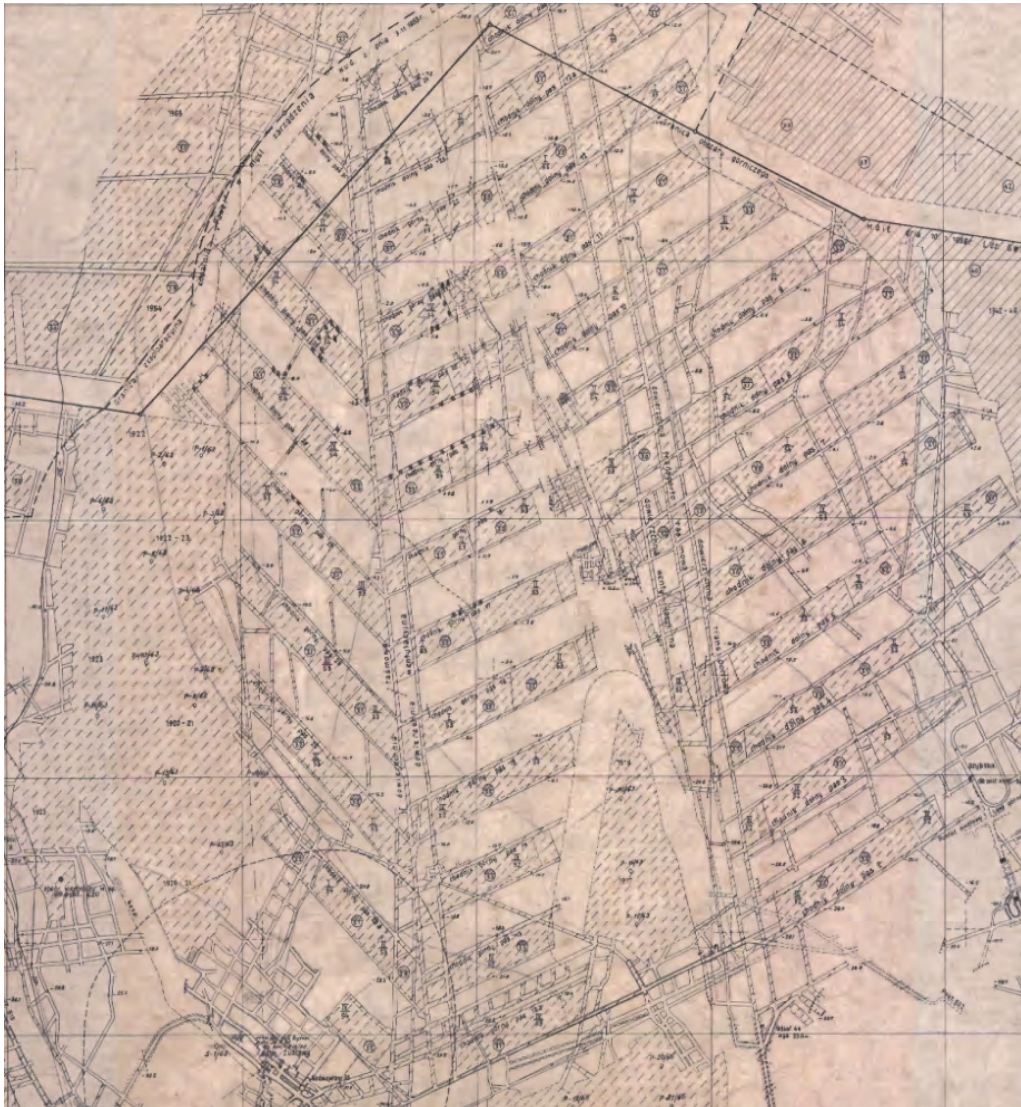
W kopalni Bobrek w latach 1927–1930 chodnikami eksploatowano pokład 501 o grubości 2,0 m na głębokości 90 m pod terenem zabudowanym znajdującym się przy ul. Jana III Sobieskiego w Rudzkiej Kuźnicy (dzisiaj dzielnica Rudy Śląskiej) (rys. 4.5.1). Ocena tej eksploatacji nie była pozytywna, zniszczono bowiem partię pokładu, tracąc ponad 80% zasobów (Knothe, 1958).



Rys. 4.5.1. Mapa pokładu 501 w kopalni Bobrek z eksploatacją chodnikami (Knothe, 1958)

Prowadzona później eksploatacja częściowa została udokumentowana pomiarami deformacji powierzchni. Była to eksploatacja:

- dwóch warstw pokładu 510 pod Hutą Pokój – kopalnia Pokój (rys. 4.5.2),



Rys. 4.5.2. Mapa pokładu 510 z eksploatacją pasami pod Hutą Pokój

- pod Hutą im. Feliksa Dzierżyńskiego w latach 1958–1962 – kopalnia Generał Zawadzki (Trojanowski, Wajdeczko i Pytlarz, 1965),
- pokładu 510 pod Hutą im. M. Buczka w latach 1956–1968 – kopalnia Sosnowiec,
- pod Zakładami Azotowymi i zabudową Świętochłowic – kopalnia Polska.

Eksploatację prowadzono z podsadzką hydrauliczną z piasku, bez udziału kamienia. Podstawowe dane geologiczne i górnicze oraz wartości wyznaczonych współczynników eksploatacyjnych przedstawiono w tabeli 4.5.1.

Tabela 4.5.1. Dane geologiczne i górnicze oraz wyznaczony współczynnik eksploatacyjny

Kopalnia/ rejon eksploatacji	Dane geologiczne i górnicze					Współczynnik eksploatacyjny
	pokład/ warstwy	głębokość m	grubość m	szerokość pasów/filarów m	lata eksploatacji	
Bobrek/ Huta Bobrek	509/510/I II III IV	430	3,3 3,4 2,7 2,8	30/30 30/30 30/30 30/30	1960–1967 1962–1969 1964–1970 1966–1970	brak danych
Pokój/ Huta Pokój	510/I i II	320	5,85	30/30	1952–1956	0,014
Generał Zawadzki/ Huta im. Feliksa Dzierżyńskiego	510	110–160	3,3	30/20	1958–1962	0,023
Sosnowiec/ Huta im. M. Buczka	510/ I, II, III	210–270	8,0	30/30	1956–1958	0,018
Polska/ Zakłady Azotowe	502/I i II 504 510/I i II	170–200 180–210 240–270	6,4 2,5 6,0	60/40 60/40 60/40	1977–1982 1981–1983 1969–1974	brak danych
Polska/ Świętochłowice	510	100–150	3,2–4,2	60/40	1983–1985	0,026

Z tabeli 4.5.1 wynika, że przy stosowaniu eksploatacji częściowej pasami z podsadzką hydrauliczną, możliwe było uzyskanie bardzo małego współczynnika eksploatacyjnego – od 0,014 do 0,026. Deformacje powierzchni nie zaburzały funkcjonowania (prowadzonej produkcji) hut i innych zakładów przemysłowych oraz nie stanowiły zagrożenia dla zabudowy, a wykorzystanie złoża wynosiło 50–60%. W komentarzu do warunków geologicznych w rejonie eksploatowanych pokładów górotwór nie był naruszony wyrobiskami górniczymi, a nachylenie pokładów (około 10°) umożliwiało szczelne podsadzanie.

Uzyskane współczynniki eksploatacyjne i pełna ochrona obiektów na powierzchni upoważniały do pozytywnej oceny eksploatacji częściowej pasami z podsadzką hydrauliczną, choć – według drugiego poglądu – podczas eksploatacji częściowej obniżenia mogą być w 100% analogiczne jak podczas eksploatacji z podsadzką. Wówczas nie wykluczano tej ewentualności, zakładając niekorzystne warunki geologiczne i górnicze, słaby strop pokładu i pokład osłabiony przez wcześniej wykonane chodniki i naruszony prowadzonymi dawniej robotami górniczymi (Knothe, 1958).

4.5.2. Współczesna eksploatacja częściowa

4.5.2.1. Zakład Górniczy Siltech

Współcześnie w Zakładzie Górniczym Siltech (od 2004 r.) prowadzi się eksploatację pokładów węgla kamiennego chodnikami, pozostawiając między nimi ochronne filary węglowe o różnej szerokości. Jest to eksploatacja resztek złoża węgla kamiennego w reaktywowanych kopalniach, „uwięzionych” w filarach ochronnych szybów górniczych lub innych obiektów na powierzchni.

Eksploatacja złoża systemem chodnikowym polega na drążeniu równoległych do siebie wyrobisk korytarzowych o przekroju łukowym, między którymi pozostawia się filary węglowe. Każdy z chodników po zakończeniu drążenia wypełnia się podsadzką hydrauliczną utworzoną z pyłów dymnicowych (odpady z elektrowni), co stanowi także istotny element profilaktyki pożarowej (fot. 4.5.1).

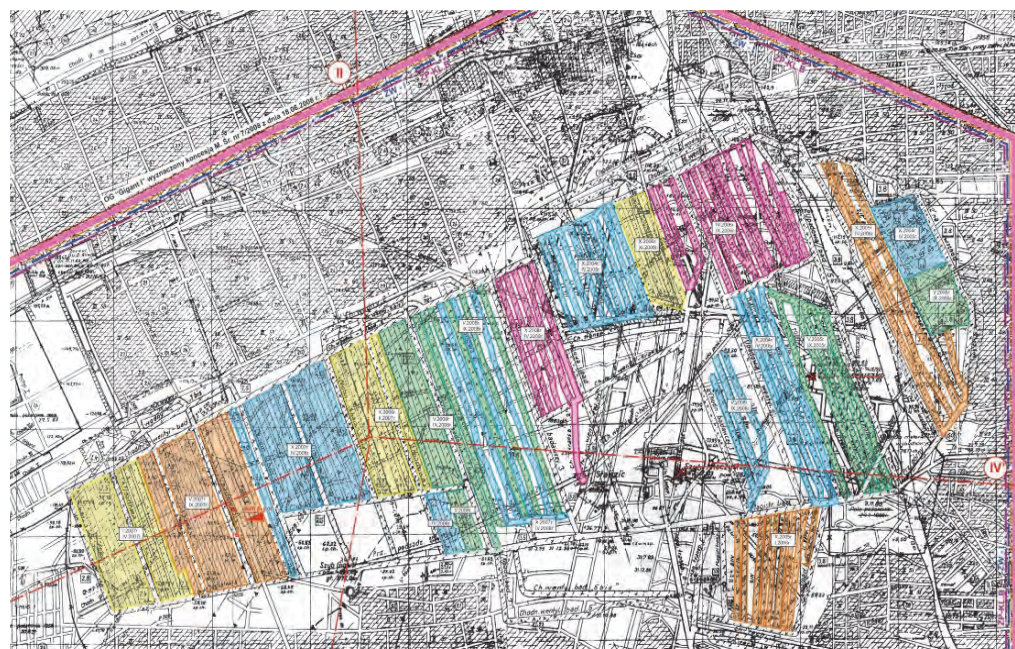


Fot. 4.5.1. Zlikwidowany chodnik eksploatacyjny wypełniony podsadzką z odpadów elektrownianych

Pole Rokitnica

Pierwsze doświadczenia z eksploatacji chodnikowej w ZG Siltech uzyskano w polu Rokitnica, gdzie wyeksploatowano kolejno pięć pokładów – 509, 507, 510, 504 i 503. Wielkość wybranej powierzchni poszczególnych pokładów była zróżnicowana, eksploatowano resztki pokładów pozostawione w filarze ochronnym ruchu Rokitnica zlikwidowanej kopalni Pstrowski. Największy zakres eksploatacji był w pokładzie 509 (rys. 4.5.3). Szerokość wyrobisk chodni-

kowych wynosiła 5,6 m, a wysokość do 3,8 m. Filary węglowe pozostawione między chodnikami miały szerokość 4,0 m, co pozwoliło na uzyskanie współczynnika wykorzystania złoża rzędu 60%. Wyrobiska eksploatacyjne zabezpieczono obudową łukową podatną; potem likwidowano je, stosując podsadzkę.



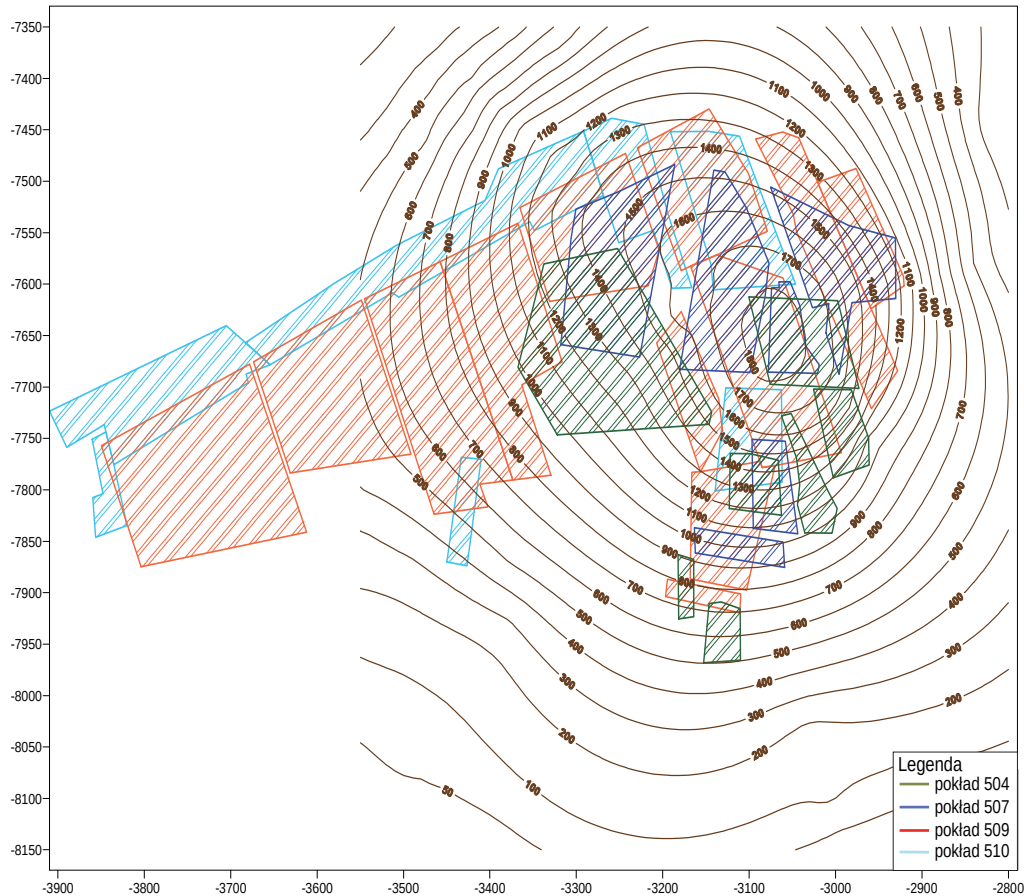
Rys. 4.5.3. Zakres eksploatacji prowadzonej chodnikami w pokładzie 509 w polu Rokitnica

W tabeli 4.5.2 zestawiono wartości ekstremalne wskaźników deformacji dla poszczególnych etapów eksploatacji górniczej i wyznaczone parametry teorii Knothego-Budryka, którymi są: współczynnik eksploatacyjny a i parametr górotworu $\text{tg}\beta$.

Tabela 4.5.2. Pomierzone wartości ekstremalne wskaźników deformacji i wyznaczone parametry teorii Knothego-Budryka dla pola Rokitnica

Etap eksploatacji	Pomierzone wartości ekstremalne wskaźników deformacji		Wyznaczone parametry teorii		Eksploatowane pokłady
	obniżenia, m	odkształcenia poziome, mm/m	a	$\text{tg}\beta$	
1	0,67	+1,0 i -1,8	0,25–0,3	0,9–1,3	509
2	1,01	+1,6 i -2,2	0,25–0,4	1,0–1,3	509 i 507
3	1,83	+2,7 i -3,2	0,4	1,0	509, 507, 510 i 504

Na rysunku 4.5.4 przedstawiono zakres dokonanej eksploatacji, prowadzonej chodnikami czterech pokładów, a także izolinie sumarycznych obniżień powierzchni, które w dzień niecki wynosiły 1,8 m.



Rys. 4.5.4. Izolinie obniżen spowodowanych eksploatacją pokładów 504, 507, 509 i 510 (Kowalski, 2015)

Pole Biskupice

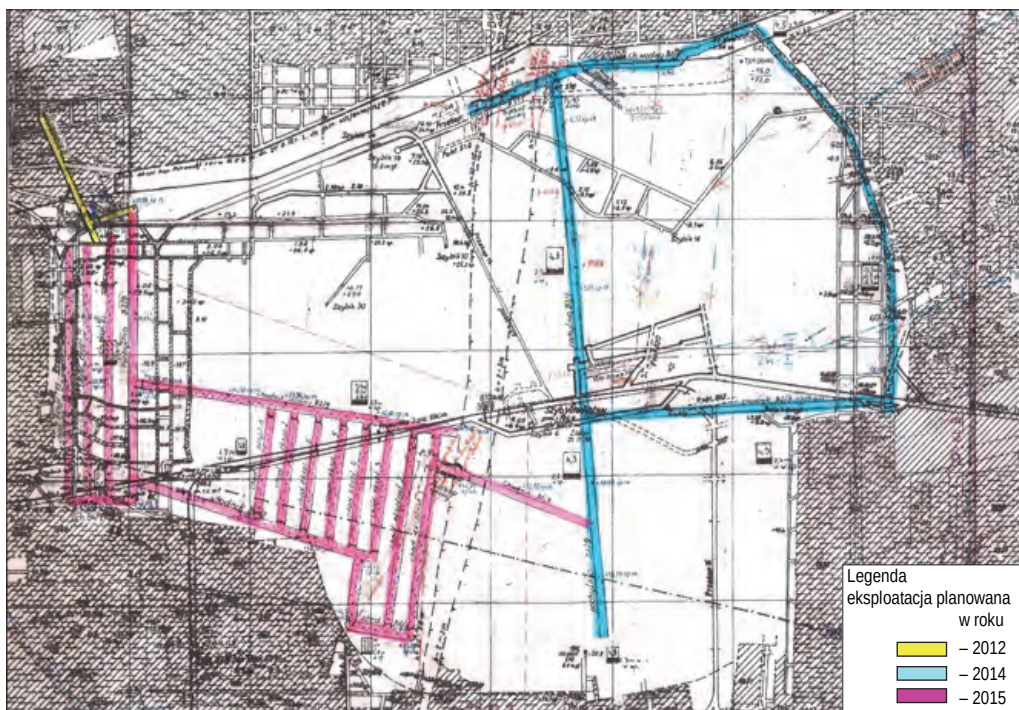
Drugim rejonem eksploatacji częściowej było pole Biskupice położone w odległości 1 km na południe od pola Rokitnica. Był to filar ochronny zlikwidowanego szybu Władysław dawnej kopalni Pstrowski, natomiast na powierzchni czynnej koksowni, która wymagała ochrony (fot. 4.5.1).

Eksploatację w roku 2015 prowadzono w pokładzie 509 w dwóch parcelach B1 i B2 (rys. 4.5.5), potem w latach 2015–2016 w pokładzie 510, w którym wyeksploatowano dwie parcele B1 i B2 oraz prowadzono chodniki technologiczne (rys. 4.5.6). W pokładzie 507 wykonano jedynie chodniki technologiczne (rys. 4.5.7).

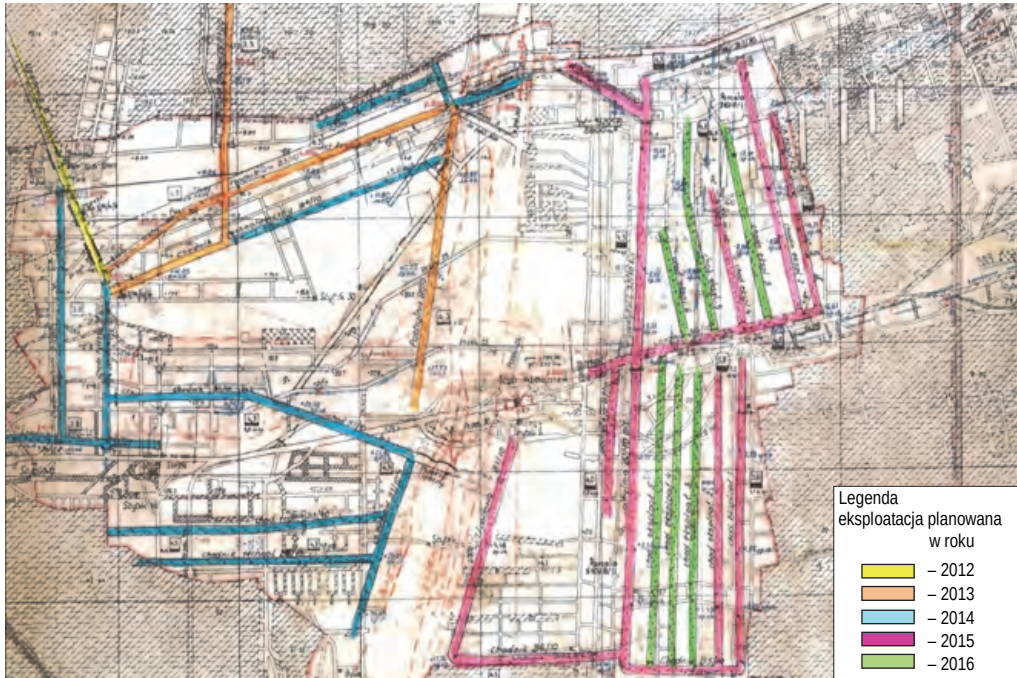
W pokładach 509 i 510 z uwagi na ochronę powierzchni szerokość filarów węglowych wynosiła do 14 m, średnio 12 m. Współczynnik wykorzystania złoża wahał się od 29% w pokładzie 509 do 33% w pokładzie 510.



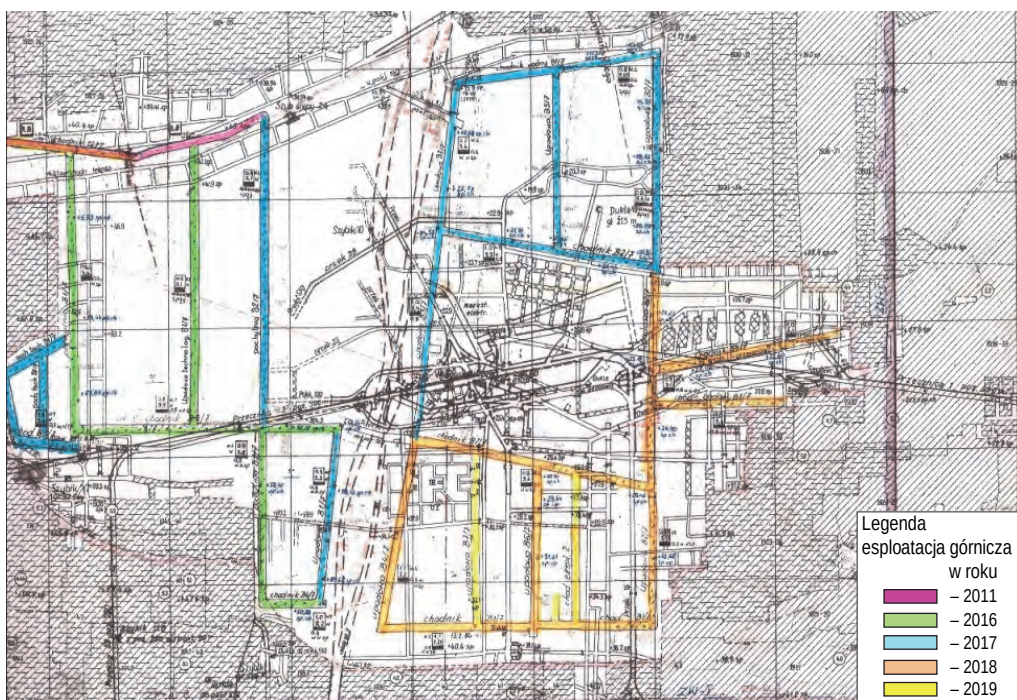
Fot. 4.5.1. Widok na koksonię i wysoki komin, pod którymi prowadzono eksploatację częściową



Rys. 4.5.5. Zakres eksploatacji prowadzonej chodnikami w pokładzie 509 w zachodniej części filara ochronnego

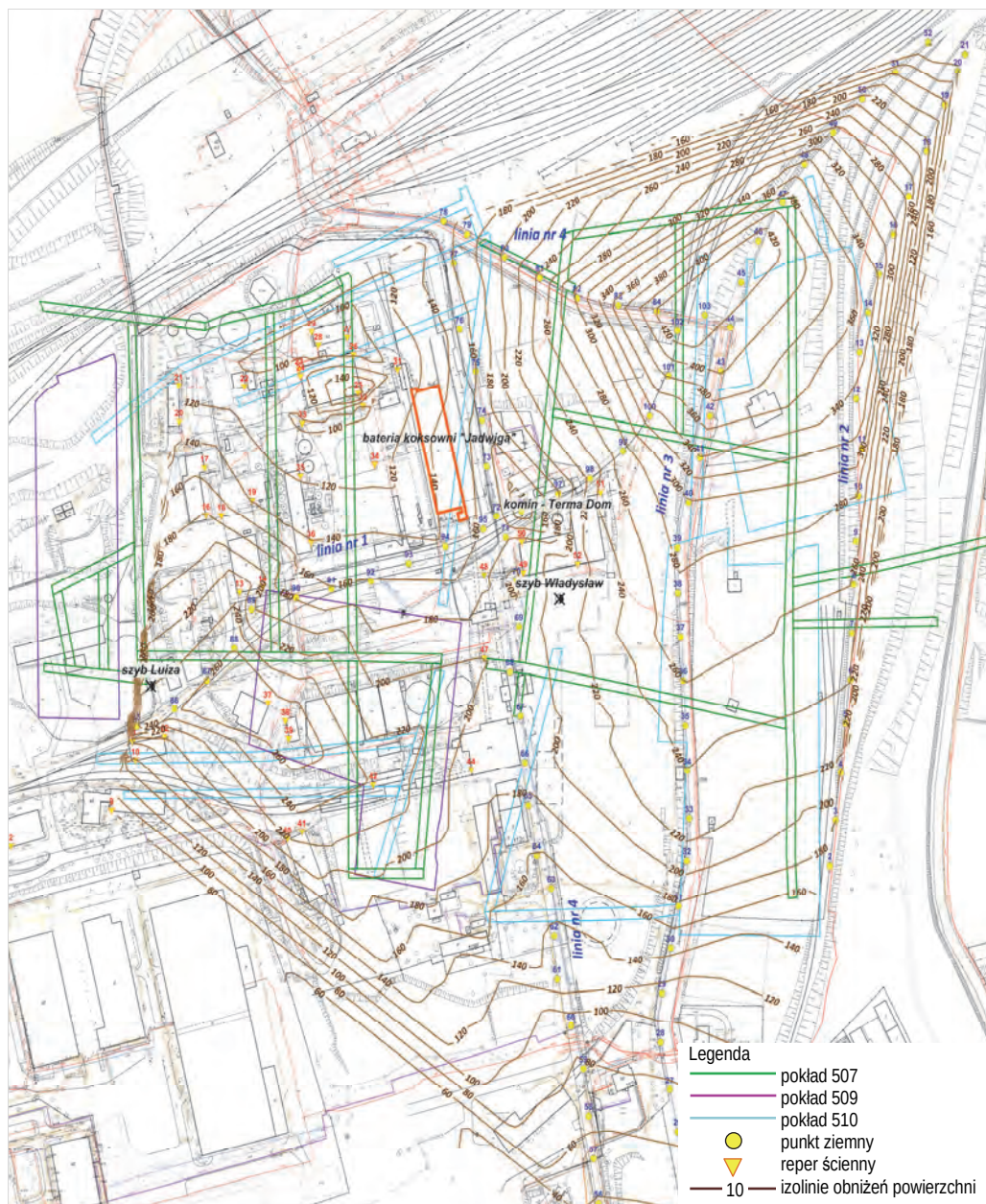


Rys. 4.5.6. Zakres eksploatacji prowadzonej chodnikami w pokładzie 510 we wschodniej części filara ochronnego



Rys. 4.5.7. Pokład 507, w którym znajdują się stare i obecne wyrobiska chodnikowe

Na rysunku 4.5.8 przedstawiono linie pomiarowe i izoliny obniżeń, natomiast w tabeli 4.5.3 pomierzone wartości ekstremalne wskaźników deformacji, obniżeń i odkształceń poziomych oraz wyznaczone wartości parametrów teorii Knothe-Budryka.



Rys. 4.5.8. Eksploatacja parcel i chodników w pokładach 507, 509 i 510 oraz izoliny obniżeń do maja 2018 roku

Tabela 4.5.3. Dane geologiczne i górnicze oraz wartości parametrów wyznaczone dla eksploatacji prowadzonej chodnikami w polu Biskupice

Zakład górnictwo/ pole	Eksploatowane pokłady węgla	Głębokość eksploatacji H , m	Nachylenie pokładów α , stopnie	Współczynnik eksploatacyjny a	Parametr górotworu $\text{tg}\beta$	Pomierzone największe obniżenia m
Siltech/ Biskupice	509	260	≤ 5	0,22 0,26 0,22	1,1 ² 1,0 1,0	0,25
	509 i 510	260–290		0,18 0,79* 0,23 0,23 0,17	1,0 0,3* 0,7 0,5 1,2	0,30–0,33
	507	260		0,05–0,25**	–	0,22**

* odrzucono z uwagi na odstające wartości, ** wyznaczono dla chodników technologicznych.

Z tabeli 4.5.3 wynika, że mimo pozostawienia filarów węglowych o szerokości do 14 m, na powierzchni wystąpiły obniżenia wynoszące 0,24–0,28 m i odkształcenia poziome w granicach wskaźników I kategorii terenu górniczego, a wyznaczone współczynniki eksploatacyjne wynosiły od 0,17 do 0,26.

Warunki geologiczne dla rejonu Rokitnica i Biskupice były porównywalne, co upoważniało do stwierdzenia, że dla filarów węglowych o szerokości 4,0 m (wykorzystanie złoża w 58%) i filarów o szerokości średnio 12,0 m (wykorzystanie złoża średnio 31%) wartości współczynnika eksploatacyjnego zmniejszały się z 0,4 do 0,21.

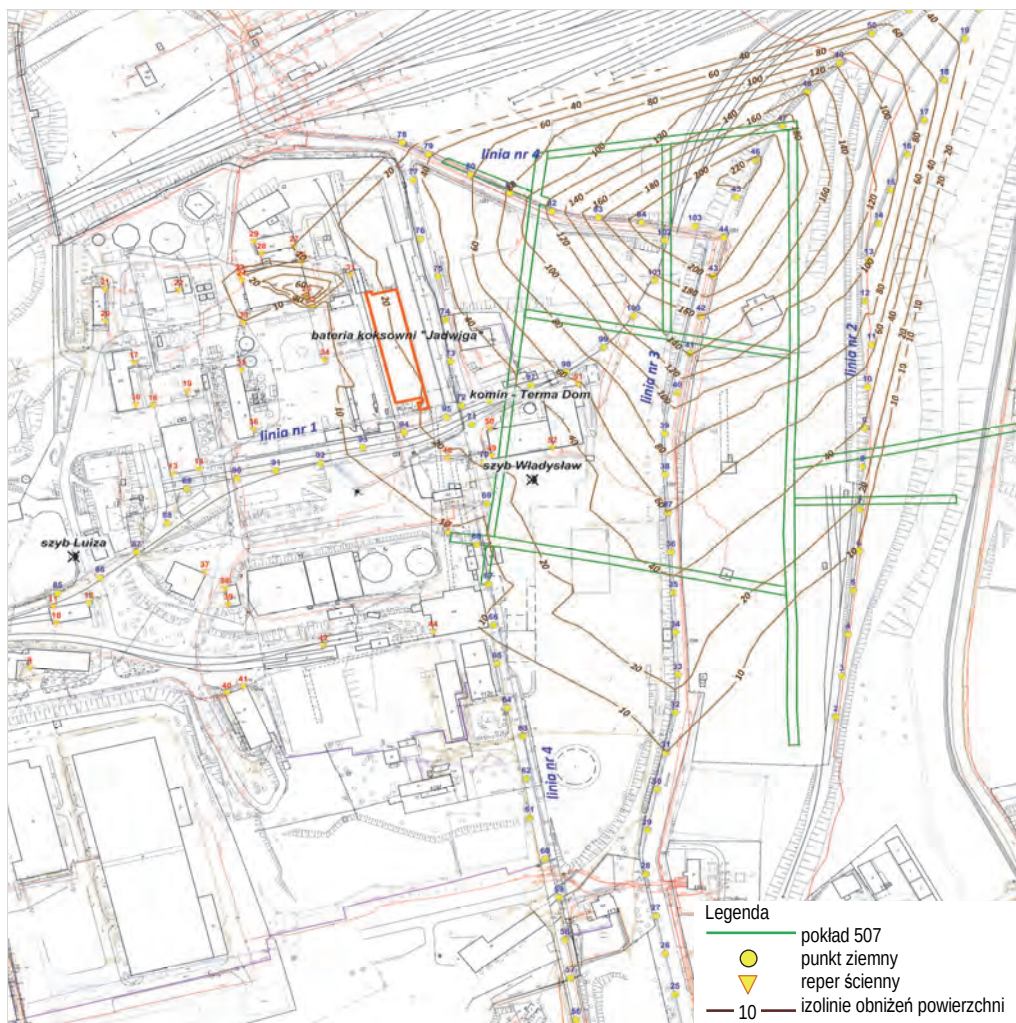
Na wartość parametrów teorii Knothego-Budryka miały wpływ zaszczości eksploatacyjne (w filarze i jego otoczeniu); powodowały one zwiększenie współczynnika eksploatacyjnego i zmniejszenie parametru górotworu do $\text{tg}\beta = 1,0$.

Na rysunku 4.5.9 przedstawiono wpływ na powierzchnię obniżeń spowodowanych eksploatacją prowadzoną pojedynczymi chodnikami w pokładzie 507. Wystąpienie obniżeń rzędu 0,22 m w części północno-wschodniej wskazywało, że w rejonie, gdzie była największa głębokość zalegania pokładu i gdzie spływała woda z podsadzonych wyrobisk, mogło dojść do większej niż w innych miejscach reaktywacji starych zrobów w całej wiązce pokładów grupy 500.

Przedstawiony przykład eksploatacji prowadzonej chodnikami nie jest typowy, jeśli uwzględnimy zmierzone wartości obniżeń powierzchni i wyznaczone wartości parametrów teorii Knothego-Budryka. Wartości współczynnika eksploatacyjnego były znacznie wyższe niż wartości dla wcześniej prowadzonej

² Wartości parametrów przyjęte do prognozy jako reprezentatywne dla pola Biskupice.

(historycznej) eksploatacji częściowej (Knothe, 1958), a parametr górotworu ($\text{tg}\beta = 1,0$) znacznie mniejszy od średniej wartości dla Górnośląskiego Zagłębia Węglowego ($\text{tg}\beta = 2,0$).



Rys. 4.5.9. Obniżenia spowodowane eksploatacją prowadzoną pojedynczymi chodnikami technologicznymi w okresie od maja 2017 roku do maja 2018 roku

Duże wartości współczynnika eksploatacyjnego wynikają ze zbyt wąskich filarów węglowych pozostawionych między chodnikami eksploatacyjnymi i z reaktywacji starych wyrobisk w filarze ochronnym. Znacznie mniejsza od średniej wartość parametru $\text{tg}\beta$ wskazuje, że rozległa niecka obniżeniowa jest również skutkiem dużego zruszenia górotworu w wyniku eksploatacji górniczej prowadzonej poza filarem ochronnym (Kowalski, Walentek i Polanin, 2019).

4.5.2.2. Zakład Górniczy EKO-PLUS

Zakład Górniczy EKO-PLUS od roku 2007 eksploatuje pokład 510; do końca roku 2018 wyeksploatowano znaczną jego część (rys. 4.5.10).

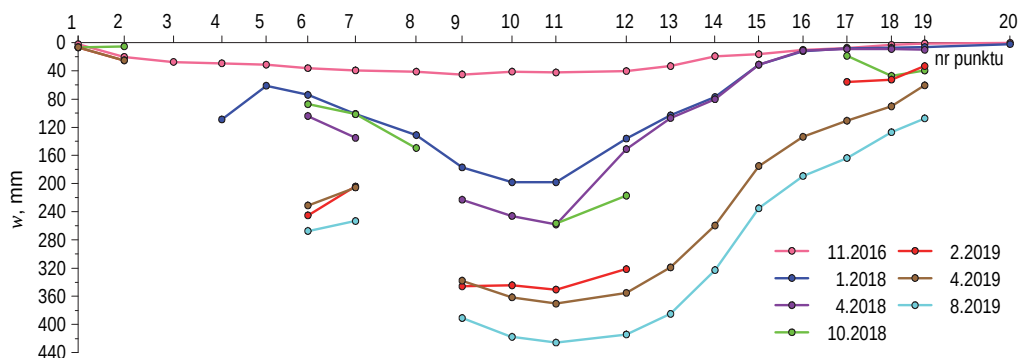


Rys. 4.5.10. Schemat eksploatacji górniczej systemem chodnikowym w pokładzie 510 i linii pomiarowe W-E wzdłuż autostrady A1 i N-S wzdłuż szlaku PKP

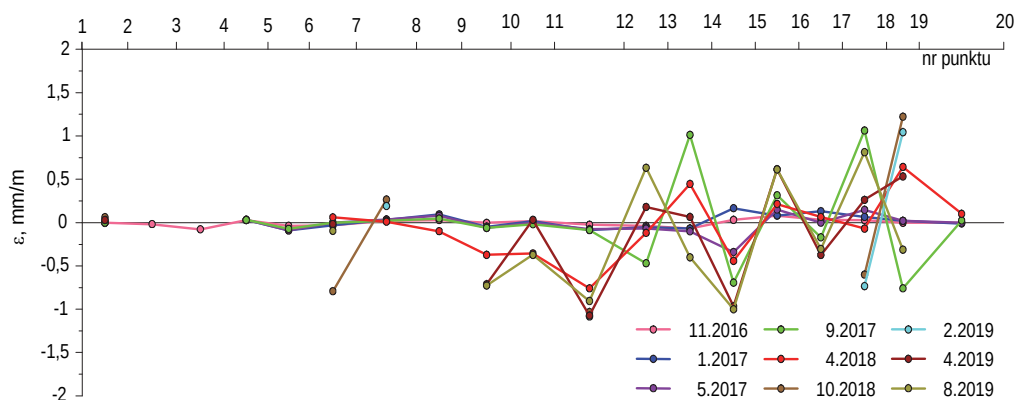
Chodniki w ZG EKO-PLUS mają szerokość 5,7 m i wysokość do 3,8 m, średnio 3,5 m, między nimi pozostawione są filary o szerokości 6,0 m w obrębie filarów ochronnych, a poza filarem ochronnym o szerokości 4 m. Po wyeksploatowaniu wyrobiska są likwidowane przez podsadzanie pyłami dymnicowymi. Głębokość eksploatacji wynosi od 630 m na południu do 410 m na północy.

W analizowanym rejonie górotwór nad karbonem stanowi nadkład zbudowany z warstw czwartorzędowych i triasu. Warstwy czwartorzędowe ukształtowane są z glin, piasków, żwirów oraz ilów zastoiskowych o łącznej grubości do 20 m. Warstwy triasu zbudowane są z dolomitów kruszczonośnych. Sumaryczna grubość nadkładu wynosi średnio 140 m. Nachylenie warstw karbońskich wynosi od 10 do 30° i jest skierowane w kierunku południowo-wschodnim. W stropie bezpośrednim pokładu 510 występują łupki piaszczyste i pokład 509 w odległości pionowej około 5 m.

Na rysunku 4.5.11 przedstawiono obniżenia powstałe od września 2016 roku do sierpnia 2019 roku. Odległości między punktami na linii nr 1 wynosiły 25 m. Rysunek 4.5.12 pokazuje odkształcenia poziome.



Rys. 4.5.11. Obniżenia powierzchni wzdłuż linii nr 1 powstałe od września 2016 roku do sierpnia 2019 roku



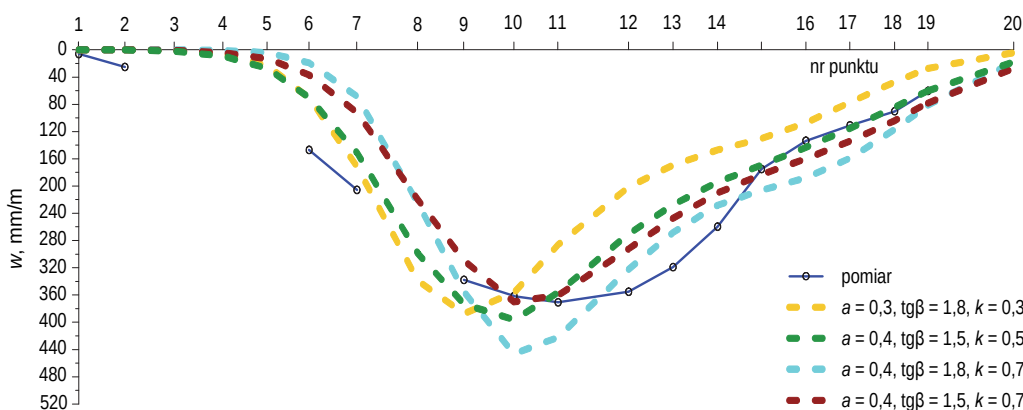
Rys. 4.5.12. Odkształcenia poziome powierzchni wzdłuż linii nr 1 powstałe od września 2016 roku do sierpnia 2019 roku

Parametry teorii wyznaczone przy użyciu programu obliczeniowego SZKODY ver. 5.0, który służy również do prognoz deformacji powierzchni, opracowanego przez E. Jędrzejca w Głównym Instytucie Górnictwa, wynoszą (rys. 4.5.13):

- współczynnik eksploatacyjny dla eksploatacji chodnikowej $a = 0,4$,
- parametr górotworu $\text{tg}\beta = 1,5$,
- współczynnik dewiacji z uwagi na nachylenie warstw karbonu $k = 0,7$.

W porównaniu do wyznaczonych w pierwszej fazie eksploatacji parametrów teorii (Kowalski, 2015) nastąpiła zmiana, pierwotnie parametry wynosiły $a = 0,12$ i $\text{tg}\beta = 1,9$ oraz $k = 0,4$, co świadczy o mniejszej niż przypuszczano

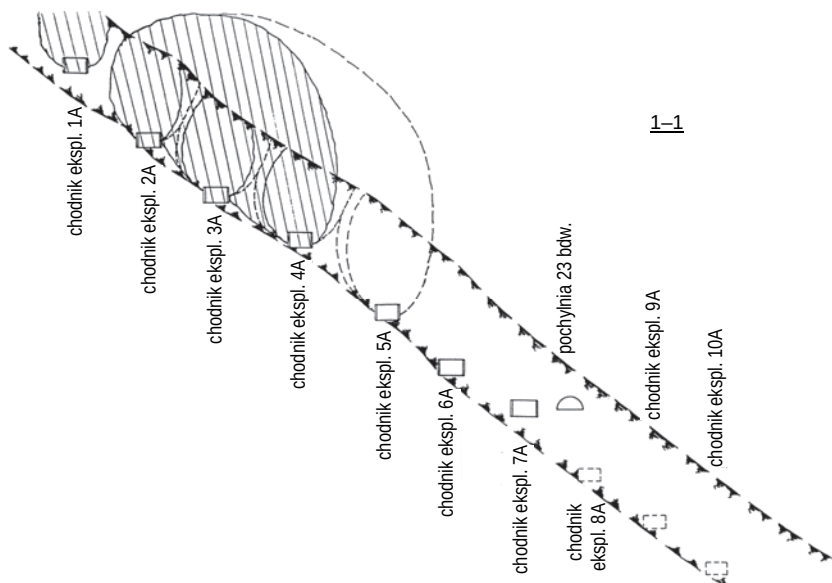
skuteczności zmniejszenia deformacji powierzchni przez filary węglowe o szerokości 4,0–6,0 m. Jest to kolejne doświadczenie dotyczące wpływu eksploatacji częściowej na deformacje powierzchni.



Rys. 4.5.13. Wyniki dopasowania parametrów teorii Knothego-Budryka na podstawie obniżen wzdłuż linii pomiarowej nr 1

4.5.2.3. Kopalnia Kazimierz-Juliusz

W końcowej fazie eksploatacji prowadzonej przez kopalnię Kazimierz-Juliusz, przed jej likwidacją, stosowano system podbierkowy z zawalaniem stropu z chodnika eksploatacyjnego, w grubym pokładzie 510, średnio i silnie nachylonym (rys. 4.5.14).



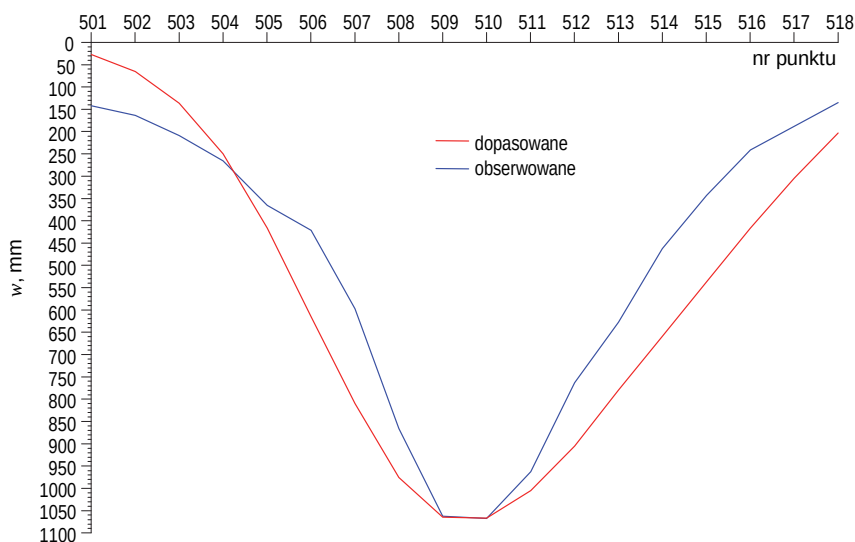
Rys. 4.5.14. Nachylenie i podział pokładu 510 na panele (Gajos, Urbaś i Lamot, 2005)

Grubość eksploatowanego pokładu wynosiła od 13 do 20 m, a nachylenie 40–45°. Głębokość eksploatacji na początku (2004 r.) wynosiła 300–460 m, a w końcowym etapie funkcjonowania kopalni (2014 r.) 130–180 m. Eksploatacja pokładu polegała na wybieraniu kolejnych paneli, poczynając od położonego najwyżej (rys. 4.5.14 i rys. 4.5.15).



Rys. 4.5.15. Schemat i kolejność eksploatacji chodnikami systemem podbierkowym (Gajos, Urbaś i Lamot, 2005)

Na powierzchni nad parcelami eksploatacyjnymi wykonywano obserwacje obniżień na dwóch liniach pomiarowych. Wykresy niecki obniżeniowej nad zachodnim polem (rys. 4.5.15) przedstawiono na rysunku 4.5.16.



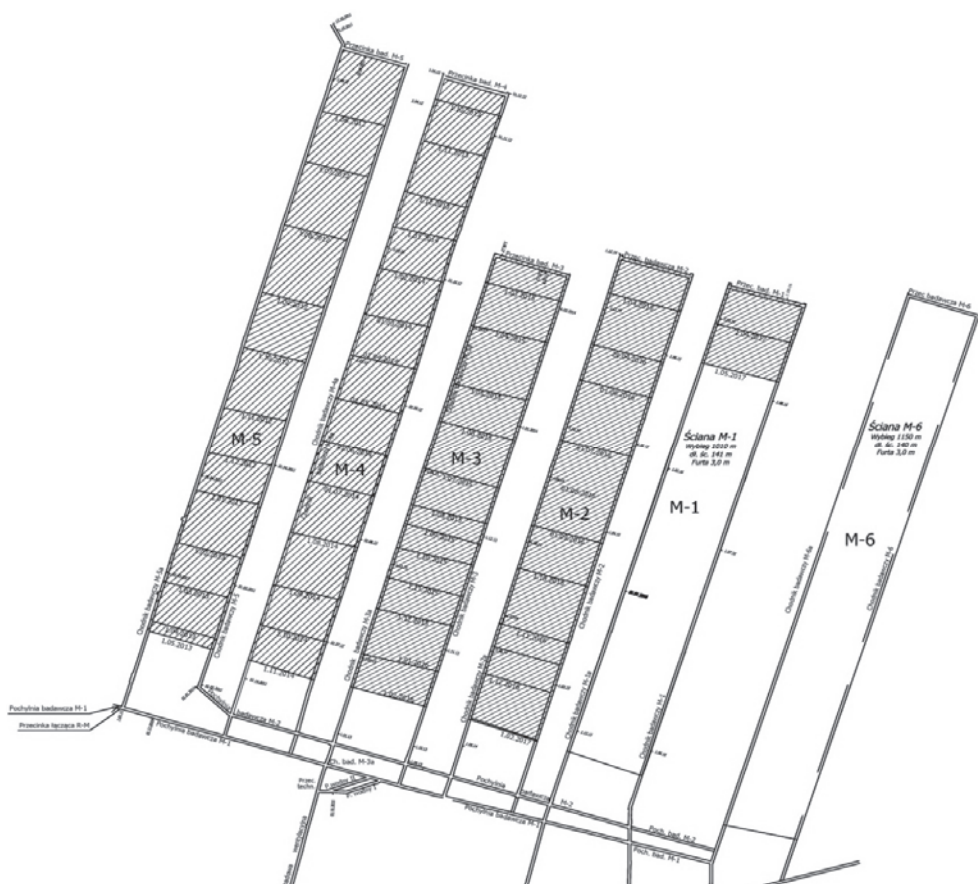
Rys. 4.5.16. Aproksymacja niecki obliczonej dla wyznaczonych parametrów do niecki pomierzonej

Wyznaczone parametry teorii wynosiły: współczynnik eksploatacyjny $a = 0,38$, parametr górotworu $\text{tg}\beta = 1,45$, współczynnik dewiacji wpływów $k = 0,45$.

Z uwagi na ochronę powierzchni system podbierkowy z zawalem stropu nie może być zalecany do stosowania pod terenami zabudowanymi z uwagi na możliwość wystąpienia strefy zawalu i powstania zapadlisk na powierzchni, co miało miejsce w roku 2014 nad chodnikami prowadzonymi na głębokości 130–150 m (Kowalski, 2015).

4.5.2.4. Kopalnia Marcel

W kopalni Marcel była prowadzona eksploatacja eksperymentalna pokładu 712/1-2 ścianami o długości 130–150 m, z pozostawieniem pasów węgla o szerokości 70 m (rys. 4.5.17). Grubość pokładu i wysokość ścian eksploatacyjnych



Rys. 4.5.17. Eksploatacja pokładu 712/1-2 ścianami z zawalem stropu z pozostawieniem pasów calizny

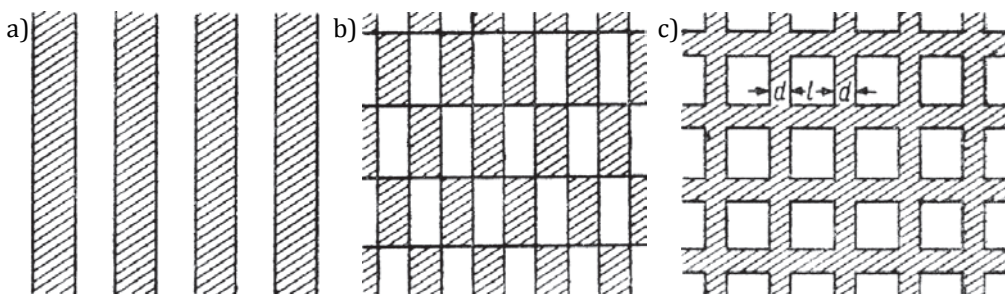
wynosiła 3,0 m, a głębokość eksploatacji od 1000 do 1080 m. Eksploatację rozpoczęto w roku 2012, zgodnie z projektem opracowanym przez Białka i innych (2005). Zakończono eksploatację czterech ścian.

Proces deformacji powierzchni nie jest ustabilizowany, niemniej w części nad dokonaną eksploatacją największe obniżenie wynosiło 1,06 m. Pomierzone odkształcenia poziome przyjmowały wartości zawierające się w granicach I i II kategorii terenu górniczego, jedynie na czterech odcinkach wynosiły od +3,6 do -4,3 mm/m. Na powierzchni nie obserwowano fluktuacji obniżień spowodowanych pozostawieniem filarów węglowych. Przyjmując sumarycznie powierzchnię eksploатовaną ścianami i pasów między nimi, współczynnik eksploatacyjny wyznaczony po ostatnim analizowanym pomiarze wynosił 0,35.

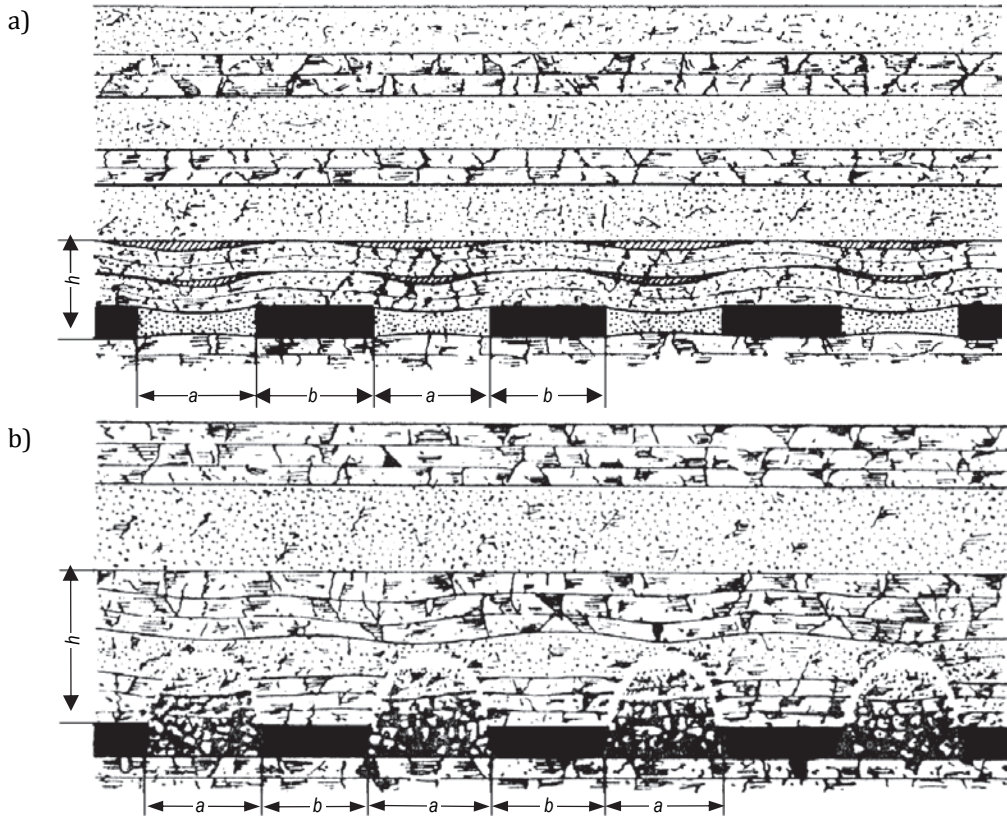
Analiza dotychczasowych i przewidywanych obniżień wskazuje, że eksploatacja krótkimi ścianami (130–150 m), z pozostawieniem pasów calizny o szerokości 70 m, pozwala na zmniejszenie deformacji o 40–50% w porównaniu z pełną eksploatacją z zawałem stropu (Białek i in., 2016).

4.5.2.5. Podsumowanie

W Polsce eksploatacja częściowa była stosowana na szeroką skalę już przed rokiem 1939, a po roku 1945 do roku 1985, prowadzono ją głównie pod „ważnymi” obiektami wymagającymi szczególnej ochrony, na przykład hutami i innymi zakładami przemysłowymi i pod zabudową miejską Świątchłowic. Eksploatację prowadzono pasami, najczęściej 30-metrowymi ubierkami, z pozostawieniem między nimi filarów oporowych, również 30-metrowych (rys. 4.5.18a, rys. 4.5.19a). Była to eksploatacja, której zakończenie przyniosło pozytywne doświadczenia, gdyż ochroniono obiekty na powierzchni tak, aby mogły pełnić swoje funkcje. Wymiernym efektem tych doświadczeń były uzyskane współczynniki eksploatacyjne poniżej 0,03!



Rys. 4.5.18. Schematy eksploatacji częściowej: a – pasami, b – w szachownicę, c – chodnikami (Knothe, 1984)



Rys. 4.5.19. Zachowanie się warstw stropowych przy eksploatacji częściowej z podsadzką hydrauliczną – a i zawalem stropu – b (Knothe, 1984)

Współcześnie podejmuje się eksploatację resztek złóż węgla kamiennego „uwięzionych” w filarach ochronnych szybów górniczych lub innych obiektów na powierzchni, w reaktywowanych zakładach górniczych, na przykład Siltech i EKO-PLUS. Jednak są to rejony, gdzie górotwór jest naruszony wpływami eksploatacji okołofilarowej, a także siecią wyrobisk w filarach, co powoduje, że współczynnik eksploatacyjny w warunkach eksploatacji chodnikowej w 50% może być analogiczny jak dla eksploatacji z podsadzką hydrauliczną. W oparciu o dostępne dane trudno jest ustalić wpływ zwiększenia szerokości filarów między chodnikami na zmniejszenie deformacji powierzchni.

Złóża węgla kamiennego w Polsce zalegają głębiej i najczęściej są naruszone wcześniej prowadzoną eksploatacją, inaczej niż w górnictwie amerykańskim czy chińskim, gdzie eksploatację częściową prowadzi się na małych głębokościach (por. podrozdziały 2.4.1 i 2.5.1).

Istotne znaczenie dla ograniczania deformacji ma nachylenie pokładów, a także technologia eksploatacji i jakość podsadzki – obecnie podsadzka

powstaje z odpadów pogórnich (kamienia) i elektrownianych (pyły dymnicowe). W latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych ubiegłego stulecia stosowano podsadzkę wykonaną w 100% z piasku.

Doświadczenia kopalni Marcel, w której podjęto eksploatację krótkimi ścianami z zawałem stropu i pozostawieniem filarów między ścianami w pokładzie na dużej głębokości, należy ocenić pozytywnie. Można zmniejszyć deformacje powierzchni o 40–50% w porównaniu z pełną eksploatacją z zawałem stropu.

4.6. Deformacje nieciągłe powierzchni

4.6.1. Deformacje nieciągłe typu powierzchniowego – zapadliska

4.6.1.1. Wprowadzenie

W Polsce prekursorami badań nad prognozowaniem deformacji nieciągłych (typu powierzchniowego) byli: dla kopalń węgla kamiennego Chudek, Arkuszewski i Ołaszowski (1980), Chudek, Janusz i Zych (1988), a dla kopalń rud cynku i ołowiu Janusz i Jarosz (1976).

Są dwa rodzaje podziału deformacji nieciągłych powierzchni: przyczynowy (z uwagi na genezę) i rodzajowy (z uwagi na kształt – postać), w którym z kolei wyróżnia się podział na deformacje powierzchniowe i liniowe. Na obszarze GZW deformacje nieciągłe powierzchni występują głównie w rejonach wychodni pokładów węgla i nad płytko zalegającymi złożami rud cynku i ołowiu. Obecnie powstają one głównie w wyniku reaktywacji starych zrobów, czyli uaktywniania znajdujących się tam pustek wskutek późniejszej eksploatacji górniczej – powstają zapadliska w postaci nieregularnych lub regularnych lejów.

Przyjmuje się, że zagrożenie powierzchniowymi deformacjami nieciągłymi ma związek z płytką eksploatacją górniczą, za jaką uważa się eksploatację do głębokości 80 m oraz szybami, sztolniami i upadowymi, mającymi kontakt z powierzchnią terenu. Według Kotyrby i innych (2016) zdecydowana większość zapadlisk terenu powstała jako efekt starej płytkiej eksploatacji prowadzonej na głębokości mniejszej niż 100 m. Przy większej głębokości eksploatacji prawdopodobieństwo wystąpienia deformacji nieciągłej terenu wyraźnie maleje. W tym kontekście informacja górnicza dotycząca płytkiej eksploatacji (do 100 m p.p.t.) staje się ważnym elementem bezpieczeństwa użytkowania terenów już zabudowanych i ustalania warunków geotechnicznych dla planowanej zabudowy terenu.

Do obszarów intensywnego występowania nieciągłych deformacji powierzchni należy północna część GZW, gdzie znajdują się wychodnie pokładów węgla kamiennego oraz złóż cynku i ołowiu, a także rejon olkusko-bolesławski eksploatacji rud cynkowo-ołowiowych (Pilecki i Popiołek, 2000; Popiołek, 2009).

Charakterystyka deformacji nieciągłych powierzchni związanych z eksploatacją górniczą jest następująca:

- w przeciwieństwie do deformacji ciągłych nie towarzyszą każdej eksploatacji górniczej,
- mogą występować bezpośrednio po eksploatacji, a także kilkadziesiąt lat po niej,
- ich wystąpienie nie jest poprzedzone żadnymi oznakami,
- są zjawiskami o bardzo szybkim przebiegu, czasem nawet nagłym (od kilku minut do kilku godzin, rzadko dni),
- zagrożenie ich powstaniem ma zasięg lokalny.

Powyższy charakter deformacji nieciągłych w dużym stopniu ogranicza możliwość ochrony obiektów posadowionych na terenach zagrożonych ich powstawaniem. Dla tej eksploatacji i wyrobisk należy ocenić zagrożenie powierzchni związane z reaktywacją pustek w górotworze, biorąc pod uwagę wpływy projektowanej eksploatacji, a także wskazać rodzaje profilaktyki.

Współcześnie problematyką zagrożenia deformacjami nieciągłymi zajmują się między innymi pracownicy Akademii Górniczo-Hutniczej (np. Malinowska i Dziarek, 2013, 2014) i Politechniki Śląskiej (np. Strzałkowski i in., 2020), którzy stosują nowe technologie badawcze.

Malinowska i Dziarek do oceny zagrożenia powierzchni deformacjami nieciągłymi (wyłonienie stref zagrożonych, prognozowanie z wykorzystaniem modeli funkcyjnych) proponują wykorzystać systemy informacji geograficznej (GIS). Natomiast pracownicy Politechniki Śląskiej bazują na ocenach geomechanicznych oraz na modelowaniu numerycznym górotworu i symulacji deformacji nieciągłych powierzchni.

W opracowaniu *Zasady oceny możliwości prowadzenia podziemnej eksploatacji...* (Kwiatek in., 2000) zaleca się wykluczanie możliwości powstania deformacji nieciągłych powierzchni lub określanie prawdopodobnego ich rodzaju i wielkości oraz prowadzenie działań profilaktycznych geotechnicznych i budowlanych.

Zapadliska powierzchniowe spowodowane bieżącą eksploatacją występują sporadycznie. W ostatnich latach takie wyrobisko powstało nad płytko prowadzoną chodnikami podbierkowymi eksploatacją w kopalni Kazimierz-Juliusz

w roku 2014 (fot. 4.6.1) (Kowalski, 2015). Zapadlisko miało wymiary około 15 m × 20 m, a jego głębokość wynosiła 4 m. Strefą spękań gruntu był objęty obszar około 15 m wokół zapadliska. Zapadlisko wystąpiło nad wyeksploatowanymi podbierkami z zawałem stropu w grubym pokładzie 510 na głębokości od 130 do 180 m. Uśredniona wysokość podbierki wynosiła 5,0 ±2,3 m, choć lokalnie mogła dochodzić do 12 m. Miąższość nadkładu warstw czwartorzędu wynosiła 50 m.

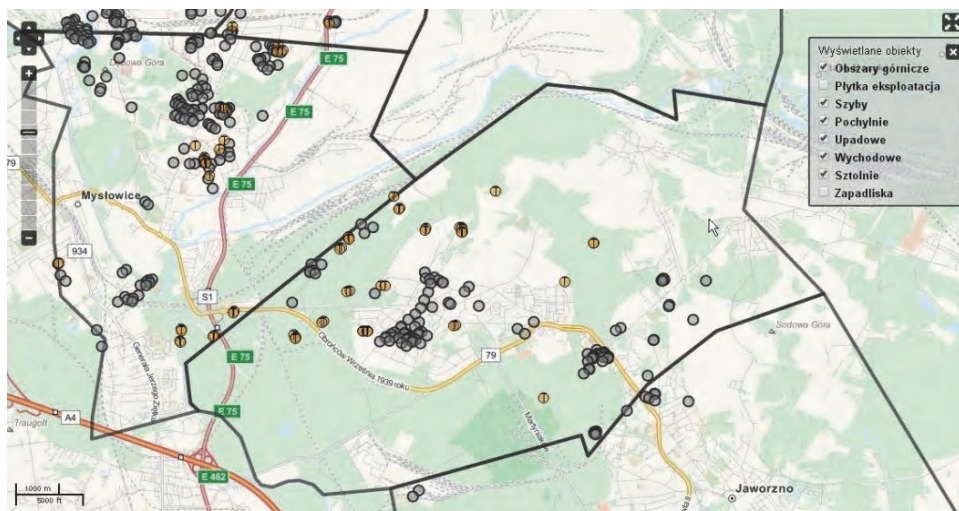


Fot. 4.6.1. Zapadlisko nad płytką eksploatacją prowadzoną systemem podbierkowym z zawałem stropu (Kowalski, 2015)

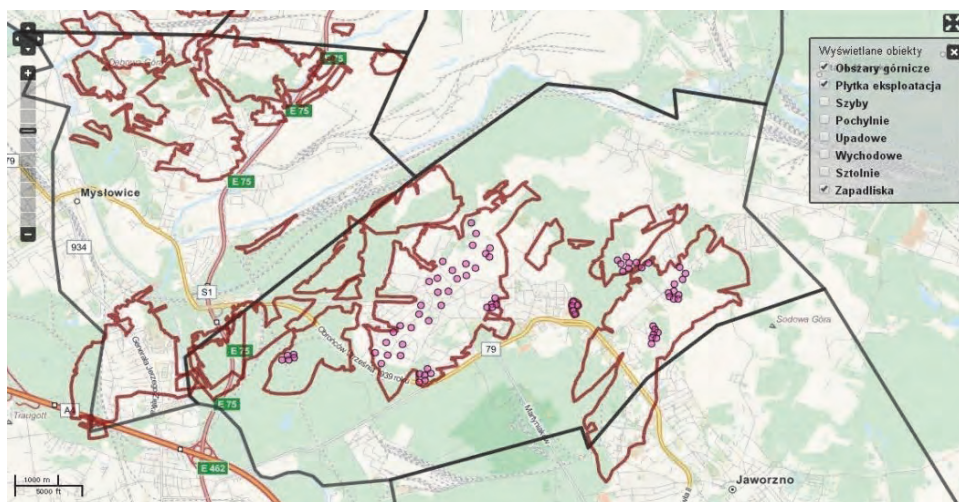
4.6.1.2. Górnśląski system informacji przestrzennej o zagrożeniach powierzchni

W latach 2015–2017 w Laboratorium Geofizyki Inżynierskiej Głównego Instytutu Górnictwa zrealizowano projekt, w którym udokumentowano na współczesnych mapach kartograficznych granice płytkiej eksploatacji górniczej węgla kamiennego i rud metali; informację udostępniano na portalu internetowym zapadliska.gig.eu, działającym na serwerze GIG pod nazwą „Górnśląski System Informacji o Zagrożeniach Powierzchni na Terenach Zlikwidowanych Kopalń” (Kotyrbą i in., 2016). System ten pozwala na szybkie uzyskanie informacji górniczej z danego terenu, w szczególności informacji, czy była na nim prowadzona działalność górnicza, która może stwarzać zagrożenie ruchami zapadliskowymi powierzchni terenu. Procesy zapadliskowe powodują charakterystyczne deformacje powierzchni, w trakcie których dochodzi do przerywania ciągłości warstw geologicznych oraz lokalnych obniżień powierzchni terenu, przyjmujących formy lejów, niecek, rowów, progów i szczelin.

Przykłady udokumentowanych informacji na portalu GIG dla zlikwidowanej kopalni Jan Kanty we wschodniej części GZW, między Mysłowicami a Jaworzniem, przedstawiono na rysunkach 4.6.1 i 4.6.2.



Rys. 4.6.1. Zrzut ekranu z położeniem zniesionego obszaru górniczego kopalni Jan Kanty i wyrobisk mających połączenie z powierzchnią (Kotyriba i in., 2016)



Rys. 4.6.2. Zrzut ekranu z położeniem zniesionego obszaru górniczego kopalni Jan Kanty, rejonów płytkiej eksploatacji i miejsc wystąpienia zapadlisk (Kotyriba i in., 2016)

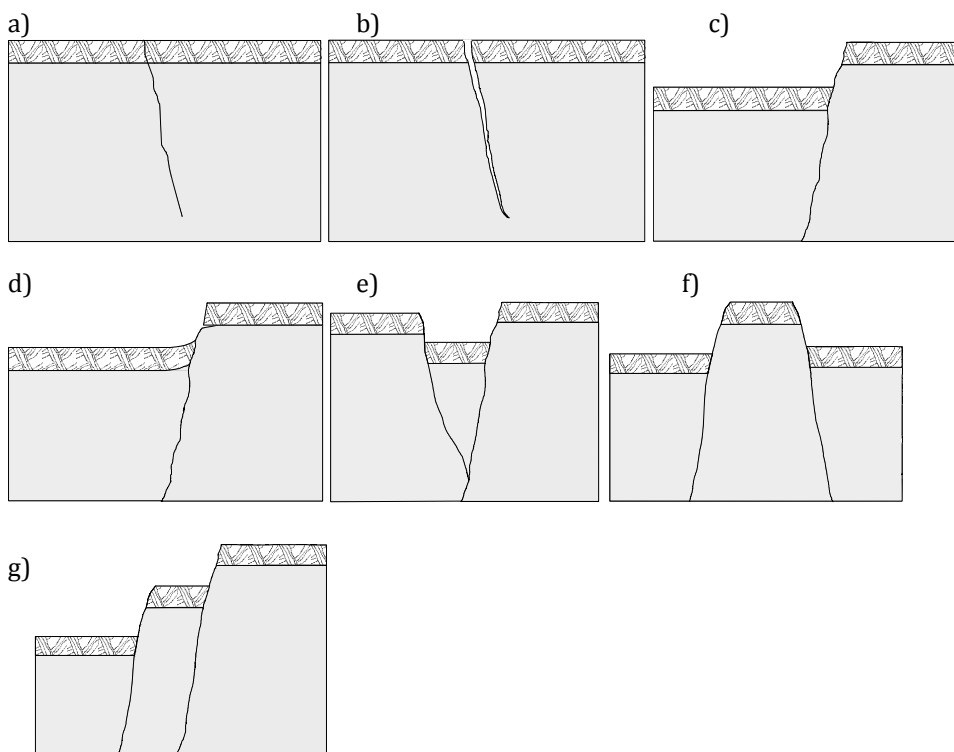
Jak zaznaczają Autorzy portalu, informacje udostępnione w „Górnośląskim Systemie Informacji...” pozwalają na ustalenie kategorii geotechnicznej danego terenu, natomiast nie mogą być wykorzystywane bezpośrednio do celów związanych z ustalaniem przydatności do zabudowy terenów pogórnich,

a w szczególności do kwantyfikowania i oceny ryzyka wystąpienia deformacji. Zagadnienia te uregulowane są odpowiednimi przepisami Prawa geologicznego i górniczego (Ustawa, 2017) i rozporządzeniem Ministra Środowiska (Rozporządzenie, 2017).

4.6.2. Liniowe nieciągłe deformacje powierzchni (LNDP)

4.6.2.1. Charakterystyka LNDP

Pod pojęciem liniowych nieciągłych deformacji powierzchni, nazywanych także nieciągłościami liniowymi, albo deformacjami liniowymi, rozumie się powstające na powierzchni szczeliny, stopnie, a także utworzone przez nie struktury w postaci schodów (kilka stopni), progów, rowów i fleksur (rys. 4.6.3).

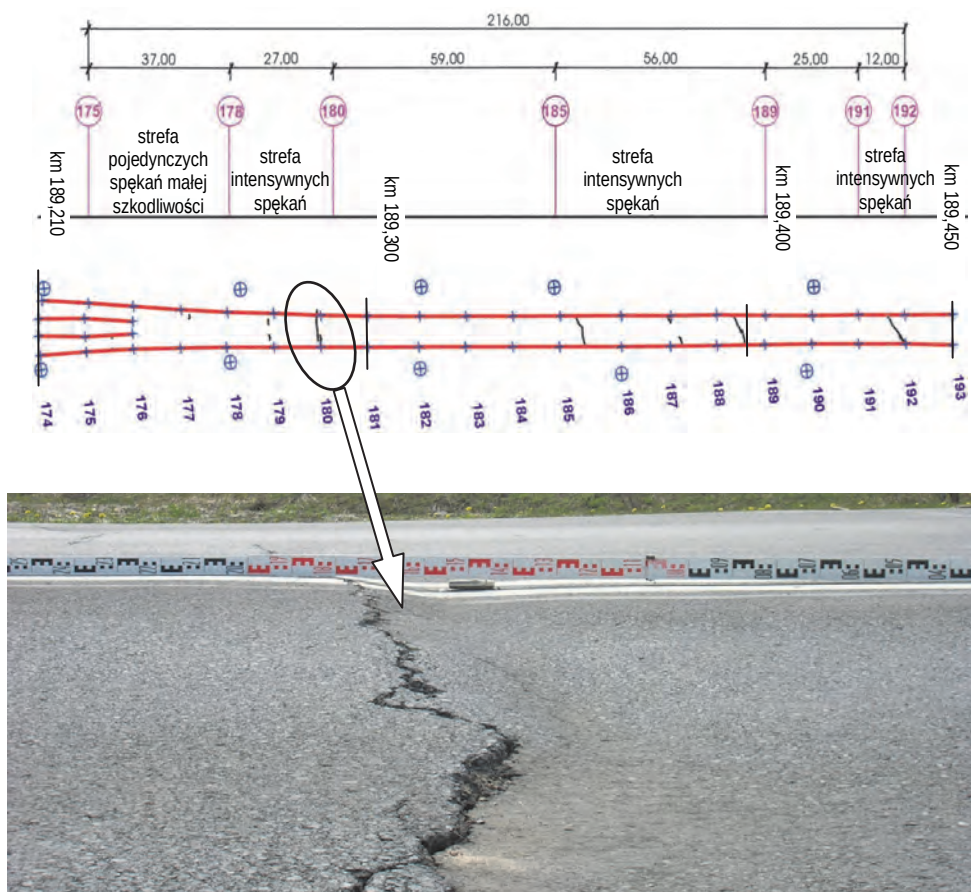


Rys. 4.6.3. Podstawowe formy liniowych nieciągłych deformacji powierzchni:
a – spękanie, b – szczelina, c – stopień, d – fleksura, e – rów, f – próg, g – schody

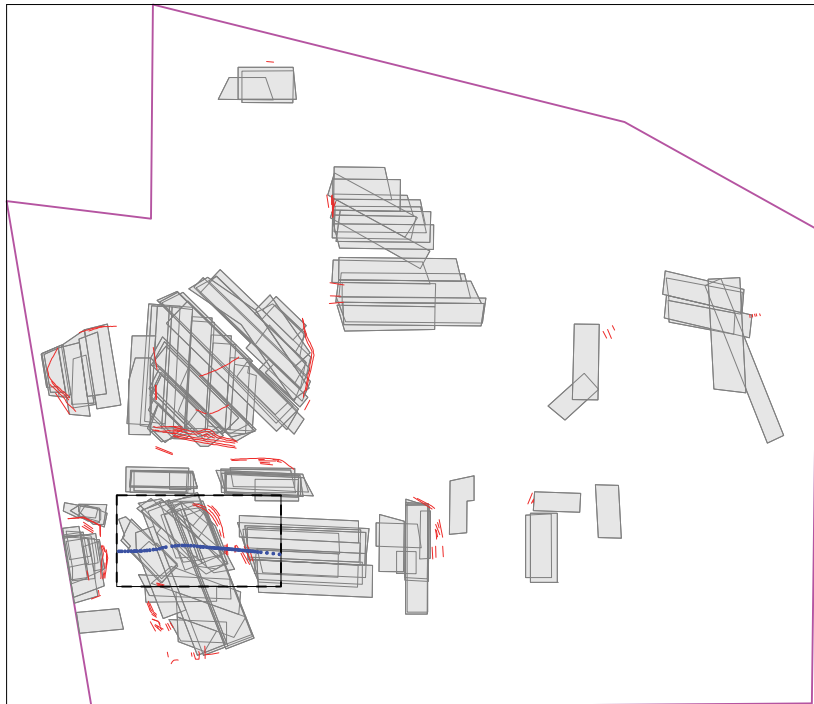
Zazwyczaj są one ewidencjonowane, gdy są zauważalne w terenie „gołym okiem”, w praktyce, gdy szerokość szczeliny wynosi co najmniej 0,01 m, a wysokość stopnia powyżej 0,05 m. Są one najczęściej rejestrowane na drogach, w terenie zabudowanym, rzadziej w terenie rolnym lub leśnym.

Powstawanie LNDP ma związek z występowaniem na powierzchni odkształceń poziomych o charakterze rozciągania, w rejonach, w których one narastająco sumują się, najczęściej w sąsiedztwie granic pól eksploatacyjnych, filarów ochronnych wyrobisk górniczych i stref uskoków tektonicznych. LNDP rejestruje się w rejonach prowadzenia eksploatacji pokładów węgla kamiennego, także na średnich i dużych głębokościach.

Powstawanie nieciągłości liniowych w GZW nie jest zjawiskiem nowym, jednak od początku lat dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia ich występowanie nasiliło się, co ma związek z koncentracją eksploatacji górniczej. Brak akceptacji społecznej dla występowania szkód górniczych spowodował, że LNDP stały się bardziej zauważalne niż we wcześniejszych okresach. Na fotografii 4.6.2 przedstawiono uszkodzenie nawierzchni i jej genezę, która wynika z koncentracji krawędzi eksploatacyjnych (rys. 4.6.4).



Fot. 4.6.2. Uszkodzenia nawierzchni drogi Pszczyna – Racibórz w rejonie Jastrzębia, 2006 r. (fot. M. Grygierek)



Rys. 4.6.4. Sytuacja górnicza dla LNDP przedstawionej na fotografii 4.6.2

Przykład LNDP powstałej w ostatnich trzech latach w jednej z kopalń w południowo-zachodnim rejonie Górnego Śląska, przedstawiono na fotografii 4.6.3. Wystąpiła ona w formie szczelin o szerokości 0,2 m i stopni o wysokości 0,3 m, w wyniku eksploatacji prowadzonej ścianą W-6 (rys. 4.6.5) na głębokości średnio 450 m, która spowodowała odkształcenia poziome o charakterze rozciągania rzędu 5,0 mm/m. Był to rejon filara granicznego między dwoma kopalniami.



Fot. 4.6.3. Szczelina o szerokości 0,2 m w strefie odkształceń o charakterze rozciągania



Rys. 4.6.5. Sytuacja górnicza powodująca powstanie na powierzchni LNPP przedstawionej na fotografii 4.6.3

Pierwsze opisy dotyczące powstawania na powierzchni szczelin i stopni powodowanych podziemną eksploatacją pokładów węgla prowadzoną na głębokości około 300 m, zostały przedstawione przez Klenczara (1939).

W kopalniach Rybnickiego Okręgu Węglowego w latach 1960–1980 zinventaryzowano 92 przypadki nieciągłości liniowych, które stanowiły 19% wszystkich deformacji nieciągłych, w tym zapadlisk i osuwisk (Palki, 1981). Szerokości szczelin wynosiły do 0,6 m, a wysokość stopni do 0,8 m, sporadycznie do 1,2 m. Przyczyny powstawania nieciągłości były następujące:

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

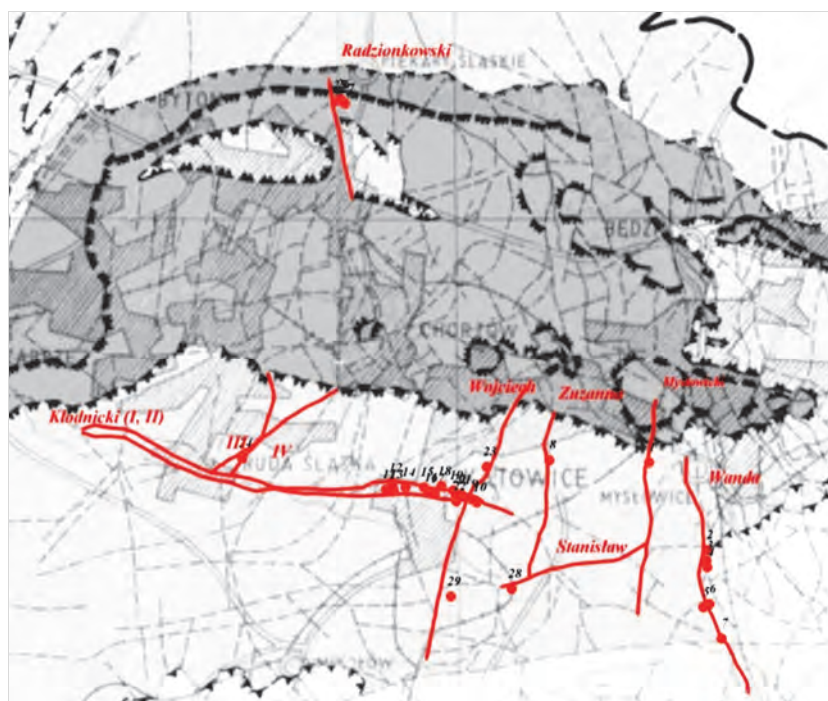
Występowanie liniowych nieciągłych deformacji było tematem publikacji naukowców z Politechniki Śląskiej (np. Strzałkowski, Piwowarczyk i Łapajski, 2006; Chudek, 2010). Ten ostatni autor bogato je udokumentował i opracował wytyczne dla prognozowania zapadlisk na powierzchni terenu.

Powstawanie stopni i szczelin na powierzchni w rejonach stref występowania poziomych odkształceń w podziemnym górnictwie węgla kamiennego rejestrowane jest w Wielkiej Brytanii (rozdz. 2.1), Niemczech (rozdz. 2.2) i Chinach (rozdz. 2.5). Największe znaczenie poznawcze mają wyniki badań Grüna (1995), który na podstawie analizy statystycznej zgromadzonych danych, utworzył macierz prognostyczną, w której połączył dane geologiczne i górnicze

z danymi o nieciągłościach. Metoda ta umożliwia przewidywanie potencjalnych „korytarzy” powstawania nieciągłości i ich jakościowej struktury, według schematu eksploatacji ścianowej (rys. 2.2.15).

Z badań prowadzonych przez Główny Instytut Górnictwa dotyczących liniowych nieciągłych deformacji powierzchni w GZW, uzyskanych z czynnych wówczas (2007 r.) 31 kopalń węgla kamiennego, wynika, że w 22 kopalniach występowały nieciągłości typu liniowego mające związek przyczynowy z prowadzoną eksploatacją górniczą (Kowalski, Jędrzejec i Gruchlik, 2010). W całym zbiorze 385 nieciągłości (93%) ma związek z koncentracją krawędzi eksploatacyjnych, a 29 (7%) dodatkowo z występowaniem dużych uskoków tektonicznych (o minimalnym zrzućcie 40 m).

Na rysunku 4.6.6 przedstawiono nieciągłości, które miały związek z oddziaływaniem eksploatacji górniczej i z tektoniką (duże uskoki tektoniczne) w rejonie uskoków: kłodnickiego, Wojciecha, Zuzanny, myślowickiego, Wandy, Stanisława, radzionkowskiego oraz uskoków III i IV (kopalnia Halemba). Najwięcej LNDP powstało w południowej części GZW, gdzie występuje gruby nadkład warstw trzecio- i czwartorzędowych. W części północnej GZW nieciągłości poeksploatacyjne występują sporadycznie, a we wschodniej nie występują.



Rys. 4.6.6. Nieciągłości w sąsiedztwie uskoków tektonicznych w północnej części GZW (Kowalski, 2015)

Najwięcej nieciągłości, około 53%, zostało zinwentaryzowanych na drogach, 12% na terenach zabudowanych, a 25% na terenach rolnych. Z uwagi na rodzaj, nieciągłości pierwotnych (zarejestrowanych w danym rejonie pierwszy raz) było 74%, a wtórnych (aktywizowanych) 26%.

4.6.2.2. Wyniki analiz statystycznych

Do ustalenia funkcji empirycznych częstotliwości powstawania LNDP stosowano całkowanie zbiorczej (kumulacyjnej) funkcji częstotliwości i analizowano następujące czynniki geologiczne i górnicze:

- grubość eksploatowanego pokładu,
- głębokość eksploatacji,
- grubość nadkładu warstw karbońskich,
- rodzaj przypowierzchniowej warstwy gruntu,
- występowanie uskoków tektonicznych,
- liczbę eksploatowanych pokładów – krotność eksploatacji,
- odstęp czasu między eksploatacją kolejnych pokładów,
- obliczone maksymalne odkształcenia poziome,
- położenie nieciągłości względem eksploatacji, rejon: bocznych krawędzi eksploatacyjnych, krawędzi startowej, krawędzi końcowej, nad eksploatacją, między krawędziami eksploatacyjnymi oraz naroża startowego i końcowego,
- kąt wystąpienia nieciągłości γ ($\text{arc tg } \gamma - \text{arc tg ilorazu głębokości eksploatacji i rzutu poziomego odległości nieciągłości od krawędzi eksploatacyjnej}$).

Wartości odkształceń poziomych pod wpływem eksploatacji kilku pokładów, które powodują występowanie nieciągłości, określono z uwzględnieniem algebraicznego sumowania się odkształceń poziomych spowodowanych eksploatacją poszczególnych pokładów lub warstw.

Analizę statystyczną przeprowadzono dla danych, które charakteryzują LNDP i tych, które uznano za mające istotny wpływ na ich powstanie. Ich opis zamieszczono w tabeli 4.6.1.

Z badań wynika, że 79% powstałych LNDP wystąpiło w formie stopnia, 8% w formie szczelin, pozostałe 13% to struktury złożone.

Wysokość stopni terenowych wynosi od 0,1 do 1,1 m. Występują one najczęściej w postaci struktur pojedynczych. Większość stopni (około 63%) ma wysokość do 0,2 m. Szerokość szczelin i ich liczba są bardzo zróżnicowane: zdecydowana większość ma szerokość do 0,1 m, choć mogą występować szczeliny eksploatacyjne o szerokości do 0,4 m.

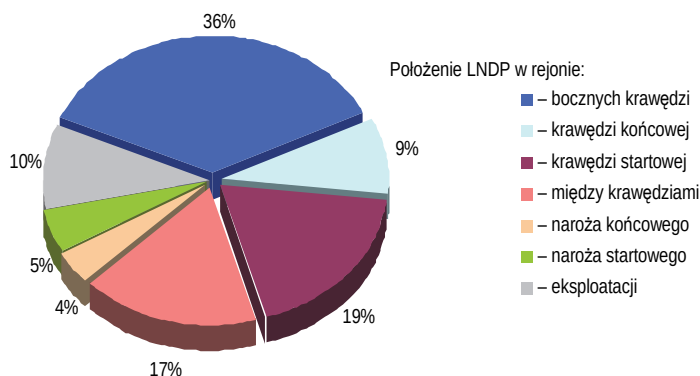
Tabela 4.6.1. Zmienne opisujące powstanie LNDP

Lp.	Opis	Oznaczenie	Zakres
1	Rodzaj nieciągłości	R_n	[pierwotne, wtórne]
2	Struktura nieciągłości ³	S_n	[S, S/Sz, Sz]
3	Liczba nieciągłości elementarnych	N_e	[1, 2, ...]
4	Położenie nieciągłości względem eksploatacji	P_n	[E, K, KK, KS, MK, NK, NS, ?]
5	Rodzaj gruntu	R_g	[Ns, Sp]
6	Krotność eksploatacji	k_e	[1, 2, ...]
7	Czas upływający między eksploatacją inicjującą powstanie LNDP, a eksploatacją poprzednią	Δt_{in}	[0, ∞]
8	Sumaryczne maksymalne poziome odkształcenie terenu pochodzące od pokładów wpływających na rejon LNDP	E_{sum}	[0, ∞]
9	Sumaryczne maksymalne poziome odkształcenie terenu pochodzące od pokładu inicjującego powstanie LNDP	E_{in}	[0, ∞]

Oznaczenia: S – stopień, S/Sz – struktura złożona ze stopnia i szczeliny, Sz – szczelina, E – eksploatacja, K – krawędź boczna, KK – krawędź końcowa, KS – krawędź startowa, MK – między krawędziami ścian, NK – naroże końcowe, NS – naroże startowe, Ns – grunt mało spoisty, Sp – grunt spoisty.

Długość nieciągłości wynosiła najczęściej do 100 m, choć sporadycznie osiągały one 800 m. Nieciągłości w rejonie krawędzi eksploatacyjnych występują średnio pod kątem załamania wynoszącym $79^\circ \pm 7^\circ$, a w rejonie naroży eksploatacyjnych średnio $83^\circ \pm 8^\circ$.

Udział procentowy nieciągłości w zależności od jej położenia względem konturu eksploatacji przedstawiono na rysunku 4.6.7.



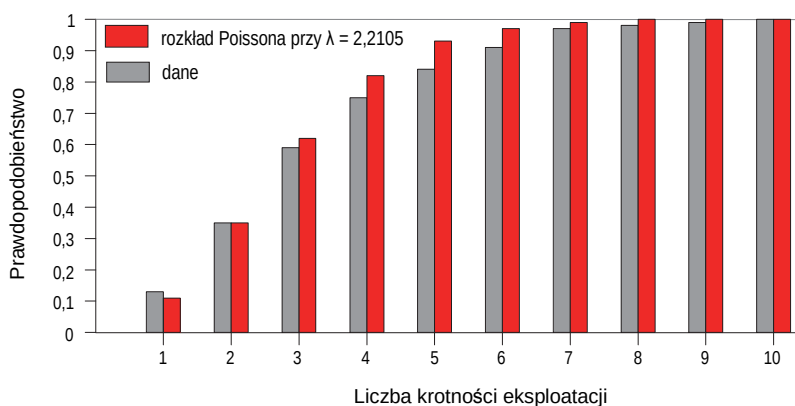
Rys. 4.6.7. Występowanie nieciągłości w zależności od położenia frontu eksploatacyjnego (Kowalski, Jędrzejec i Gruchlik, 2010)

³ Przynależność do określonej struktury wyznacza również dane geometryczne, takie jak długość struktury, wysokość stopnia i szerokość szczeliny.

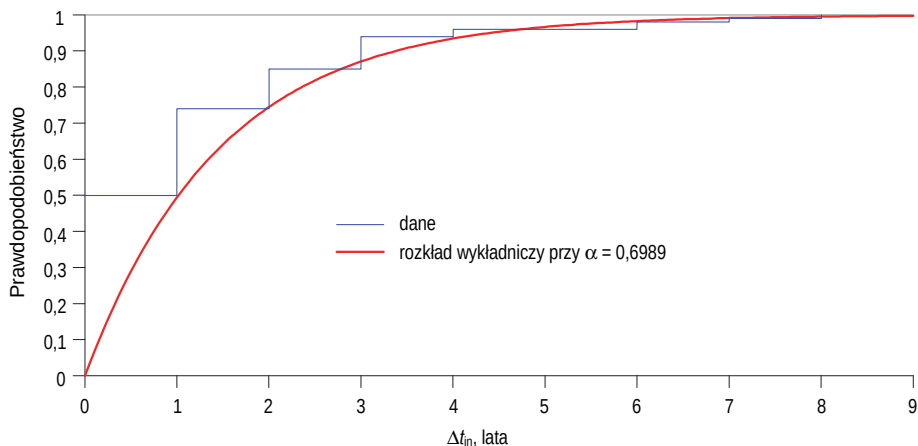
Najwięcej nieciągłości występuje równolegle do krawędzi eksploatacyjnych wzdłuż wybiegu ściany, następnie krawędzi startowej i między krawędziami dwóch lub więcej ścian. Ustalenie to ma istotne znaczenie dla prowadzonych działań profilaktycznych, których celem jest minimalizowanie występowania nieciągłości.

Na podstawie wyników przeprowadzonych testów χ^2 dla nieparametrycznych hipotez statystycznych dotyczących powiązań przyczynowo-skutkowych wykazano, że rodzaj nieciągłości, struktura i położenie względem konturu pola eksploatacyjnego zależą przede wszystkim od odkształceń poziomych E_{sum} (odkształcenia poziome sumaryczne spowodowane eksploatacją wszystkich ścian) lub E_{in} (odkształcenia poziome ostatniej ściany – inicjujące LNDP) oraz od wielkości drugorzędnych, jakimi są: rodzaj gruntu, krotność eksploatacji oraz czas Δt_{in} (odstęp czasu między poprzednią a ostatnią ścianą – inicjujące LNDP).

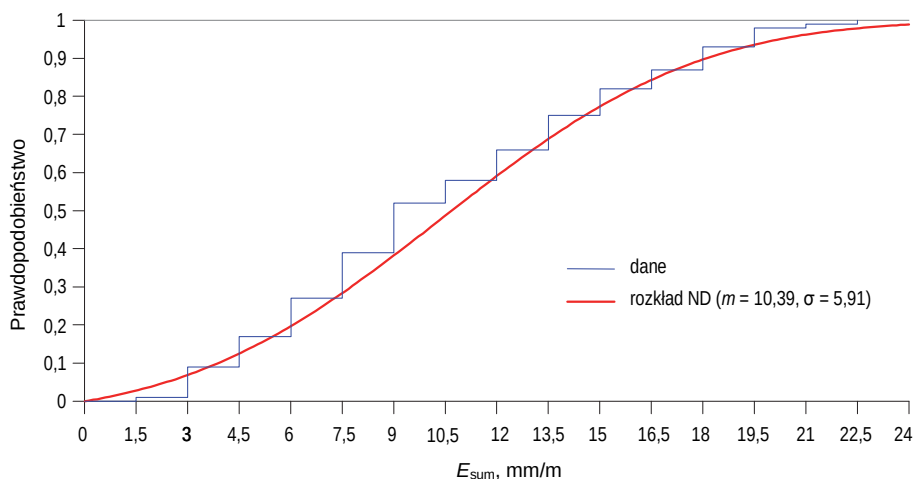
Największe współczynniki determinacji R^2 dopasowania rozkładów teoretycznych do występowania LNDP otrzymano w zależności od: krotności eksploataowanych wcześniej pokładów – współczynnik $R^2 = 0,9171$ (rys. 4.6.8) i odstępu czasu między eksploatacją ostatniego pokładu, który inicjuje wystąpienie nieciągłości, a eksploatacją wcześniejszego pokładu – $R^2 = 0,9925$ (rys. 4.6.9). Wynika z nich, że krotność wynosi najczęściej od 1 do 7, a największy wzrost prawdopodobieństwa występuje dla eksploatacji czwartego pokładu i kolejnych pokładów. Około 50% nieciągłości wystąpiło, kiedy odstęp wynosił jeden rok. Na wystąpienie LNDP zasadniczy wpływ mają sumaryczne odkształcenia poziome od dokonanej eksploatacji, przy czym współczynniki determinacji dla nieciągłości pierwotnych są znacznie mniejsze (rys. 4.6.10 i rys. 4.6.11) niż w przypadku eksploatacji pokładu inicjującego nieciągłość wtórną (rys. 4.6.12).



Rys. 4.6.8. Prawdopodobieństwo wystąpienia nieciągłości w przypadku krotności eksploatacji $R^2 = 0,9171$ (Kowalski, Jędrzejec i Gruchlik, 2010)

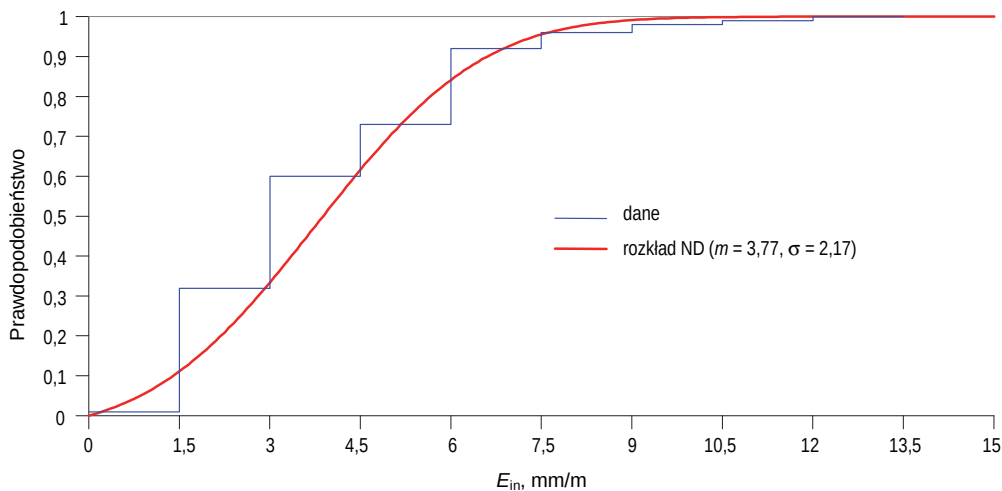


Rys. 4.6.9. Prawdopodobieństwo wystąpienia nieciągłości w przypadku czasu między eksploatacją prowadzoną ostatnią i przedostatnią ścianą Δt_{in} nie dłuższego niż zadany $R^2 = 0,9925$ (Kowalski, Jędrzejec i Gruchlik, 2010)

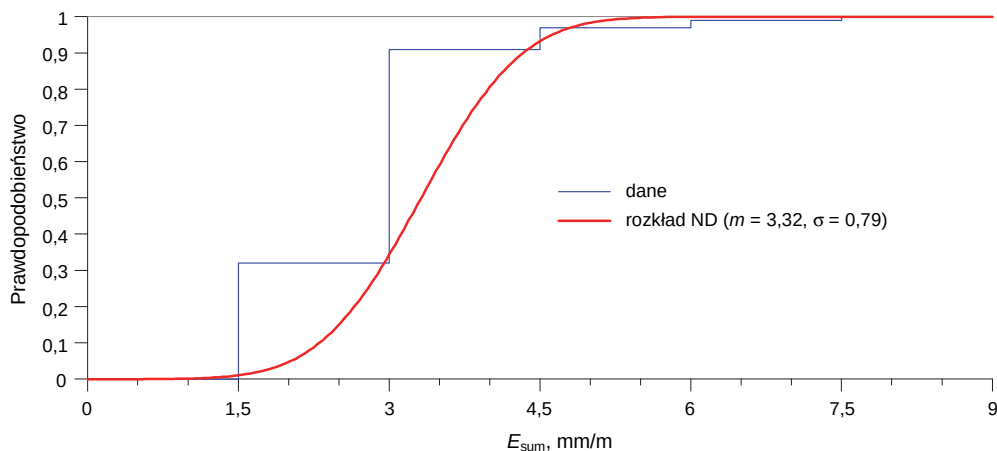


Rys. 4.6.10. Prawdopodobieństwo wystąpienia nieciągłości pierwotnej przy poziomym odkształceniu sumarycznym E_{sum} nie większym niż zadane $R^2 = 0,6984$ (Kowalski, Jędrzejec i Gruchlik, 2010)

Przedstawione dopasowanie wykonano z zastosowaniem uciętego rozkładu normalnego (ograniczonego do nieujemnych wartości zmiennej losowej). Powyższe świadczy o tym, że prognoza zagrożenia powierzchni wystąpieniem nieciągłości pierwotnej, wykonana na podstawie sumarycznych poziomych odkształceń E_{sum} , może być obciążona większą niepewnością. Z kolei duża wartość współczynnika determinacji w przypadku wystąpienia nieciągłości wtórnej w zależności od odkształcenia poziomego, potwierdza założoną hipotezę przyczyny ich ujawniania się (rys. 4.6.12).



Rys. 4.6.11. Prawdopodobieństwo wystąpienia nieciągłości pierwotnej przy poziomym odkształceniu inicjującym E_{in} nie większym niż zadane $R^2 = 0,7297$ (Kowalski, Jędrzejec i Gruchlik, 2010)



Rys. 4.6.12. Prawdopodobieństwo wystąpienia nieciągłości wtórnej przy poziomym odkształceniu E_{sum} nie większym niż zadane $R^2 = 0,9974$ (Kowalski, Jędrzejec i Gruchlik, 2010)

4.6.2.3. Metody określania zagrożenia wystąpieniem LNDP

Na podstawie wykonanych analiz hipotez statystycznych zależności powstania LNDP-E (eksploatacyjnych) od rozpatrywanych czynników geologicznych i górniczych, można stwierdzić, że ich wystąpienie w dużym stopniu zależy od łącznej wartości odkształceń poziomych.

Zaproponowane metody prognozowania wystąpienia LNDP, z uwagi na niepewność, proponuje się traktować z dużą ostrożnością. Jednak każde „oszacowanie” zagrożenia jest lepsze niż jego brak. Zaproponowano dwie metody:

pierwszą – odkształceń poziomych (A) i drugą – punktową (B). Szersze wyjaśnienie genezy zaproponowanych metod prognozowania LNDP można znaleźć w monografii Kowalskiego (2015).

Metoda odkształceń poziomych

A. Prognozowanie pierwotnych LNDP-E

1. Wyznacza się rejony, w których występuje koncentracja odkształceń poziomych na skutek dokonanej eksploatacji, w postaci obliczonych izolinii maksymalnych odkształceń poziomych.
2. Prognozuje się deformacje dla projektowanej eksploatacji górniczej w postaci izolinii odkształceń poziomych dodatnich.
3. Oblicza się sumaryczne maksymalne odkształcenia poziome dla dokonanej i projektowanej eksploatacji górniczej w postaci izolinii odkształceń poziomych dodatnich.

Dla tak wyznaczonych izolinii odkształceń poziomych określa się prawdopodobieństwo wystąpienia nieciągłości:

- duże, jeżeli prognozowane sumaryczne odkształcenia poziome spowodowane dokonaną i projektowaną eksploatacją przekroczą $+15,0$ mm/m, a eksploatacją projektowaną $+6,0$ mm/m,
- średnie, jeżeli prognozowane odkształcenia poziome spowodowane dokonaną i projektowaną eksploatacją przekroczą $+12,0$ mm/m, a eksploatacją projektowaną $+3,0$ mm/m,
- małe, jeżeli prognozowane odkształcenia poziome spowodowane dokonaną i projektowaną eksploatacją przekroczą $+9,0$ mm/m, a eksploatacją projektowaną do $+3,0$ mm/m.

B. Prognozowanie wtórnych LNDP-E

1. Wyznacza się rejony, w których występują nieciągłości (pola powierzchni obejmujące nieciągłości).
2. Prognozuje się deformacje dla projektowanej eksploatacji górniczej w postaci izolinii maksymalnych odkształceń poziomych.
3. Wyznacza się rejony, w których wystąpiły nieciągłości i odkształcenia poziome (na skutek projektowanej eksploatacji), określa się prawdopodobieństwo wystąpienia wtórnych nieciągłości, które jest odpowiednio:
 - duże, jeżeli prognozowane odkształcenia poziome spowodowane projektowaną eksploatacją przekroczą $+4,5$ mm/m,
 - średnie, jeżeli prognozowane odkształcenia poziome spowodowane projektowaną eksploatacją przekroczą $+3,0$ mm/m,
 - małe, jeżeli prognozowane odkształcenia poziome spowodowane projektowaną eksploatacją przekroczą $+1,5$ mm/m.

Metoda punktowa

Na powstawanie LNDP-E mają wpływ cztery składniki (obejmujące warunki górnicze i geologiczne), którym można przypisać odpowiednie wartości liczbowe (punkty):

- 1) dokonana eksploatacja,
- 2) projektowana eksploatacja,
- 3) budowa geologiczna,
- 4) prędkość frontu eksploatacyjnego.

Przy ustalaniu liczby punktów dla poszczególnych składników proponuje się oparcie na następujących przesłankach:

Ad 1. Wpływ dokonanej eksploatacji najlepiej scharakteryzować, wykorzystując do tego punkty określone na podstawie obliczonych przybliżonych odkształceń poziomych. Przyjęto ośmiopunktową skalę określającą dokonaną eksploatację. Odpowiada ona sumarycznym odkształceniom poziomym w przedziale 0–16 mm/m, odpowiednio co jeden punkt: do 2 mm/m – 1 punkt, do 4 mm/m – 2 punkty ... do 16 mm/m – 8 punktów.

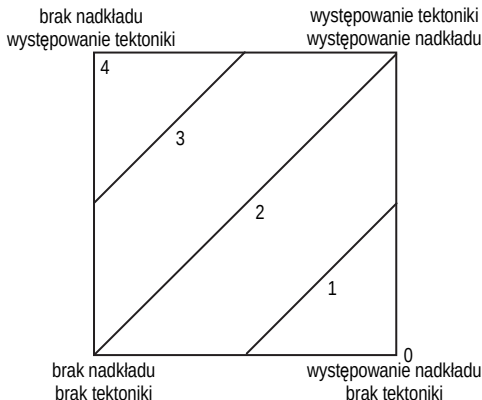
Ad 2. Wpływ projektowanej eksploatacji najlepiej scharakteryzować, wykorzystując do tego punkty określone na podstawie obliczonych przybliżonych odkształceń poziomych. Przyjęto sześciopunktową skalę odpowiadającą prognozowanym odkształceniom poziomym w przedziale 0–6 mm/m, odpowiednio: do 1 mm/m – 1 punkt, 2 mm/m – 2 punkty dla 6 mm/m – 6 punktów.

Ad 3. Przyjęto czteropunktową skalę określającą powstanie LNDP-E w zależności od warunków geologicznych i od występowania nadkładu i tektoniki. W przypadku braku nadkładu zagrożenie wystąpieniem nieciągłości jest największe, występowanie tektoniki – uskoków w górotworze, które w sposób naturalny tworzą powierzchnie osłabionej spójności, sprzyja także powstawaniu nieciągłości. Zasadę określania punktów w zależności od warunków geologicznych przedstawiono na rysunku 4.6.13.

Ad 4. Prędkość frontu eksploatacyjnego proponuje się przyjmować według następującego schematu:

- mała prędkość – $v \leq 50$ m/miesiąc i $v \leq 2,5$ m/dobę – 0 punktów,
- średnia prędkość – $50 \text{ m/miesiąc} < v \leq 120 \text{ m/miesiąc}$ i $v \leq 6 \text{ m/dobę}$ – 2 punkty,
- duża prędkość – $v > 120 \text{ m/miesiąc}$ lub $v > 6 \text{ m/dobę}$ – 4 punkty.

Odpowiedniemu stopniowi zagrożenia powierzchni wystąpieniem nieciągłości są przypisywane punkty jako wynik sumowania liczby punktów przypisanej danemu składnikowi, według podziału podanego w tabeli 4.6.2.



Rys. 4.6.13. Schemat określania wartości punktów do prognozowania LNDP-E w zależności od warunków geologicznych (Kowalski, 2015)

Tabela 4.6.2. Punkty do określania stopnia zagrożenia wystąpieniem LNDP-E

Stopień zagrożenia	Prawdopodobieństwo wystąpienia LNDP-E	Wartość liczbowa (punkty)
0	brak	≤ 8
1	małe	$8 < x \leq 12$
2	średnie	$12 < p < 16$
3	duże	≥ 16

W rejonach, w których już wcześniej wystąpiły nieciągłości, mogą one uaktywnić się po jakimś czasie, powstają wówczas nieciągłości wtórne. Tereny te powinno się traktować jako tereny, na których prawdopodobieństwo wystąpienia nieciągłości jest odpowiednio większe o jeden stopień niż podano w tabeli 4.6.2.

Przedstawione powyżej zasady potwierdzają udokumentowane przykłady powstania LNDP pierwotnych i wtórnych w kopalniach, w których wystąpiły strefy koncentracji odkształceń poziomych o charakterze rozciągania.

* * *

Przeprowadzone rozważania teoretyczne nad parametrami stref dyslokacyjnych związanych z uskokami tektonicznymi i analiza przypadków ich wystąpienia nie pozwalają na jednoznaczne określenie ich związku z liniowymi nieciągłymi deformacjami powierzchni na obszarach podziemnej eksploatacji węgla. Powodem tego stanu rzeczy jest fakt, że uskoki stanowią naturalne granice eksploatacji w pokładach węgla. We wszystkich analizowanych przypadkach położenie uskoków pokrywało się z położeniem krawędzi eksploatacji lub też były one zlokalizowane w bliskim sąsiedztwie krawędzi.

Związki między elementami tektonicznymi, a powstawaniem LNDP-T, nakazują, aby w przypadkach eksploatacji dochodzącej do stref uskokowych, stosować specjalne procedury prognozowania deformacji ciągłych powierzchni i określania stref zagrożonych deformacjami nieciągłymi. Jest to istotne, zwłaszcza w przypadkach wystąpienia deformacji nieciągłych, które mogą być przyczyną szkód górniczych stanowiących zagrożenie dla bezpieczeństwa powszechnego – na przykład znaczne uszkodzenie autostrady lub szlaku PKP, rurociągu magistralnego z gazem, wodociągu magistralnego, czy też kubaturowego obiektu użyteczności publicznej (tzw. szkody totalne).

W związku z powyższym proponuje się następującą procedurę oceny zagrożenia wystąpieniem LNDP-T:

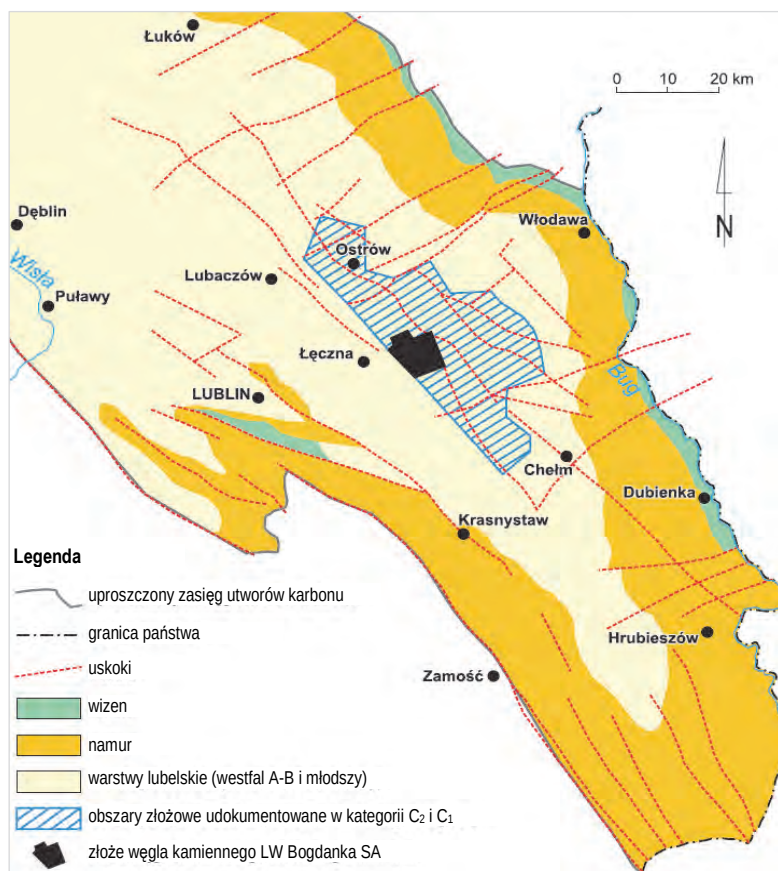
1. Analiza budowy geologicznej i tektoniki złoża przeprowadzona przez uprawnionego geologa górniczego.
2. Ustalenie najbardziej prawdopodobnego położenia strefy dyslokacyjnej z uwzględnieniem błędu (b) projekcji na strop zwiezłych skał (karbonu, triasu).
3. Szacunkowa ocena szerokości strefy dyslokacyjnej (m).
4. Zebranie i analiza map satelitarnych dla wyznaczenia lineamentów w strefie $3(m + b)$.
5. Analiza dokonanej i projektowanej eksploatacji oraz ocena deformacji powierzchni spowodowanej dokonaną i projektowaną eksploatacją, dla której należy sporządzić mapy maksymalnych odkształceń poziomych (dodatnich).
6. Wykonanie badań geofizycznych z wykorzystaniem co najmniej dwóch metod w obszarze o wymiarach $3(m + b)$.
7. Wykonanie wierceń badawczych po obu stronach (ustalonych za pomocą badań geofizycznych) położenia strefy dyslokacyjnej, dla weryfikacji lokalizacji strefy uskokowej.
8. Wykonanie analizy zagrożenia deformacjami nieciągłymi, analogicznie jak dla przypadku, gdy brak jest uskoków tektonicznych.
9. Ocena szerokości strefy zagrożonej i stopnia zagrożenia. Jeśli rejony zagrożone deformacjami nieciągłymi w małym i średnim zakresie pokrywają się ze strefą uskokową, należy zwiększyć stopień ich zagrożenia, podnosząc o jeden.

W komentarzu do przedstawionej metodyki prognozowania LNDP-T należy przywołać wyniki wcześniejszych i aktualnych badań dotyczących wpływu tektoniki na deformacje górotworu i powierzchni (Tyrła, 1979; Jeleński i Jędrzejec, 1994; Ściagała, 2013; Sikora, 2019).

5. Lubelski Węgiel – kopalnia Bogdanka

5.1. Geologia i eksploatacja górnicza

Lubelskie Zagłębie Węglowe (LZW) jest zlokalizowane na północny wschód od Lublina w karbońskim basenie sedimentacyjnym wydłużonym w kierunku NW-SE (rys. 5.1.1). Złoże węgla kamiennego znajduje się w obszarze skonsolidowanej platformy prekambryjskiej z charakterystyczną tektoniką blokową.



Rys. 5.1.1. Szkic geologiczny Lubelskiego Zagłębia Węglowego (Witkowski, 2017)

Na warstwach karbońskich zalegają utwory jury, kredy i czwartorzędu, których grubość waha się w granicach 500–1400 m. Bezpośrednio nad stropem warstw karbonu wyróżnia się osady jury o średniej miąższości 80–120 m. Utwory te stanowią piaszczysto-mułowcowo-wapienne osady jury dolnej i węglanowe utwory jury górnej. Pakiet skał kredy o średniej miąższości 470 m składa się w większości z utworów marglisto-wapiennych i kilkumetrowych

utworów kredy dolnej (alb) zbudowanych z piaskowców glaukonitowych. Osady czwartorzędu zalegające na warstwach kredowych, to piaszczysto-gliniaste utwory o miąższości od kilku do kilkunastu metrów.

Powierzchnia obszaru górniczego wynosi 73,3 km². Złoże węgla kamiennego udokumentowano w 21 pokładach na głębokości 650–960 m, których miąższość wynosi średnio 300 m.

W Lubelskim Zagłębiu Węglowym powstała jedna, złożona z trzech ruchów, podziemna kopalnia węgla kamiennego, która prowadzi obecnie eksploatację pokładów 382, 385/2, 389 i 391. Eksploatacja jest prowadzona z zawałem stropu. Złoże węgla kamiennego zalega bardzo regularnie, praktycznie brak jest uskokuw tektonicznych, a upad warstw karbońskich wynosi kilka stopni. Powoduje to, że wybiegi ścian eksploatacyjnych dochodzą do 5 km, długość ścian osiąga 200–250 m, a prędkość frontu ścianowego do 20 m.

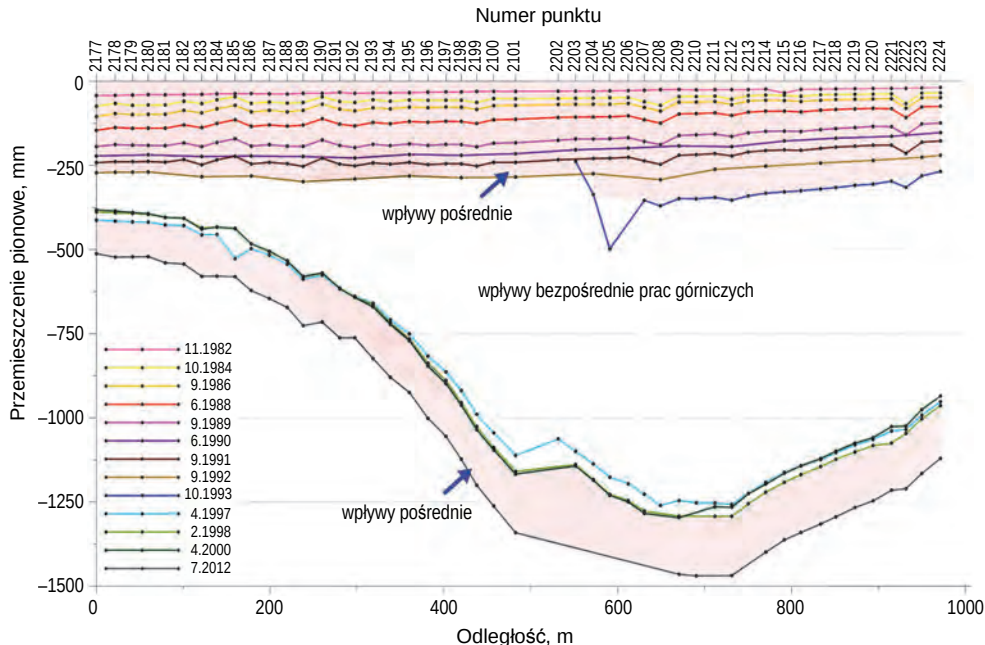
Największe obniżenie pomierzone na terenie kopalni Bogdanka od rozpoczęcia eksploatacji wynosiło 5,5 m (Hejmanowski i in., 2013).

5.2. Deformacje powierzchni

5.2.1. Niecki odwodnieniowe

W kopalni Bogdanka od roku 1980 prowadzone są pomiary deformacji powierzchni terenu na liniach obserwacyjnych i punktach rozproszonych. Łącznie jest 18 linii obserwacyjnych, głównie powiązanych z eksploatacją prowadzoną w pokładach 382 i 385/2. Z analizy pomiarów na liniach, zwłaszcza na punktach rozproszonych, wynika, że obniżenia ujawniają się także poza strefą bezpośrednich wpływów górniczych i mają związek z odwodnieniem górotworu. Są to wpływy pośrednie, które ujawniają się w postaci obniżeń o niewielkich wartościach w stosunku do przemieszczenia, wywołanych bezpośrednimi pracami górniczymi (rys. 5.2.1).

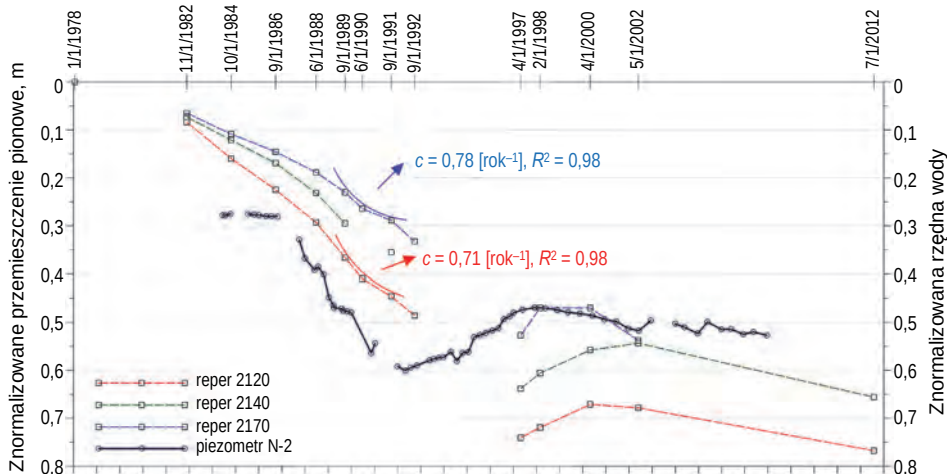
Analiza przemieszczeń pionowych wybranych punktów linii obserwacyjnych i sieci reperów wykazuje, że wyznaczona niecka obniżeń odwodnieniowych w rejonie kopalni, w odniesieniu do przemieszczeń pionowych z roku 1982, w roku 2011 objęła swoim zasięgiem teren przekraczający zasięg wpływów bezpośrednich. Obserwowane wartości obniżeń poza obszarem górniczym nie przekraczają 200 mm. Stan niecki z roku 1982 i 2011 wykazuje wyraźne maksima w rejonie szybów, gdzie zlokalizowane są centra drenażu warstw jurajskich. Maksymalne wartości obniżeń odwodnieniowych nie przekraczają 600 mm.



Rys. 5.2.1. Wpływy bezpośrednie i pośrednie na linii pomiarowej – lata 1982–2012 (Witkowski, 2017)

Analizy prowadzone przez Borowskiego (1987), Hejmanowskiego i zespół (Hejmanowski i in., 2013) oraz Witkowskiego (2017) wykazały, że pierwsze osiadania powierzchni terenu w rejonie eksploatacji zaobserwowano już w roku 1978. Były to niewielkie ruchy rzędu kilku milimetrów w otoczeniu drążonych szybów. Wynikały one z drenażu zawodnionych warstw górotworu. Analiza kolejnych pomiarów wskazywała na wzrost wartości obniżen w rejonie głębionych szybów. W roku 1982 obniżenia osiągnęły maksymalną wartość ponad 100 mm. Porównując obniżenia ze zmianami ciśnienia w warstwach jurajskich obserwowane zmiany na powierzchni terenu zachodzą niemal jednocześnie, gdy zaistnieje przyczyna je wywołująca.

W późniejszym czasie, kiedy prowadzono eksploatację górniczą i jednocześnie w piezometrach obserwowano zmiany zwierciadła wody, reperry podlegały obniżeniom i wypiętrzeniom. Kształt krzywych obrazujących obniżenia jest analogiczny do zmian ciśnienia warstwy wodonośnej (rys. 5.2.2). Z badań wynika, że jest przesunięcie czasowe, które wynosi około 1,5 roku między wynikami obserwacji w otworze piezometrycznym, a wynikami obserwacji obniżen na powierzchni terenu. Z kolei w okresie odtwarzania zwierciadła wody na powierzchni terenu obserwowane są maksymalne przyrosty wypiętrzenia z przesunięciem czasowym około 2,5 roku.



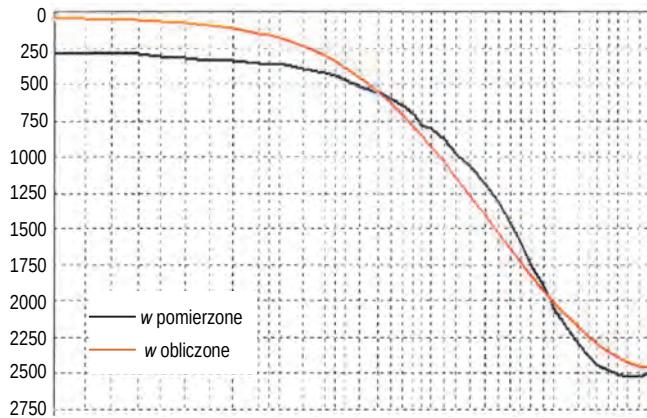
Rys. 5.2.2. Kształtowanie się obniżenia reperów w stosunku do obniżenia zwierciadła wody w rejonie piezometru (Witkowski, 2017)

Wyznaczony dla odwodnieniowej niecki obniżeniowej współczynnik kompaktacji dla warstw jurajskich wynosi $C_m = 8 \cdot 10^{-4}$ MPa, przy kącie zasięgu wpływów $\text{tg}\beta = 0,5$.

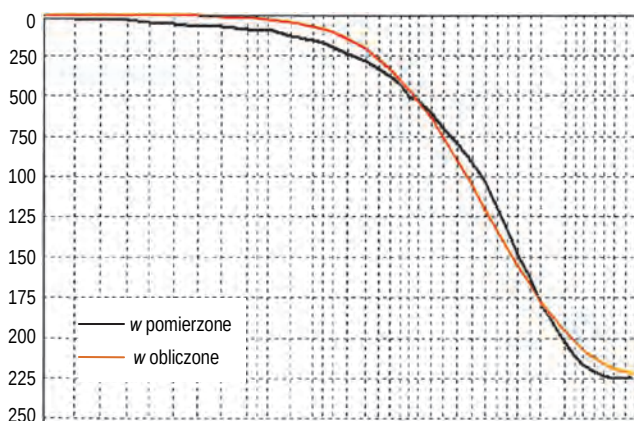
W komentarzu do przedstawionych wartości obniżenia – wpływów pośrednich, należy zaznaczyć, że ich określenie było możliwe tylko dzięki temu, że dobrze dokumentowano zarówno obniżenia, jak i poziomy warstw wodonośnych, co nie jest do stwierdzenia w kopalniach GZW. Wpływ odwodnienia występuje wszędzie, gdzie jest prowadzona eksploatacja górnicza (dopływy wody do wyrobisk górniczych są mniej więcej podobne). Wpływ odwodnienia nie zwiększa szkód górniczych, gdyż jest to odwodnienie głębokich warstw, a nie warstw wód gruntowych.

5.2.2. Deformacje – wpływy bezpośrednie

Na powierzchni terenu bezpośrednio nad prowadzoną eksploatacją górniczą znajduje się kilkanaście linii pomiarowych, z których część nadaje się do wyznaczenia parametrów teorii Knothego-Budryka zarówno z uwzględnieniem, jak i bez uwzględnienia wpływu odwodnienia (Hejmanowski i in., 2013). Interpretację tego, z uwzględnieniem odwodnienia górotworu, przedstawiono na przykładzie jednej niecki, w której obniżenie spowodowane odwodnieniem jest stałe i wynosi 0,25 m. Rysunek 5.2.3 pokazuje wynik dopasowania niecki z uwzględnieniem odwodnienia (łączne wpływy bezpośrednie i pośrednie), a rysunek 5.2.4 – efekt dopasowania po odfiltrowaniu wpływów spowodowanych odwodnieniem (pośrednich).



Rys. 5.2.3. Dopasowanie krzywej przebiegu obniżeń sumarycznych bezpośrednich i pośrednich (Hejmanowski i in., 2013)



Rys. 5.2.4. Dopasowanie krzywej przebiegu obniżeń bezpośrednich po odjęciu obniżeń pośrednich (Hejmanowski i in., 2013)

W tabeli 5.2.1 przedstawiono wartości parametrów teorii Knothego-Budryka wyznaczone z obniżeń sumarycznych (z odwodnieniem) i bez odwodnienia.

Tabela 5.2.1. Wartości parametrów teorii Knothego-Budryka wyznaczone z obniżeń sumarycznych (z odwodnieniem) i bez odwodnienia

Parametr	Z odwodnieniem	Bez odwodnienia
a	0,95	0,76
$\text{tg}\beta$	1,41	1,92

Z tabeli 5.2.1 wynika, jak należało oczekiwać, że w deformacjach bezpośrednich tkwią deformacje pośrednie i wpływ odwodnienia górotworu, który powoduje stały przyrost obniżenia powierzchni. Po uwzględnieniu wpływu

odwodnienia parametry teorii mają wartości bardzo zbliżone do znanych z kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, przy czym do prognozy klasycznej powinno się dodawać wartości obniżień spowodowane odwodnieniem.



Fot. 5.2.1. Niecka o maksymalnym obniżeniu 3,6 m wzdłuż drogi Stefanów – Nadrybie

W trakcie realizacji prac w kopalni Bogdanka rozpoznano niecki obniżeniowe, które w porównaniu do niecek w GZW charakteryzowały się mniejszymi sumarycznymi obniżeniami. Ze względu na wpływ odwodnienia niecki sumaryczne są bardziej rozległe niż w GZW. Największe obniżenie spowodowane eksploatacją dwóch pokładów wynosi 3,6 m (fot. 5.2.1).

6. Prognozowanie ciągłych deformacji powierzchni i trafność prognoz

6.1. Wprowadzenie

Są różne podziały metod prognozowania deformacji, które zmieniają się w czasie. Obecnie stosowany jest następujący podział:

- metody analityczne nazywane także empirycznymi, na przykład teoria Knothego-Budryka,
- metody numeryczne,
- metody stochastyczne symulujące górotwór jako ośrodek sypki; ich prekursorem był Litwiniszyn (1956), a obecnie w Polsce stosują je: Niemiec (Niemiec i Niemiec, 2008) – metoda Monte Carlo oraz Białek i Sikora (Białek i Sikora, 2012; Sikora, 2019),
- metody oparte na mechanice ośrodków ciągłych, na przykład metoda Drzęźli (1978, 1989), w której górotwór traktuje jako ośrodek sprężysty.

Współcześnie do prognozowania deformacji powierzchni w polskim górnictwie podziemnym stosuje się głównie, powstałą ponad 60 lat temu, teorię Knothego-Budryka. Opracowano ją na podstawie ówczesnych doświadczeń (obserwacji geodezyjnych deformacji powierzchni) z eksploatacji złóż węgla kamiennego w Polsce. Od tego czasu modyfikuje się ją, uwzględniając nowe wyniki pomiarów deformacji powierzchni, w tym dla niecek niepełnych oraz dostosowuje do obecnych warunków geologicznych (duże głębokości) i górniczych (górotwór wielokrotnie podebrany), a także do eksploatacji innych złóż, na przykład rud miedzi, ropy, gazu (Hejmanowski, 2004; Hejmanowski i Malinowska, 2006).

Rozwój metod prognozowania górniczych deformacji powierzchni, wynikający z badań naukowych, powinien uwzględniać poznanie procesu deformacji, a w efekcie opracowanie takiej teorii lub metody, na której mogłaby opierać się praktyka. Widoczny staje się rozdział między teorią a praktyką, gdyż stosowane metody prognozowania odbiegają od założeń i klasycznych ustaleń teorii Knothego-Budryka, dla których opracowano klasyfikację terenów górniczych (Budryk, 1956).

Rozróżnia się dokładność od trafności prognozy. Pod pojęciem dokładności prognozy rozumie się oszacowanie *a priori* błędu, z jakim można wykonać prognozę deformacji. Pod pojęciem trafności prognozy rozumie się natomiast ocenę rozbieżności między prognozą, a wykonanym pomiarem deformacji (ocena *a posteriori*).

6.2. Teoria Knothego-Budryka

6.2.1. Założenia teorii

Teoria Knothego-Budryka jest teorią geometryczno-całkową zbudowaną na podłożu empirycznym. Jej podstawą jest normalny (gaussowski) rozkład wpływu wybrania elementarnej objętości pokładu, zaproponowany w pracy doktorskiej Knothego (1951). W roku 1953 teoria została uzupełniona przez Budryka (1953) o założenie proporcjonalności przemieszczeń poziomych do nachyleń profilu niecki obniżeniowej (Knothe, 1953a).

Teoria Knothego-Budryka na etapie powstawania była weryfikowana przez obserwacje geodezyjne deformacji powierzchni, które spełniały następujące warunki:

- cała niecka obniżeniowa (jej profil) powstała w wyniku eksploatacji jednego pokładu,
- powierzchnia eksploatowanego pokładu była tak duża, że wykształciła się niecka pełna lub nadpełna,
- profil niecki jest prostopadły do prostoliniowych, dostatecznie długich krawędzi eksploatacyjnych, praktycznie większych od $2r$ (gdzie r jest promieniem rozproszenia wpływów),
- niecki są ustalone, teoretycznie $t \rightarrow \infty$.

Należy dodać, że weryfikacja wzorów teorii dotyczyła eksploatacji prowadzonej na małych głębokościach, jaką stosowano pod koniec lat czterdziestych i na początku lat pięćdziesiątych ubiegłego stulecia. Z analizy zależności między nachyleniami i krzywiznami przyjętymi w klasyfikacji kategorii terenu górniczego (Budryk, 1956) wynika, że głębokość eksploatacji wynosiła średnio 200 m (lub 250 m, a parametr $\operatorname{tg}\beta = 2,5$).

Jak napisał Knothe (1993), do pierwotnej wersji teorii zgłoszono uwagi krytyczne, które dotyczyły:

- występowania w rzeczywistości większego zasięgu wpływu niż przyjęty w teorii,
- asymetrii niecki osiadania wyrażającej się przesunięciem punktu przegięcia profilu niecki do granicy eksploatacji i większej wartości odkształceń w części nad eksploatacją względem części nad calizną.

Uwzględnienie tych postulatów było między innymi tematem prac Zycha (1987) i Białka (1991).

Drugą uwagę krytyczną uwzględnia się najczęściej przez „przesunięcie niecki” o pewną odległość, nazwaną później tzw. obrzeżem eksploatacyjnym, w kierunku przestrzeni wybranej; dla niecek pełnych wyraża je wzór

$$p = kH$$

(6.2.1)

gdzie k jest współczynnikiem najczęściej wynoszącym od 0,1 do 0,2.

Szersza analiza obrzeża eksploatacyjnego znajduje się w rozdziale 6.3.

Dla prostoty wywodu Knothe przyjął, we wzorze (6.2.1) i pozostałych wzorach, upraszczające założenie, że obniżenie stropu na całej jego powierzchni jest równe ag , co jest bardzo dużym uproszczeniem rzeczywistości. Odwołując się do pierwotnej funkcji wpływów Knothe'go, dotyczącej wpływu elementarnej objętości zrobów na obniżenia i uwzględniając zmienne obniżenie stropu w pobliżu krawędzi eksploatacyjnej, w najprostszej wersji uzyska się procedurę w postaci przesunięcia wpływów o tzw. obrzeże, a w bardziej dokładnych uwzględni się kształt linii ugięcia stropu (Jędrzejec, 1991; Pomykoł, 2003; Białek i Pomykoł, 2004); umożliwia to opis deformacji bardzo wąskich ścian na dużej głębokości, nieosiągalny innymi metodami.

W teorii Knothe'go-Budryka obrzeże eksploatacyjne nie jest parametrem, mimo że jest wielkością charakteryzującą właściwości górotworu, w szczególności warunki stropowe nad eksploatowanym pokładem. Według Litwiniszyna (1953), który opisuje nieckę obniżeniową jako rozwiązanie równania dyfuzji, uwzględnienie obrzeża (warunku granicznego – początkowego) prowadzi do dokładniejszego opisu obniżenia stropu pokładu (patrz rozdz. 6.3).

6.2.2. Podstawowe wzory teorii dla niecek ustalonych

Do opisu pola przemieszczeń przyjmuje się dwa kartezjańskie prawoskrętne i poziome układy współrzędnych:

- układ $\xi\eta$ związany z eksploatowanym pokładem,
- układ xy związany z dowolnym punktem obliczeniowym $P(x, y)$.

Oba układy są geometrycznie tożsame, a ich rozróżnienie podyktowane jest opisem matematycznym, co przedstawiono na rysunku 6.2.1.

Asymptotyczne obniżenie w punkcie (x, y) powierzchni jest wyrażone wzorem

$$w(x, y) = -\frac{w_{\max}}{r^2} \iint_S \exp\left\{-\frac{\pi}{r^2} [(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2]\right\} d\xi d\eta \quad (6.2.2)$$

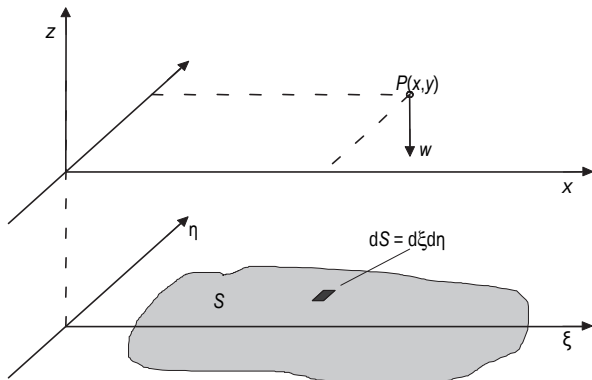
gdzie:

$w_{\max}$ – największe możliwe obniżenie terenu,

r – parametr rozproszenia wpływów na powierzchni terenu,

S – eksploatowane pole pokładu,

$d\xi d\eta$ – pole powierzchni elementu eksploatacji.



Rys. 6.2.1. Układy współrzędnych przyjęte do opisu deformacji terenu (Kwiatkiewicz, 1998)

Przemieszczenia poziome w teorii Knothego-Budryka wynikają z założenia przyjętego przez Awierszyna:

$$\begin{aligned} u_x &= -B \frac{\partial w}{\partial x} \\ u_y &= -B \frac{\partial w}{\partial y} \end{aligned} \quad (6.2.3)$$

gdzie B jest, nazwanym przez Budryka, współczynnikiem poziomego odkształcenia, którego wartość oszacował on na

$$B = \frac{r}{\sqrt{2\pi}} \cong 0,4r \quad (6.2.4)$$

Obecnie uważa się, że wartość tego współczynnika waha się w przedziale $0,2-0,4r$. Najczęściej dla $\text{tg}\beta = 2,0$ przyjmuje się (Popiołek, 1976)

$$B = 0,32r \quad (6.2.4a)$$

Dla parametru $\text{tg}\beta \neq 2,0$ wartość współczynnika liczbowego należy wyznaczać.

Z założeń przyjętych przez Awierszyna wynika, że składowe tensora odkształceń poziomych są proporcjonalne do odpowiednich składowych tensora krzywizny pionowej:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xx} &= -BK_{xx} \\ \varepsilon_{xy} &= -BK_{xy} \\ \varepsilon_{yy} &= -BK_{yy} \end{aligned} \quad (6.2.5)$$

Powyższe wzory stanowią podstawę do obliczania wskaźników deformacji pochodzących od eksploatacji o dowolnym kształcie i nieustalonych wskaźników deformacji określonych na podstawie dodatkowych założeń Knothego (podrozdział 6.2.3).

Do prognozowania deformacji górotworu i powierzchni w GIG jest stosowany system komputerowy Szkody, opracowany przez Eligiusza Jędrzejca (Kowalski, 2016). Jego początki sięgają roku 1972, kiedy powstało pierwsze oprogramowanie Szkody ver. 1 dla maszyn cyfrowych Odra 1204. Następne wersje zostały napisane dla mikrokomputerów, których rozwój stwarzał coraz większe możliwości obliczeniowe (Jędrzejec, 2008). Obliczenia wykonywane są na podstawie wzorów z teorii Knothego-Budryka. System Szkody jest systemem zintegrowanym. Stanowi jeden program, w którym dokonuje się edycji danych, obliczeń i wyników. Dwa pomocnicze programy umożliwiają wykonywanie map izolinii wskaźników deformacji.

W polskim górnictwie podziemnym do prognoz deformacji górotworu i powierzchni wykorzystywane są również programy EDBJ-OPN autorstwa Białka (2003) oraz program Modez autorstwa Hejmanowskiego i Kwinty (2008). Programy komputerowe do prognozowania deformacji opracował także Ścigała (2008) – program DEFK-Win i Niemiec (2012) – program EXPLON.

6.2.3. Nieustalone deformacje powierzchni

Deformacje nieustalone, albo chwilowe (zależne od czasu), prognozuje się na podstawie postulowanego równania określającego prędkość obniżenia (Knothe, 1953b)

$$\frac{dw(t)}{dt} = c[w_k(t) - w(t)] \quad (6.2.6)$$

gdzie:

- c – niezależny od czasu stały współczynnik proporcjonalności, nazywany współczynnikiem czasu, charakteryzujący prędkość przejścia wpływów przez górotwór,
- $w_k(t)$ – obniżenie ustalone (asymptotyczne) spowodowane eksploatacją pola o kształcie, jak w chwili t ,
- $w(t)$ – obniżenie punktu w chwili t ,
- t – czas liczony od rozpoczęcia eksploatacji.

W teoretycznym przypadku natychmiastowego wybrania części pokładu, tj. gdy $w_k(t) = w_k = \text{const}$, rozwiązanie równania (6.2.6) dla wartości początkowej $w(0) = 0$ ma postać

$$w(t) = w_k(1 - e^{-ct}) \quad (6.2.7)$$

Drugi czynnik we wzorze (6.2.7) jest funkcją czasu Knothego, która ma postać

$$T(t) = 1 - e^{-ct} \quad (6.2.8)$$

Funkcję (6.2.8) zaproponowano, kiedy eksploatację górnictwem prowadzono frontami ścianowymi z małymi prędkościami do 2,5 m/dobę, najczęściej w górotworze nienaruszonym wcześniejszą eksploatacją, oraz kiedy (co miało najistotniejsze znaczenie) dysponowano pomiarami deformacji wykonywanymi w odstępach czasu znacznie dłuższych niż jeden dzień, bo co kwartał lub co pół roku.

Według Knothego (1984) wartości współczynnika c w warunkach polskich zagłębi węglowych wahały się od 0,5 do 7,0 rok⁻¹.

Późniejsze badania (Białek, 1991), w których uwzględniono również wpływ obrzeża na wartość obniżen $w_k(t)$ w równaniu (6.2.6), pokazały, że wartość parametru c może być wielokrotnie większa i zależna od głębokości eksploatacji, odległości punktu obliczeniowego od frontu eksploatacyjnego, postępu frontu ścianowego i właściwości górotworu. Aby uwzględnić te zależności Białek zaproponował stosowanie w równaniu (6.2.6), zamiast wartości $c = \text{const}$, funkcji czasu w postaci $c(t) = C_1 + C \, dw_k(t)/dt$. Zastosowanie tej funkcji ogranicza wynikający z równania (6.2.6), niepotwierdzony pomiarami, wpływ postępu frontu ścianowego na kształt niecek obniżeniowych. Wykorzystując wyniki dla niecek obniżeniowych we wczesnym stadium ich rozwoju Kowalska-Kwiatkowska (2008) zaproponowała rekurencyjny algorytm obliczania deformacji nieustalonych, co było kolejnym krokiem w stosowaniu w praktyce rozwiązań Białka.

Prowadzone w ostatnich dwudziestu pięciu latach pomiary obniżen powierzchni w odstępach jednodniowych, a nawet kilkugodzinnych, pozwoliły na uogólnienie funkcji (6.2.8) do postaci (Kowalski, 2007, 2015)

$$T(t) = \Theta(t)q(t) \quad (6.2.9)$$

gdzie zasadnicza funkcja czasu Θ ma postać

$$\Theta(t) = 1 - \sum_{i=1}^n A_i \exp[-c_i t] \quad (6.2.10)$$

a funkcję pomocniczą q określono wzorem

$$q(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 & t \geq 0 \end{cases} \quad (6.2.11)$$

gdzie:

- t – czas upływający od chwili wybrania elementu pokładu,
- A_i, c_i – parametry równania, przy czym c_i jest współczynnikiem czasu i -tego składnika wykładniczego,
- n – liczba składników wykładniczych,
- $0 < A_i \leq 1$ – udział i -tego składnika A_i wpływów eksploatacji elementarnej o współczynniku czasu c_i .

Aby funkcja $\Theta(t)$ nie przyjęła wartości ujemnej, współczynniki A_i muszą podlegać ograniczeniu

$$A = \sum_{i=1}^n A_i \leq 1 \quad (6.2.12)$$

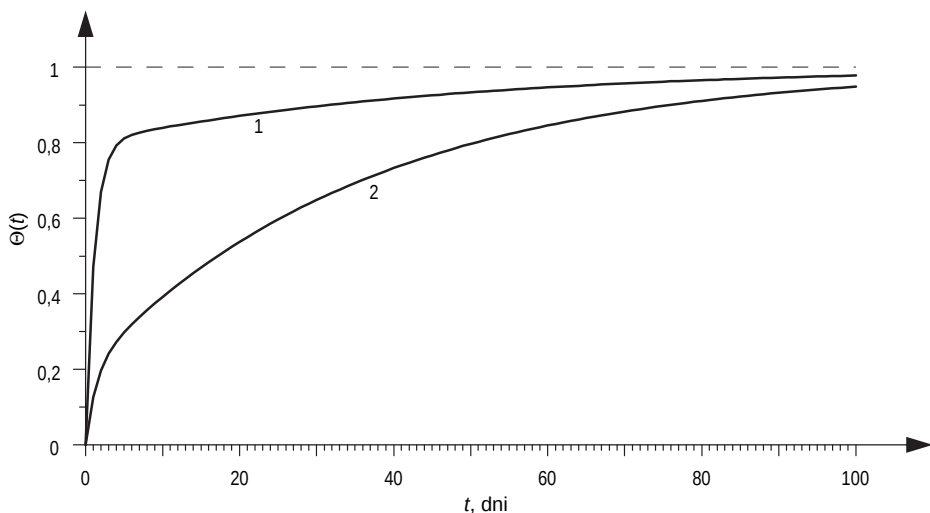
Uogólniona funkcja czasu (6.2.9) jest rozwinięciem funkcji czasu Knothego i jest analogiczna do funkcji pełzania modeli reologicznych (Gruchlik, 2003; Kwiatek, 2007), gdy:

- $A_1 = 1, A_2 = 0, c_1 = c$, wówczas jednym parametrem jest parametr c ; jest to funkcja Knothego (6.2.8), (model Kelvina),
- $A_1 = A, A_2 = 0, c_1 = c$, wówczas są dwa parametry A i c (model Zenera),
- $n = 2$, parametrami są $A = A_2 < 1, c_1$ i c_2 , przy czym $A_1 = 1 - A_2$; dla tego modelu zasadnicza funkcja czasu Θ ma postać (dwuelementowy, szeregowy model Kelvina)

$$\Theta(t) = 1 - A_1 \exp(-c_1 t) - A_2 \exp(-c_2 t) \quad (6.2.13)$$

- $A_i = 0$ lub $c_i = \infty, T(t) = 1$, funkcja oddziaływań natychmiastowych.

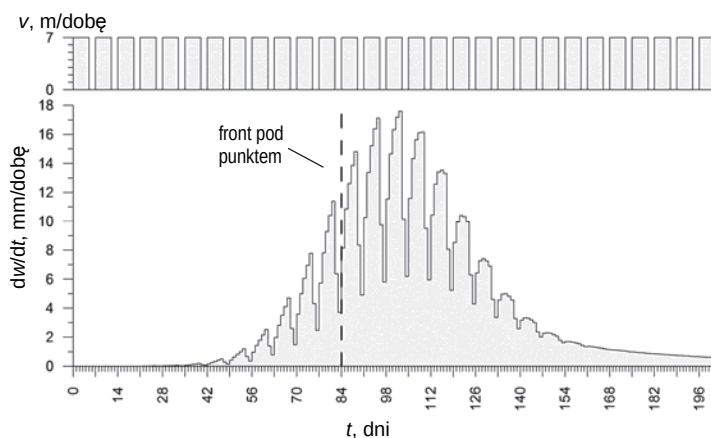
Kształt uogólnionej funkcji czasu (narastania zestandaryzowanych obniż) dla dwóch rodzajów górotworu przedstawiono na rysunku 6.2.2. Wynika z niego, że w górotworze słabym zasadnicza część wpływów (około 80%) ujawnia się w czasie około kilku dni po dokonaniu eksploatacji; w górotworze mocnym w tym samym czasie ujawnia się około 30% wpływów końcowych (rys. 6.2.2). Podział górotworu karbońskiego na dwa rodzaje przeprowadzono według następującego schematu:



Rys. 6.2.2. Wykresy dwuelementowej funkcji czasu (6.2.13) dla dwóch rodzajów górotworu karbońskiego: 1 – słabego, 2 – mocnego (Kowalski, 2007)

- górotwór mocny, w którym przeważają piaskowce nad iłowcami lub występują grube ławy piaskowców,
- górotwór słaby, w którym iłowce przeważają nad piaskowcami lub występują gęsto warstwowane iłowce i górotwór wielokrotnie naruszony wcześniejszą eksploatacją.

Do przykładu prognozy nieustalonego obniżenia dla eksploatacji z przerwami wybrano punkt obliczeniowy P na powierzchni, zlokalizowany nad środkiem ściany eksploatacyjnej, o następujących wymiarach: długość 400 m, wybieg 1200 m (Kowalski, 2007). Prognozę wykonano dla głębokości eksploatacji $H = 500$ m i parametrów teorii niecki ustalonej wynoszących: $w_{\max} = 1,0$ m, $\text{tg}\beta = 2,0$ i obrzeża eksploatacyjnego równego 50 m oraz parametrów funkcji czasu (6.2.13): $A = 0,26$ ($A_1 = 0,74$), $c_1 = 230$ rok⁻¹, $c_2 = 7$ rok⁻¹. Założono, że eksploatacja będzie prowadzona frontem niejednostajnym, z przerwami sobotnio-niedzielnymi (górna część rys. 6.2.3). W dni robocze prędkość frontu jest stała i wynosi 7,0 m/dobę. Zamodelowane prędkości obniżenia punktu przedstawiono w dolnej części rysunku 6.2.3.



Rys. 6.2.3. Prognozowana prędkość obniżenia punktu (dolny wykres) z zastosowaniem funkcji (6.2.13); górny wykres przedstawia niejednostajną prędkość frontu $v = 7$ m/dobę z przerwami sobotnio-niedzielnymi (Kowalski, 2007)

Prognozowane prędkości obniżenia punktu potwierdzają obserwowane w praktyce dwa zasadnicze okresy ujawniania się wpływów:

- prawie natychmiastowy, spowodowany ruchem skał otaczających wyrobisko eksploatacyjne, zależny od wartości parametrów funkcji A_1 i c_1 (6.2.13),
- opóźnione ujawnianie się deformacji górotworu (w znacznie dłuższym czasie niż okres ujawniania się wpływów prawie natychmiastowych), zależne od wartości parametrów funkcji A_2 i c_2 .

W analogiczny sposób „drgający”, jak na rysunku 6.2.3, narastają pozostałe wskaźniki deformacji – nachylenia, krzywizny oraz przemieszczenia i odkształcenia poziome.

Nowym pomysłem w opisie deformacji nieustalonych zaproponowanym przez Hejmanowskiego (2013) jest zastąpienie współczynnika czasu c wartościami, które powinny być charakterystyczne dla danych lokalnych właściwości górotworu i być tzw. globalnym współczynnikiem czasu, który ma postać wyrażoną wzorem (6.2.14). Uwzględnia on nie tylko opóźniające właściwości górotworu, w sensie górotworu nadległego nad złożem: (...) *ale także pozostałe efekty opóźniające, które opisano w wielostopniowych funkcjach czasu (np. Sroki-Schobera, modelu „pozornego czasu eksploatacji”, modelu Kowalskiego* (Hejmanowski, 2013, s. 83)

$$c = \alpha \zeta \nu / \zeta \nu + \alpha \nu + \alpha \zeta, \text{ rok}^{-1} \quad (6.2.14)$$

gdzie:

- α – intensywność prowadzenia eksploatacji,
- ζ – opóźnienie w konwergencji wyrobiska,
- ν – opóźnienie kształtowania się pola przemieszczeń na dowolnym horyzoncie w górotworze lub na powierzchni terenu.

Parametry ze wzoru (6.2.14), dla czterech różnych kopalin, zamieszczono w tabeli 6.2.1. Dane zostały uaktualnione na podstawie doświadczeń Hejmanowskiego.

Tabela 6.2.1. Wartości globalnego współczynnika czasu dla typowej eksploatacji (Hejmanowski, 2013)

Kopalina	α rok ⁻¹	ζ rok ⁻¹	ν rok ⁻¹	c rok ⁻¹
Węgiel kamienny	25,0	20,0 30,0	500,0	11,0 13,3
Rudy miedzi	2,0	0,5 2,0	200,0	0,4 1,0
Sól	2,0	0,02 0,01	150	0,02 0,01
Ropa naftowa, gaz, woda	0,4	0,14	150,0	0,1

W komentarzu do przedstawionego modelu kształtowania się deformacji w funkcji czasu można zauważyć, że może on być szczególnie przydatny do opisu nieustalonych deformacji złóż fluidalnych (ropa naftowa, gaz, woda).

6.3. Parametry teorii Knothego-Budryka

6.3.1. Parametry dla niecek ustalonych

Podstawowymi parametrami teorii Knothego-Budryka są:

- współczynnik eksploatacyjny a ,
- parametr górotworu $\text{tg}\beta$ nazywany parametrem rozproszenia wpływów lub parametrem zasięgu głównych wpływów.

Współczynnik eksploatacyjny charakteryzuje sposób eksploatacji i likwidacji przestrzeni poeksploatacyjnej. Definiowany jest jako stosunek największego obniżenia niecki pełnej lub nadpełnej do średniej grubości eksploatowanego pokładu

$$a = \frac{W_{\max}}{g} \quad (6.3.1)$$

Parametry teorii należy wyznaczać na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych deformacji w danym rejonie lub w rejonie o podobnych warunkach geologiczno-górnictwowych. Najlepiej parametry te wyznaczać na podstawie ich definicji, pod warunkiem, że zaobserwowano odpowiednie wskaźniki deformacji na liniach pomiarowych nad dużymi polami eksploatacyjnymi. Obecnie, kiedy większość niecek obniżeniowych to niecki niepełne, parametry teorii wyznacza się za pomocą metody kolejnych przybliżeń, przy założonych różnych kombinacjach parametrów, z wykorzystaniem metody najmniejszych kwadratów, kierując się głównie najmniejszymi wartościami odchylenia standardowego obliczonego obniżenia od pomierzonej wartości.

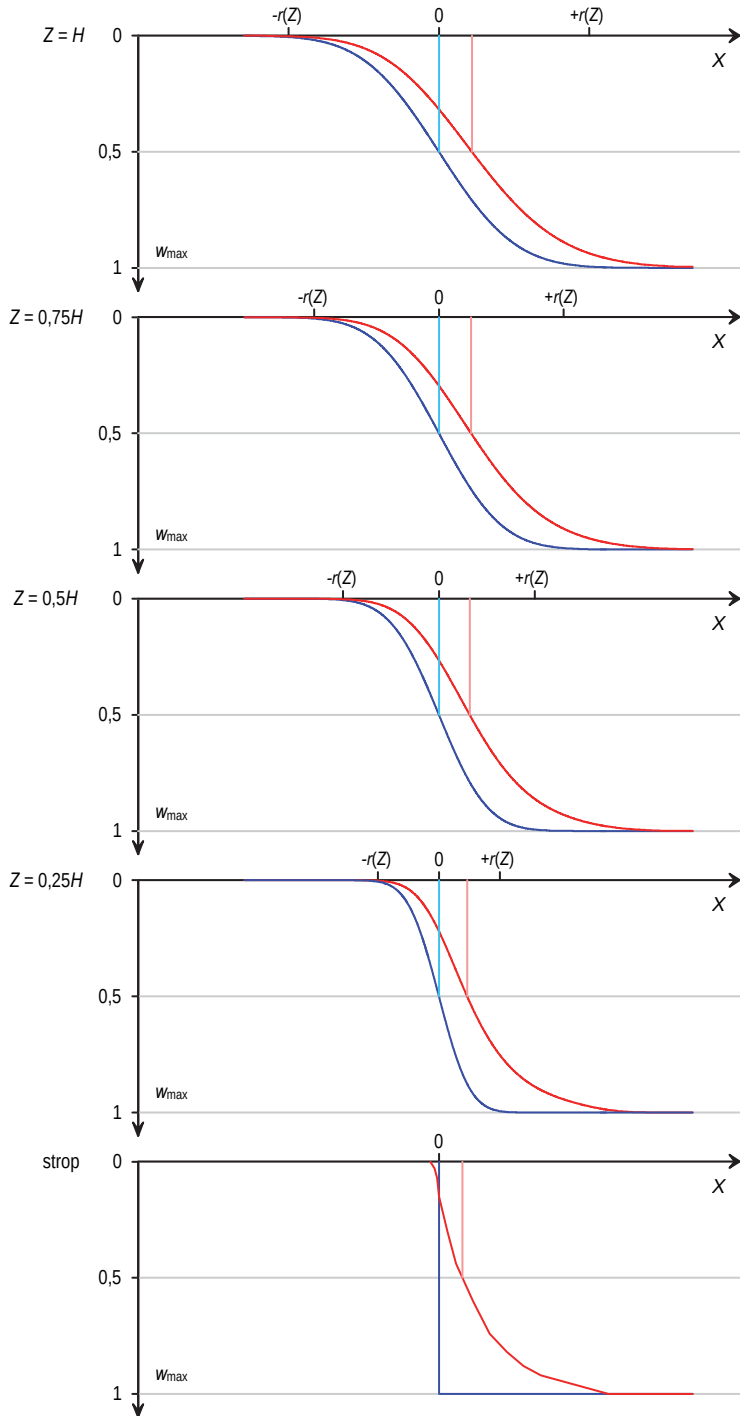
Z teoretycznych analiz kształtowania się współczynnika eksploatacyjnego prowadzonych przez Niemca (2011), a głównie obserwacji z praktyki wynika, że jego wartości mieszczą się w przedziale od 0,48 do 1,06, a maksimum gęstości prawdopodobieństwa występuje dla $a = 0,77$.

Parametr $\text{tg}\beta$ charakteryzuje właściwości górotworu położonego nad eksploatacją. Dla górotworu zbudowanego z warstw zwięzłych zasięg wpływów jest na ogół większy, a nachylenie zbocza niecki obniżeniowej łagodniejsze, natomiast dla górotworu zbudowanego z warstw mało zwięzłych zasięg wpływów jest mniejszy, a nachylenie zbocza niecki bardziej strome ($\text{tg}\beta$ jest większy niż w pierwszym przypadku). Parametr $\text{tg}\beta$ zmienia się także wraz z krotnością prowadzonej eksploatacji górniczej; nad wyeksploatowaną przestrzenią wzrasta, a nad calizną maleje (zasięg wpływów wzrasta).

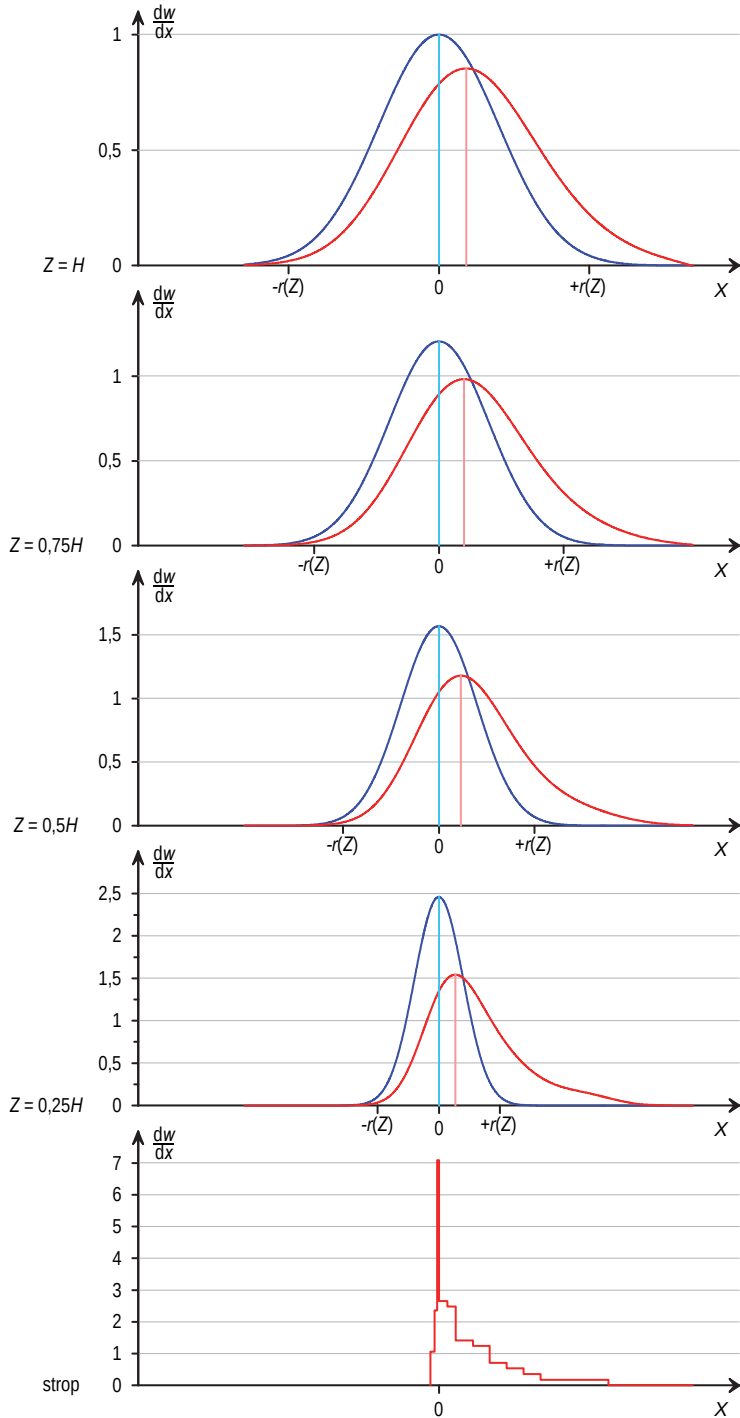
Obrzeże eksploatacyjne nie jest pierwotnym parametrem teorii, jednak w szczegółowych prognozach jest uwzględniane w sposób geometryczny lub

Rys. 6.3.1. Parametry teorii Knothea-Budryka $tg\psi$ i obrzeża eksploatacyjnego p z profilu niecki obniżeniowej położonej nad eksploatacją w kształcie półpłaszczyzny: $tg\psi = T_{max}$, r – promień rozproszenia wpływów, H – głębokość pokładu, 1 – niecka obniżeniowa na powierzchni, 2 – profil ugięcia niecki w stropie eksploatowanego pokładu, 3 – zastępczy progowy profil niecki w stropie eksploatowanego pokładu (Kwiatk, 1998)

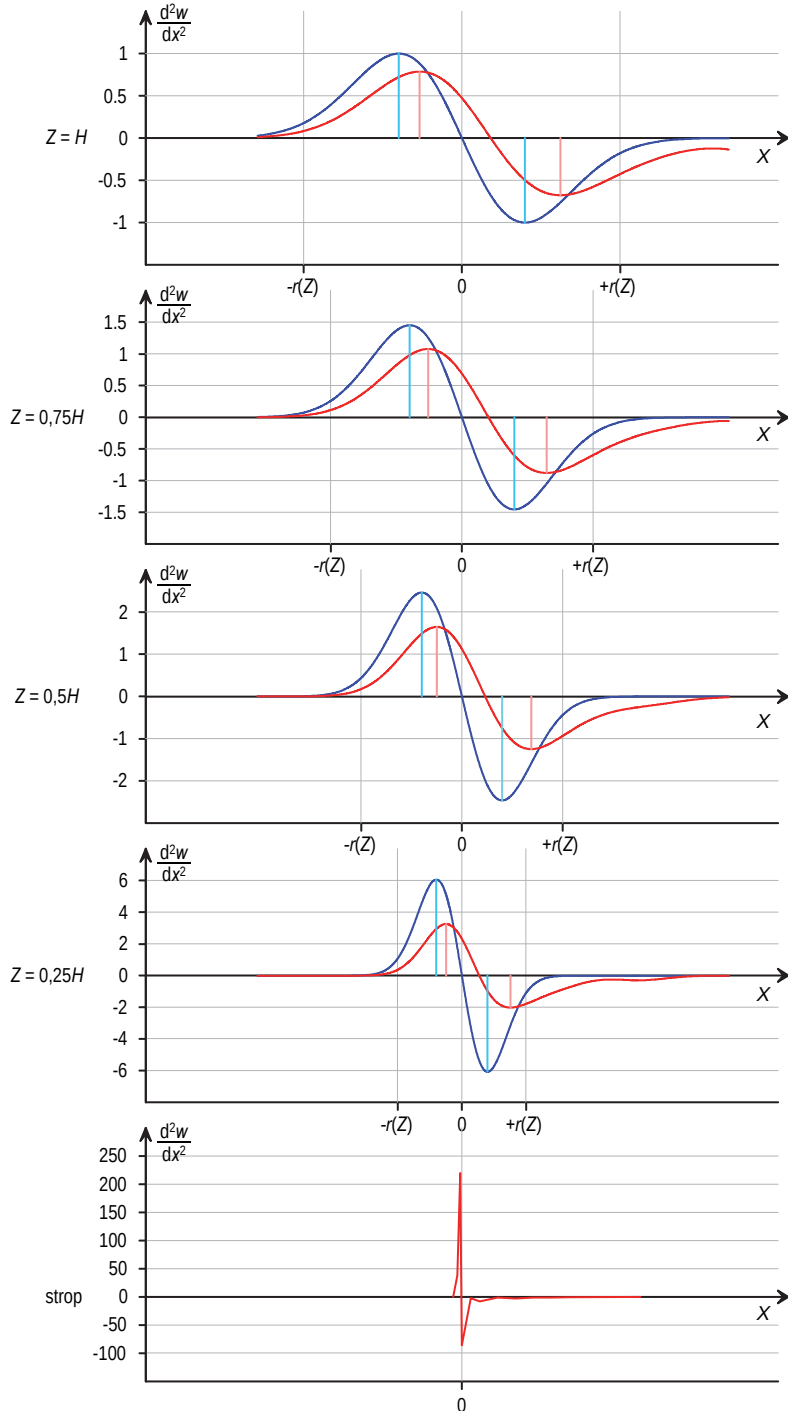
197



Rys. 6.3.2. Rozkład obniżień w górotworze dla progowego i asymetrycznego warunku brzegowego; kolorem czerwonym zaznaczono asymetryczny warunek brzegowy, kolorem niebieskim – progowy (Jędrzejec, 1991)



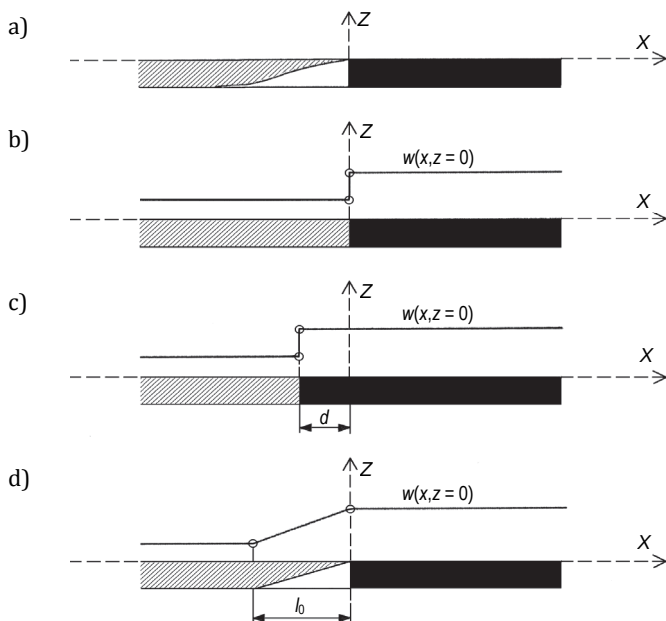
Rys. 6.3.3. Rozkład nachyleń w górotworze dla progowego i asymetrycznego warunku brzegowego; kolorem czerwonym zaznaczono asymetryczny warunek brzegowy, kolorem niebieskim – progowy (Jędrzejec, 1991)



Rys. 6.3.4. Rozkład krzywizn w górotworze dla progowego i asymetrycznego warunku brzegowego; kolorem czerwonym zaznaczono asymetryczny warunek brzegowy, kolorem niebieskim – progowy (Jędrzejec, 1991)

W praktyce obserwuje się większe wartości tych wskaźników niż wynikałoby z obliczeń teoretycznych, nawet przy stosowaniu niecek progowych; dla nachyleń o kilkanaście procent, a dla krzywizn o około 50% (Kowalski, 2015). W rejonie krawędzi eksploatacyjnej wartość nachylenia dla progowej niecki stropowej przyjmuje wartość nieskończoną, dla niecki asymetrycznej – wartość skończoną, ale bardzo dużą (rys. 6.3.3).

Białek i Pomykoł (2004) do poprawy prognoz deformacji powierzchni proponują zastąpienie kształtu linii ugięcia stropu w postaci obrzeża funkcją liniową (rys. 6.3.5). Nowym parametrem w tym modelu jest l_s – długość linii ugięcia stropu. Według tych autorów: *Profile niecek uzyskane – dla półpłaszczyzny z uwzględnieniem skorygowanej wartości parametru r są bardzo podobne do profilu niecek obliczonych z uwzględnieniem obrzeża eksploatacyjnego, zapewniając jednocześnie zasadniczą poprawę opisu niepełnych niecek obniżeniowych* (Białek i Pomykoł, 2004, s. 42).



Rys. 6.3.5. Warunek brzegowy przyjmowany do obliczeń:
a – rzeczywisty kształt, b – funkcja Heaviside'a, c – funkcja Heaviside'a z obrzeżem,
d – proponowana funkcja liniowa (Białek i Pomykoł, 2004)

Sposób operatorowego opisu efektu obrzeża był przedmiotem wielu prac (np. Dżegniuk, 1975; Greń, 1981; Zych, 1987; Białek, 1991, 2003). Rozwiązanie zaproponowane przez Zycha (rys. 6.3.6) opisuje obniżenie jako sumę obniżeń liniowych obliczonych z wykorzystaniem teorii geometryczno-całkowej, na przykład Knothe'go i nieliniowej poprawki, której wartość jest proporcjonalna do kwadratu nachy-

6.4. Dokładność i trafność prognoz deformacji powierzchni

6.4.1. Dokładność prognoz

„Na rynku” jest kilka metod opisu deformacji, które odbiegają od pierwotnych założeń i wzorów teorii Knothego-Budryka. Jeśli metoda obliczeń jest udokumentowana wcześniej wynikami obserwacji i stosowana dla analogicznych warunków, można ją akceptować, nie jest to jednak w klasycznym rozumieniu teoria Knothego-Budryka.

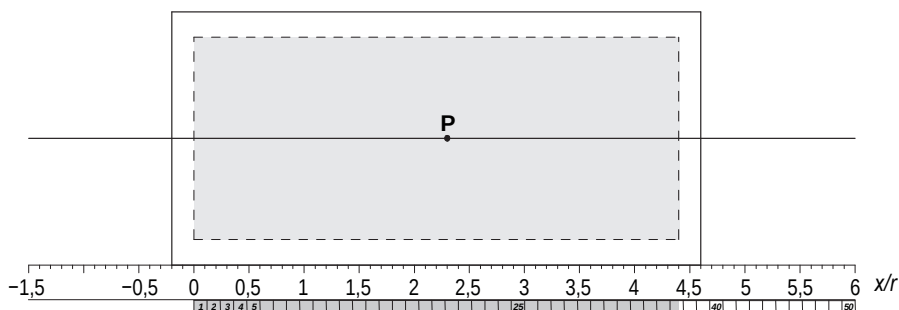
Ważniejsze dla praktyki jest to, że stosowane do obliczeń prognostycznych parametry, które są przyjmowane *a priori*, albo uzyskane wcześniej z innych pomiarów, w nowych metodach mają inne wartości. Podobnie jest wówczas, gdy wyznaczone parametry, według innych zasad niż dla niecek pełnych, są stosowane do obliczeń według wzorów teorii Knothego-Budryka. Wartości parametrów wyznaczone z wykorzystaniem metody najmniejszych kwadratów i metod klasycznych z maksymalnych wartości dla niecek pełnych mogą się różnić.

Powstaje pytanie, z jakim błędem przyjęto parametry teorii (metody) do prognozy i z jakim błędem wykonano prognozę deformacji? Następnie, z jakim prawdopodobieństwem jest określone przekroczenie średniej wartości prognozowanych wskaźników deformacji? Dokładność (odchylenie standardowe) prognozy deformacji w dużym stopniu zależy od niepewności oceny parametrów, dlatego przeprowadzono jego modelowanie dla złożonych dwóch grup odchyleń standardowych parametrów teorii (α , $\text{tg}\beta$ i obrzeża p). Na dokładność prognozy mają też wpływ inne czynniki, takie jak: grubość wybieranego pokładu, głębokość, nachylenie, które najczęściej uśrednia się.

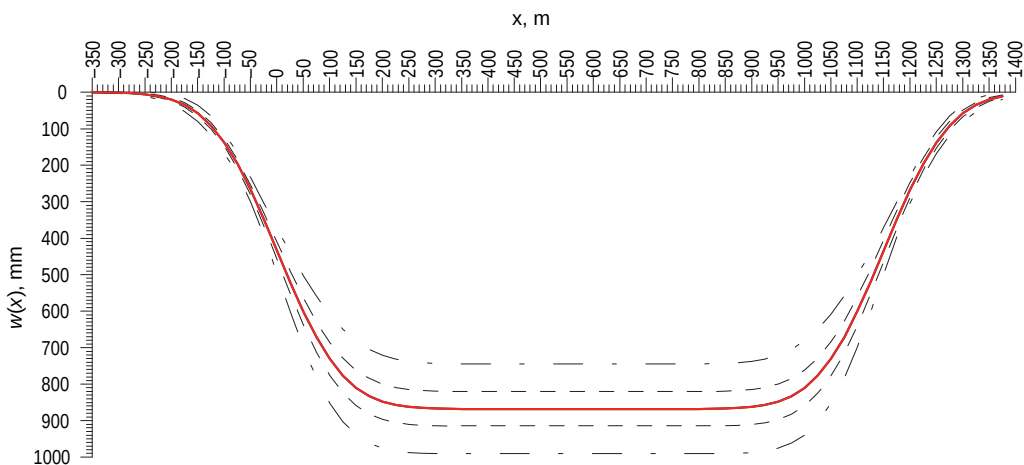
Dla schematu eksploatacji (rys. 6.4.1) wykonano obliczenia (modelowanie matematyczne) błędu prognozy obniżień. Przyjęto następujące dane dotyczące eksploatacji prowadzonej frontem ścianowym: długość 400 m, wybieg 1200 m. Do analizy wybrano lokalizację przekroju i punkt obliczeniowy P, które przedstawiono na rysunku 6.4.1.

Modelowanie wykonano dla głębokości eksploatacji $H = 500$ m i parametrów teorii wynoszących: $w_{\max} = 1,0$ m, $\text{tg}\beta = 2,0$ oraz obrzeża eksploatacyjnego równego 50 m. Do prognozy przyjęto dwie grupy błędów średnich parametrów, wynoszące dla grupy 1: $\sigma_{\alpha} = \pm 0,04$, $\sigma_{\text{tg}\beta} = \pm 0,1$ i $\sigma_p = \pm 0,1p$, a dla grupy 2: $\sigma_{\alpha} = \pm 0,1$, $\sigma_{\text{tg}\beta} = \pm 0,3$ i $\sigma_p = \pm 0,1p$.

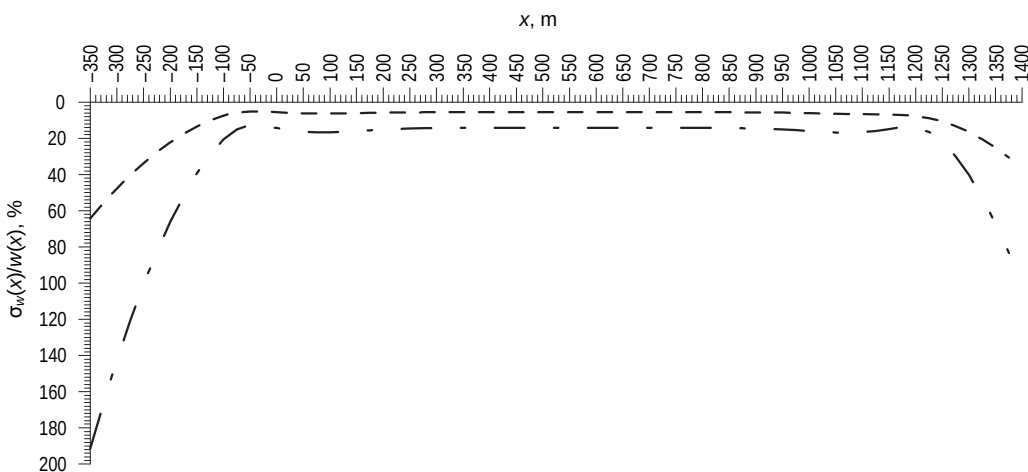
Wyznaczony błąd średni prognozy obniżień dla ustalonej niecki obniżeniowej wzdłuż linii przekroju przedstawiono na rysunku 6.4.2, a współczynnik zmienności dla obydwu grup odchyleń standardowych parametrów – na rysunku 6.4.3. Z rysunków 6.4.2 i 6.4.3 wynika, że:



Rys. 6.4.1. Schemat eksploatacji, jej etapów (1-38) oraz wybranego do analizy przekroju obliczeniowego (Kowalski, 2007)



Rys. 6.4.2. Niecki obniżeniowe z zaznaczonymi wstęgami odchyłek standardowych dla dwóch grup odchyłek standardowych parametrów (Kowalski, 2007)



Rys. 6.4.3. Współczynnik zmienności dla ustalonej niecki obniżeniowej dla obydwu grup odchyłek standardowych parametrów (Kowalski, 2007)

- największe odchylenia standardowe obniżeń wystąpiły w rejonie dna niecki i wynosiły dla dwóch grup błędów 50 i 145 mm, a współczynniki zmienności 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 w praktyce nie ma istotnego znaczenia, bo w tym rejonie niecki obniżenia są małe.

Dokładność prognozy dla ekstremalnych obniżeń dla niecki pełnej dla $w_{\max} = 1,0$ m i nachyleń, poziomych odkształceń i krzywizn, oszacowano dla ich maksymalnych wartości, jakie występują w przypadku eksploatacji w kształcie półpłaszczyzny, przy założeniu, że grubość oszacowano z błędem 0,1 m, a głębokość pokładu określono bezbłędnie, według wzorów:

$$\frac{\sigma_{w_{\max}}}{w_{\max}} = \sqrt{\sigma_g^2 a^2 + \sigma_a^2 g^2} \quad (6.4.1)$$

$$\frac{\sigma_{T_{\max}}}{T_{\max}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\text{tg}\beta}}{\text{tg}\beta}\right)^2} \quad (6.4.2)$$

$$\frac{\sigma_{K_{\max}}}{K_{\max}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^2 + \left(2 \frac{\sigma_{\text{tg}\beta}}{\text{tg}\beta}\right)^2} \quad (6.4.3)$$

$$\frac{\sigma_{\epsilon_{\max}}}{\epsilon_{\max}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^2 + \left(2 \frac{\sigma_{\text{tg}\beta}}{\text{tg}\beta}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\lambda}}{\lambda}\right)^2} \quad (6.4.4)$$

Przyjmując wartości odchyłeń standardowych parametrów zamieszczonych powyżej i odchylenia standardowego współczynnika wielkości ruchów poziomych $\lambda = B/r$ dla górotworu nienaruszonego $\sigma_{\lambda} = 0,02$ i naruszonego wcześniejszą eksploatacją $\sigma_{\lambda} = 0,04$, wartości obliczone za pomocą wzorów (6.4.1)–(6.4.4) przedstawiono w tabeli 6.4.1.

Tabela 6.4.1. Współczynniki zmienności wskaźników $w_{\max}$, $T_{\max}$, $K_{\max}$, $\epsilon_{\max}$

Grupa parametrów	$\sigma_{w_{\max}}/w_{\max}$	$\sigma_{T_{\max}}/T_{\max}$	$\sigma_{K_{\max}}/K_{\max}$	$\sigma_{\epsilon_{\max}}/\epsilon_{\max}$
1	0,09	0,07	0,11	0,13
2	0,15	0,20	0,33	0,35

Wartości współczynników zmienności tych wskaźników dla obniżeń wynoszą 9,0% i 15%, a największe są współczynniki zmienności krzywizny (od 11% do 33%) i odkształcenia poziomego (od 13% do 35%).

W nawiązaniu do przedstawionej oceny dokładności wyznaczania wskaźników deformacji należy przywołać prace prowadzone na Politechnice Śląskiej przez Białka i Mierzejowską. W oparciu o pracę doktorską Mierzejowskiej (2010) opracowali oni algorytmy do oceny dokładności wyznaczonych parametrów teorii: α , $\tan \beta$ oraz obrzeża, stosując do opisu obniżień wzór Białka (Białek i Mierzejowska, 2012; Mierzejowska, 2014).

Parametry teorii wyznacza się z wykorzystaniem metody najmniejszych kwadratów z użyciem programu komputerowego TGB. Do określania błędów średnich parametrów stosuje się metodę polegającą na wyznaczaniu składowych macierzy wariancyjno-kowariancyjnej, opartych na wartościach pochodnych cząstkowych obniżień względem wartości kolejnych parametrów. Z przeprowadzonych analiz wynikają ważne wnioski, że wartości błędów wyznaczonych parametrów zależą od liczby punktów pomiarowych, głębokości eksploatacji, usytuowania linii pomiarowej względem pola eksploatacyjnego i od rozmiarów pola eksploatacyjnego. Kowalski i Jędrzejec (2015) natomiast przeanalizowali wpływ rozproszenia losowego obniżień na określanie nachyleń i krzywizn z odcinków linii pomierzonej i określili przedziały ufności tych fluktuacji.

6.4.2. Trafność prognoz

Popiołek (2009) wymienił trzy zasadnicze przyczyny rozbieżności między prognozą, a pomiarem deformacji:

1. Niezrealizowanie założeń projektu eksploatacji, tj. inny niż zakładano zakres eksploatacji (kształt i wielkość pola), inna grubość wybieranego pokładu, a także sposób likwidacji przestrzeni poeksploatacyjnej.
2. Czynniki losowe wynikający z rozproszenia przebiegu wskaźników deformacji wokół średniej wartości (przeciętnej).
3. Błąd teorii wynikający z nieadekwatności modelu prognostycznego do rzeczywistości.

Ad 1. Zmiana projektu eksploatacji jest jedną z głównych przyczyn rozbieżności prognoz z obserwacjami deformacji i może powodować istotne różnice, dlatego należy ją eliminować, poprawiając prognozę (wykonując nową) dla aktualnego (zweryfikowanego) projektu eksploatacji.

Ad 2. Teorie geometryczno-całkowe do opisu i prognozowania wskaźników deformacji zakładają, że górotwór jest idealny (tzn. jednorodny i ciągły) i odkształca się w sposób ciągły, co oznacza, że deformacje opisywane są ciągłymi funkcjami czasu i położenia rozpatrywanych punktów. W praktyce sprawdza się to w niewielkim zakresie wskaźników deformacji, w gra-

nicach do II, a czasami nawet do I kategorii terenu górniczego (Kwiatk, 2007). Z tego powodu, określony pomiarami rozkład deformacji powierzchni charakteryzuje się naturalnym rozproszeniem losowym względem jakiegoś przeciętnego przebiegu teoretycznego, który wyznacza się z pomiarów (Popiołek, 1976). Należy zaznaczyć, że sposób wyznaczania przeciętnego przebiegu nie jest znormalizowany. Często opisuje się go za pomocą wzorów teorii dla wyznaczonych *a posteriori* parametrów. Wyznaczone wówczas odchyłki między zmierzonymi, a obliczonymi wskaźnikami deformacji, świadczą tylko o poprawności modelu zastosowanego do obliczeń i jego parametryzacji.

Dla obniżeń i przemieszczeń poziomych porównanie prognozowanych i zmierzonych wartości jest prostsze niż pozostałych wskaźników, gdyż są określane w punktach zarówno w prognozie, jak i w pomiarach. Kontrola pozostałych wskaźników: nachyleń (T), odkształceń poziomych (ϵ) i krzywizn pionowych (K), które za pomocą pomiarów są określane na odcinkach wzdłuż linii pomiarowych, nie jest jednoznaczna. Wyniki pomiarów T , ϵ i K zależą zarówno od odległości między punktami, jak i od kierunku odcinka, dla którego są wyznaczane. Dla baz pomiarowych 25 m i większych można pomijać wpływ błędów pomiarów (wysokości i zmian długości) na określanie wartości wskaźników. Wówczas w obrazie obserwowanych deformacji znaczenie może mieć rozproszenie losowe wskaźników deformacji, przy założeniu, że na długości parametru promienia rozproszenia wpływów r (parametr w teorii Knothego-Budryka) znajduje się co najmniej osiem baz pomiarowych (Popiołek, 1976, 1977).

Ad 3. Prognozy deformacji sporządza się dla znanego projektu eksploatacji, jego zakresu – kształtu i wymiarów parcel eksploatacyjnych. Zakłada się, że dane te są bezbłędne. W czasie realizacji projektu eksploatacji najczęściej może zmieniać się grubość eksploatowanej parceli (w dalszych rozważaniach zakłada się niezmienność kształtu i rozmiarów parcel). Także parametry teorii (w teorii Knothego-Budryka a , $\text{tg}\beta$, B) mogą różnić się od deformacji wyznaczonych później na drodze matematycznego modelowania, czyli wyznaczania parametrów na podstawie wyników pomiarów. Jeśli założy się, że nieadekwatność modelu jest do pominięcia, to odchyłki między prognozą *a priori*, a wykonanymi obliczeniami *a posteriori* (dla wyznaczonych parametrów) charakteryzują odchyłki prognozy, ze względu na niedokładność parametrów. Taki sposób kontroli prognoz jest proponowany przez Popiołka (2006), przy czym średnie wartości rozkładu deformacji wyznacza się, stosując funkcje aproksymacyjne. W sposobie tym „poprawiamy” wyniki pomiarów wskaźników deformacji przez ich wygładzanie.

Porównywanie deformacji zmierzonych z obliczonymi *a posteriori*, dla wyznaczonych parametrów teorii, na podstawie wyników pomiarów i danych geologicznych i górniczych, nie jest równoznaczne z kontrolą prognozy.

W Głównym Instytucie Górnictwa, przy wykonywaniu ekspertyz, a także w ramach prac badawczych, są porównywane prognozy wskaźników deformacji ze wskaźnikami zmierzonymi później po zakończeniu eksploatacji górniczej (sic!). Porównanie wskaźników deformacji przedstawiono w tabeli 6.4.2.

Efektem porównania wskaźników deformacji było określenie odchyłek względnych dla ekstremalnych wskaźników deformacji na liniach pomiarowych według wzoru (Kaszowska, Kowalski i Kwiatek, 2009; Kowalski, 2015)

$$\theta_D = \frac{D_{\text{prog}} - D_{\text{obs}}}{D_{\text{obs}}} 100\% \quad (6.4.5)$$

gdzie:

θ_D – jest 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 obniżień 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 obniżień 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 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 0,68%, a o 28% z prawdopodobieństwem 0,95%.

Tabela 6.4.2. Odchyłki względne prognozy ekstremalnych wskaźników deformacji w analizowanych przypadkach (Kowalski, 2015)

Lp.	Kopalnia (zakład górniczy), pokład, nr ściany, nazwa lub nr linii pomiarowej, rejon obserwacji	θ_w	θ_r	$\theta_{\epsilon+}$	$\theta_{\epsilon-}$	θ_{K+}	θ_{K-}
1	Kazimierz-Juliusz w. V, śc. 255-257, linia 1	-5,5	-17,5	10,3	-27,4	-31,8	-38,4
2	Kazimierz-Juliusz w. IV, śc. 246-247, linia 1	-8,1	-28,6	-13,1	-37,9	-58,8	-59,2
3	Kazimierz-Juliusz w. III, śc. 236-237, linia 1	-22,6	-44,7	-9,5	-21,2	-69,9	-67,0
4	Kazimierz-Juliusz w. II, śc. 226, linia 1	-1,4	-36,1	20,4	88,8	-65,2	-50,2
5	Staszic, pokł. 352, śc. 1002, ul. Leśna 2, skrzydło E	11,9	11,7	65,5	50,0	-15,8	-29,8
6	Staszic, pokł. 352, śc. 1003, ul. Leśna 3, skrzydło W	1,8	-17,1	67,5	-11,7	-34,3	-54,7
7	Staszic, pokł. 352, śc. 1003, ul. Leśna 3, skrzydło E	-34,5	-49,6	11,7	-2,9	-64,1	-53,8
8	Pniówek, pokł. 404/2, śc. S-2, linia W-E	-18,0	-57,3	-37,5	-46,9	-62,5	-65,5
9	Halemba, pokł. 506, śc. 1, linia N-S	13,0	58,9	25,9	-11,2	-	-
10	Mysłowice, pokł. 501, śc. 1501, linia N-S	39,8	-16,1	-10,4	3,1	-	-
11	Knurów, pokł. 405/1, śc. 23, 24, linia NW-SE	-0,5	6,0	-14,8	-15,5	-50,0	-38,8
12	Nowy Wirek, pokł. 504, śc. 1-4, linia nr 8-8	22,9	20,7	-	-	-48,9	-69,1
13	Pokój, pokł. 507, śc. 1-7, ul. 1-Maja	-8,7	-26,3	-	-	-58,3	-
14	Budryk, pokł. 338/2, śc. 001, 002, 005, 007, skrzydło N	-10,8	-36,6	-31,7	49,3	-48,5	-65,2
15	Budryk, pokł. 338/2, śc. 001, 002, 005, 007, skrzydło S	-11,4	-6,7	14,2	14,5	-53,7	-40,6
16	Budryk, pokł. 338/2, śc. 001, 002, linia N-S	2,1	-35,0	-26,4	27,3	-47,4	-61,9
17	Budryk, pokł. 338/2, śc. 001, 002, 005, skrzydło N	-7,4	-35,9	-29,7	48,2	-46,9	-63,3
18	Budryk, pokł. 338/2, śc. 001, 002, 005, skrzydło S	-7,7	-9,3	-57,9	-3,0	-63,7	-69,3
19	Budryk, pokł. 338/2, śc. 001, 002, linia N-S	-12,8	-14,4	7,9	35,6	-13,3	-45,7
20	Budryk, pokł. 338/2, śc. 005, 007, skrzydło N	-8,1	-6,1	21,0	-24,8	-	-15,6
21	Budryk, pokł. 338/2, śc. 005, 007, skrzydło S	-11,2	-42,6	-17,6	89,3	-65,3	-68,3
22	Murcki, pokł. 327/2, śc. 314-316	9,1	49,2	25,1	-14,1	-75,4	-14,3
23	Pokój, śc. 210/II, 181, 173, 174, skrzydło N	-22,0	-48,3	-37,2	9,0	19,5	-75,5
24	Pokój, śc. 210/II, 181, 173, 174, skrzydło S	-30,4	-51,2	-53,3	-32,5	-77,6	-86,5
25	Jankowice, pokł. 409/2, śc. Z-3	7,3	-18,2	4,1	-	-50,0	-52,6
26	Katowice-Kleofas, pokł. 510, śc. 201, skrzydło W	32,7	-55,4	-	-	-	-
27	Katowice-Kleofas, pokł. 510, śc. 201, skrzydło E	28,9	-20,7	-	-	-	-
28	Pokój, śc. 225/I, pokł. 502 w.g., skrzydło W	10,0	-3,0	94,1	2,7	-69,4	-10,8
29	Pokój, śc. 225/I, pokł. 502 w.g., skrzydło E		-2,0	3,8		-60,5	-
30	Pokój, śc. 225/II, pokł. 502 w.d., skrzydło W	-12,0	-47,0	-36,0	2,0	-44,4	-
31	Pokój, śc. 225/II, pokł. 502 w.d., skrzydło E		-45,0	-3,0		-57,9	-17,9
32	Marcel, śc. W-2, W-3, pokł. 503/504, skrzydło W	11,0	14,0	15,0	-6,0	-23,4	-
33	Marcel, śc. W-2, W-3, pokł. 503/504, skrzydło E	22,0	41,0	55,0	15,0	39,5	-2,6
34	Piekary, śc. 534, pokł. 510w.III, skrzydło N	17,0	-17,0	44,0	45,0	-	-
35	Piekary, śc. 534, pokł. 510w.III, skrzydło S	23,0	52,0	34,0	9,0	-	-
36	Wujek-Śląsk, śc. 3 i 5, pokł. 409, skrzydło W	50,0	-5,0	-4,0	-28,0	-	-
37	Wujek-Śląsk, śc. 3 i 5, pokł. 409, skrzydło E		13,0	7,0		-	-
38	Bobrek-Centrum, śc. 24, pokł. 510/III, skrzydło N	-16,1	-68,3	+111,7	-38,3	-87,7	-91,2
39	Bobrek-Centrum, śc. 24, pokł. 510/III, skrzydło S	-17,9	-32,1	+2,6	-4,6	-57,1	-58,0
40	Pokój, śc. 423 i 424, pokł. 504	3,0	-24,0	-	9,0	-	-
	Średnia dla całego zbioru	-1,0	-16,3	7,4	5,4	-48,1	-50,6
	Odchylenie standardowe dla całego zbioru	19,1	30,7	38,2	33,8	26,8	22,8
	Średnia dla wyselekcjonowanego zbioru	-0,6	-15,6	-2,4	-0,2	-53,6	-50,6
	Odchylenie standardowe dla wyselekcjonowanego zbioru	14,0	24,4	23,3	26,8	17,4	22,8

- 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%.

6.5. Podsumowanie

Pomiary geodezyjne deformacji wykazują, że ich rzeczywisty przebieg nie jest tak regularny jakby to mogło wynikać z opisów teoretycznych. Jednak teorie całkowo-geometryczne, w szczególności teoria Knothego-Budryka, czyli teorie zbudowane na podłożu empirycznym, z uwagi na swą prostotę i pozytywne doświadczenia praktyczne, są stosowane na szeroką skalę nie tylko w Polsce, ale także na świecie.

W Polsce teoria Knothego-Budryka (nazywana wcześniej Budryka-Knothego) jest uzupełniana i modyfikowana (np. Opałka, 1983; Zych, 1987; Białek, 1993, 2003; Pomykoł, 2003; Mielimąka, 2009, a dla pokładów nachylonych: Skindero-wicz, 1966; Kot, 1976).

Dalsze poszukiwania badawcze w obszarze prognozowania deformacji będą skierowane na:

1. Wykorzystywanie istniejących modeli prognozowania deformacji do uzyskiwania wyników zgodnych z pomiarami, które najczęściej sprawdza się na drodze analizy wstecznej i modelowania matematycznego *a posteriori*. Coraz większą popularność zyskują metody numeryczne, w których górotwór traktuje się jako ośrodek ciągły lub ośrodek bryłowy.
2. Wykonywanie prognoz w ujęciu probabilistycznym, co pozwoli na oszacowanie niepewności oceny zagrożenia deformacjami obiektów budowlanych, które są także obarczone niepewnością oceny. W tym celu pomocne mogą być programy komputerowe Białka (2003), które, obok obliczania wartości, umożliwiają określanie błędów obliczonych – prognozowanych wskaźników deformacji.

* * *

W rozważaniach dotyczących dokładności prognoz przyjęto założenie, że wysokość eksploatowanej warstwy lub pokładu jest stała, co obarcza dodatkowym błędem wartość wyznaczonego z pomiarów współczynnika eksploatacyjnego.

Fundamentalna prawda o konieczności prowadzenia systematycznych i starannych pomiarów deformacji powierzchni wynika między innymi z liczących ponad 80 lat doświadczeń. 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* (Klenczar, 1939, s. 18). W tym zakresie dobrym przykładem może być model prognozy obniżen dla LGOM, oparty na obniżeniach spowodowanych dokonaną eksploatacją, pomierzonych w punktach sieci pomiarowej (Hejmanowski i Malinowska, 2006).

Nie należy oczekiwać szybkich zmian metodyki prognozowania deformacji. Nie ma idealnego górotworu, który spełniałby założenia danej teorii, przez co prognozy są i będą wykonywane z pewnym odchyleniem od wartości pomierzonych, które należy określać.

Należy w tym miejscu powołać się na monografię Ostrowskiego (2015), w której dokonano analizy przyczyn rozbieżności między modelowaniem matematycznym lub prognozą, a pomiarem wskaźników deformacji powierzchni: *(...) dlaczego się nie zgadza? W jakim stopniu prognozowane deformacje „mijają się” z rzeczywistymi deformacjami powierzchni terenu* (Ostrowski, 2015, s. 401).

Istotnym problemem jest interpretowanie sumarycznych wskaźników deformacji spowodowanej eksploatacją wielokrotną w długim czasie. Problem ten nie wynika z przyczyn merytorycznych, a bardziej formalnych, związanych głównie z klasyfikacją terenów górniczych (kategorią), znajdującą się w planach ruchu kopalń, sporządzanych na okres do 5 lat, najczęściej na 3 lata. W kolejnych planach ruchu kategorie terenu górniczego są określane ponownie, nie ma sumowania 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.

7. Modelowanie numeryczne deformacji powierzchni

7.1. Wstępne informacje o modelowaniu numerycznym deformacji powierzchni

Metody numeryczne zaliczane są do grupy metod analitycznych opisujących deformacje górotworu i powierzchni. W metodach numerycznych rozważania teoretyczne są oparte na pewnych ogólnych założeniach i postulatach lub prawach mechaniki, które doprowadzają, na drodze dedukcji matematycznej, do ogólnych zależności ilościowych (wzorów matematycznych). Zakres ich stosowania do modelowania górotworu i symulowania zachodzących w nim procesów powodowanych działalnością górniczą, jest już dość szeroki w światowym górnictwie.

W publikacji przeglądowej dotyczącej stosowania metod numerycznych do modelowania procesów inżynierskich w mechanice skał z roku 2002 można znaleźć aż 350 pozycji poświęconych temu zagadnieniu (Jing i Hudson, 2002). Deformacje górotworu i powierzchni są jednak tematem niewielkiej liczby publikacji, głównie dotyczących modelowania deformacji górotworu podczas drażenia tuneli i eksploatacji blisko powierzchni.

Wyróżnia się cztery grupy metod numerycznych:

- metoda elementów skończonych (MES) – znana od wczesnych lat sześćdziesiątych ubiegłego stulecia,
- metoda różnic skończonych (MRS) – najstarsza metoda numeryczna,
- metoda elementów brzegowych (MEB) – która pojawiła się w roku 1977,
- metoda elementów odrębnych (MEO) – opracowana do analizy numerycznej masywu skalnego mającego strukturę blokową.

W Polsce prekursorami zastosowania metod numerycznych do modelowania deformacji górotworu byli: Filcek, Tajduś i Walaszczyk (Walaszczyk, 1980; Tajduś, 1983). We wspólnej publikacji autorzy ci (Filcek, Walaszczyk i Tajduś, 1994) przedstawili zastosowanie metod numerycznych, szczególnie metody elementów skończonych. Uzasadniali zastosowanie uproszczonego modelu anizotropowego górotworu, tzw. modelu transwersalnie izotropowego, który zakładał, że w płaszczyźnie poziomej zależność między naprężeniami i odkształceniami jest izotropowa i właściwości sprężyste są jednakowe. W płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny izotropii właściwości przyjmują inne wartości.

Jako pierwsza metody numeryczne do opisu deformacji powierzchni zastosowała w swojej pracy doktorskiej Szostak-Chrzanowska (1988) – tabela 7.1.1.

Tabela 7.1.1. Przykłady prognozowania deformacji powierzchni z zastosowaniem metod numerycznych

Lp.	Autorzy (rok)	Jednostka naukowa	Model górotworu, ośrodek	Program (metoda)	Cel badań	Miejsce testowania	Ocena wyników
1	Szostak-Chrzanowska (1988)	University of Brunswick, Akademia Górniczo-Hutnicza	nieliniowo-sprężysty (bez rozciągania)	autorski FEMMA (MES)	praca doktorska	kopalnie węgla kamiennego, miedzi, cynku i ołowiu oraz soli	możliwość prognozowania deformacji dla złożonych warunków geologicznych i górniczych
2	Kwaśniewski i Wang (1994)	Politechnika Śląska	nieliniowy, sprężysto-krucho-plastyczny	FLAC 3.22 (MRS)	testowanie modelu	kopalnia Staszic pokład 352, ściana 1003	bardzo dokładny opis parametrów górotworu poparty własnymi badaniami laboratoryjnymi
3	Wesołowski (2001)	Politechnika Śląska	różne ośrodki: sprężyste, sprężysto-krucho i sprężysto-plastyczne oraz transversalnie izotropowy	COSMOS M (MES) modele 2D	praca doktorska, testowanie różnych modeli górotworu	porównanie z obliczeniami według teorii Knothego-Budryka	na ogół niecki są bardziej rozległe niż obliczone według teorii Knothego-Budryka; za małe przemieszczenia poziome
4	Tajduś (2007, 2013)	IMG PAN	transversalnie izotropowy; parametry wg klasyfikacji GSI	COSMOS M ABACUS (MES)	praca doktorska, testowanie modelu	modelowanie deformacji dla kopalni Piast, pokład 207, ściana 329 i 328	porównanie przebiegu niecki pomierzonej i wyznaczonej numerycznie
5	Milczarek (2011)	Politechnika Wrocławska	transversalnie ortotropowy	super-komputer (MES)	praca doktorska	niecki kopalni Julia w Wałbrzychu	porównanie przebiegu niecki pomierzonej i wyznaczonej numerycznie
6	Wesołowski (2013)	Politechnika Śląska	liniowo-sprężysty, transversalnie izotropowy	FLAC 3D (MRS)	poznawczy	opis deformacji dla niecki w kopalniach Chwałowice, Budryk i Pokój	porównanie przebiegu niecki pomierzonej i wyznaczonej numerycznie
7	Kowalski i Walentek (2013) Gruchlik i in. (2014) Kowalski (2017)	Główny Instytut Górnictwa	sprężysto-plastyczny i izotropowy	Phase 2 (MES)	opracowanie ZG Siltech	ZG Siltech pokłady 509 i 510	prognoza obniżen stropu pokładu pod wpływem eksploatacji chodnikami
8	Cała, Stopkowicz i Kowalski (2012, 2015)	Akademia Górniczo-Hutnicza	ośrodki ciągłe i spękanne	FLAC 2D i 3D v. 5.0 PFC 2 D i 3D	projekty badawcze, ekspertyzy	autostrada A4 kopalnie węgla kamiennego i soli; podziemne zgazowanie	narzędzie do analizy i prognozy zachowania się skarp zbocznych, górotworu w otoczeniu wyrobisk górniczych
9	Wesołowski (2016)	Politechnika Śląska	liniowo-sprężysty, transversalnie izotropowy z <i>ubiquitous joint</i>	FLAC 2D (MRS)	poznawczy	kopalnia Budryk	opis deformacji jakościowo i ilościowo zgodny z wynikami pomiarów geodezyjnych

Stosując MES, przedstawiła porównanie wyników obliczeń obniżenia (w skrócie metoda S-C) z wynikami pomiarów. W metodzie S-C górotwór jest traktowany jako materiał nieliniowo sprężysty, o zerowej wytrzymałości skał na rozciąganie. W nawiązaniu do modelu S-C powstały prace pod kierunkiem Chrzanowskiego i Szostak-Chrzanowskiej, w których opisywano stan górotworu będącego pod wpływem eksploatacji, w polskich kopalniach węgla kamiennego (Szostak-Chrzanowska i in., 1997; Szostak-Chrzanowska, Chrzanowski i Hiroji, 2011). W ostatnich latach na Politechnice Wrocławskiej realizowane były prace doktorskie poświęcone temu zagadnieniu (np. Milczarek, 2011; Warchala, 2015).

Kolejnym znaczącym krokiem w modelowaniu numerycznym górotworu są prace Kwaśniewskiego i Wanga (1994), którzy traktowali górotwór jako ośrodek nieliniowy, sprężysto-krucho-plastyczny, o wytrzymałości określonej warunkiem stanu granicznego Hoeka-Browna. Do obliczeń stanu naprężeń i przemieszczeń górotworu w modelu płaskim Kwaśniewski i Wang zastosowali program różnic skończonych FLAC v.3.22 (tab. 7.1.1).

Kwaśniewski zauważył potrzebę uwzględniania w analizie numerycznej występowania spękań górotworu, w którym jest prowadzona eksploatacja z załazem stropu, gdyż założenie o ciągłości ośrodka skalnego do prognozowania deformacji górotworu jest dużym uproszczeniem.

Modelowaniem numerycznym ruchów górotworu pod wpływem eksploatacji podziemnej od roku 2001 zajmuje się Wesołowski (2001). Wynikiem prowadzonych przez niego testów z wykorzystaniem wielokrotnego symulowania numerycznego deformacji powierzchni było wykazanie, że w przypadku modelu liniowo-sprężystego o transwersalnie izotropowej budowie warstw, możliwe jest uzyskanie z obliczeń numerycznych w miarę dokładnego przybliżenia rzeczywistych deformacji powierzchni terenu górniczego (Białek i Wesołowski, 2011; Wesołowski, 2014).

Należy także zaznaczyć wkład Tajdusia (2007, 2009, 2013) do modelowania górotworu, który stosował model sprężysty, transwersalnie izotropowy i warstwową budowę górotworu. W ostatnich swoich pracach autor ten (Tajduś, Cała i Tajduś, 2012; Tajduś, 2013) wykazał, że modelowanie numeryczne zdaje egzamin wówczas, kiedy tworzy się modele przestrzenne.

W szerokim zakresie modelowanie numeryczne górotworu jest stosowane przez pracowników Katedry Geotechniki Akademii Górniczo-Hutniczej. Modelowanie numeryczne jest narzędziem do analizy i prognozy zachowania się skarp zboczy i nasypów oraz górotworu w otoczeniu wyrobisk górniczych w kopalniach węgla kamiennego i w kopalniach soli kamiennej (Wieliczka,

Kłodawa). Należy podkreślić duże doświadczenie zespołu AGH w modelowaniu numerycznym stref spękań i zawału w otoczeniu wyrobisk eksploatacyjnych (Cała, Stopkowicz i Kowalski, 2012). Autorzy ci stwierdzili, że modelowanie powinno być poprzedzone doбором metodyki obliczeń, a także, że jest możliwa ocena wysokości stref zniszczenia ponad wyrobiskami górnictwami z zastosowaniem modeli ośrodków ciągłych. Upatrują oni dużych możliwości w metodach opartych na opisie górotworu jako elementów odrębnych. Wymienieni powyżej autorzy symulowali także zachowanie się górotworu w procesie podziemnego zgazowania węgla kamiennego (Cała, Stopkowicz i Kowalski, 2015).

W Głównym Instytucie Górnictwa sporządzono prognozę deformacji powierzchni dla eksploatacji resztek pokładów węgla kamiennego w zlikwidowanych kopalniach, w reaktywowanych zakładach górniczych. Była to eksploatacja częściowa, prowadzona chodnikami eksploatacyjnymi z pozostawieniem filarów węgla kamiennego między wyeksploatowanymi chodnikami w celu ochrony powierzchni. Z uwagi na brak doświadczeń (wyników pomiarów deformacji powierzchni) do pierwszej prognozy zastosowano rozwiązanie hybrydowe (Kowalski i Walentek, 2013; Gruchlik i in., 2014; Kowalski, Polanin i Walentek, 2017). Istota rozwiązania polegała na określeniu współczynnika eksploatacyjnego (który jest stosowany do obliczeń według teorii Knothego-Budryka), w oparciu o wyznaczone numerycznie obniżenie stropu bezpośredniego nad polem eksploatacyjnym (utworzonym z chodników eksploatacyjnych i filarów węglowych). W drugim kroku, znając wartość współczynnika eksploatacyjnego i przyjmując wyznaczony parametr górotworu ($\text{tg}\beta$), prognozuje się deformacje powierzchni za pomocą wzorów teorii Knothego-Budryka.

7.2. Przykłady modelowania numerycznego deformacji powierzchni

7.2.1. Prace prowadzone na Politechnice Śląskiej

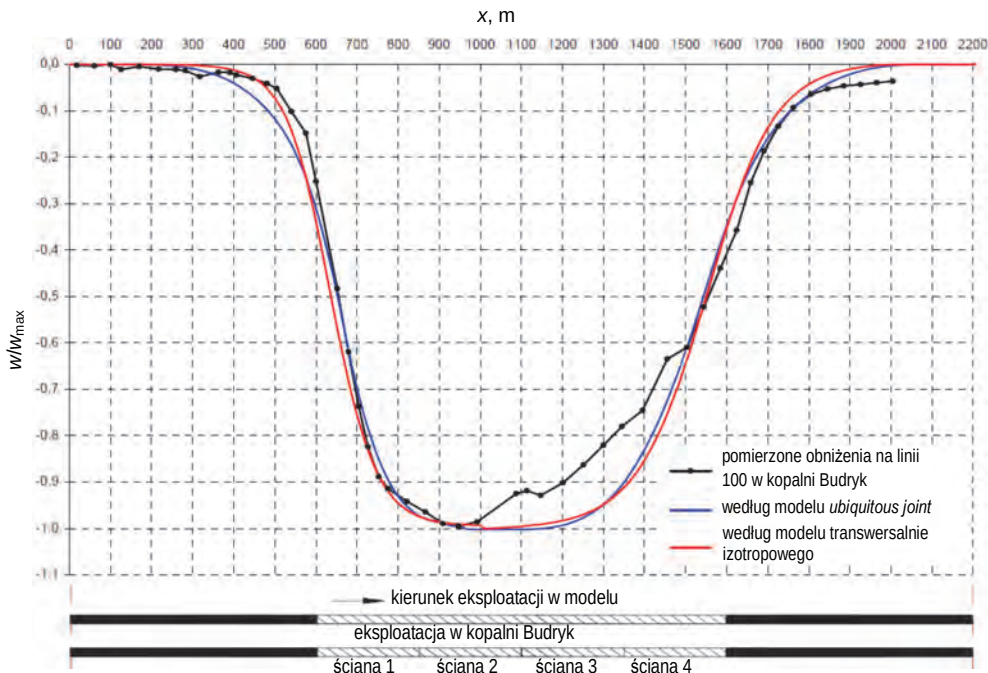
Modelowanie numeryczne deformacji powierzchni ma na Politechnice Śląskiej swoją tradycję i jest ciągle rozwijane (tab. 7.1.1). Najpierw testowano model liniowo-sprężysty o transwersalnie izotropowej budowie warstw, który ma powiązanie z teorią Knothego-Budryka, a zwłaszcza z opisem nachyleń profilu niecki (Wesołowski, 2013, 2016). Decydujący wpływ na zmienność wskaźnika nachyleń ma zmienność stosunku współczynników sprężystości postaciowej G_{12}/G_{13} , który zastępuje parametr $\text{tg}\beta$ w teorii. Wesołowski wyznaczył te zależności, a także określił wpływ głębokości na wartość parametru

górotworu (tg β). Pomimo to model ten budzi kontrowersje z uwagi na konieczność przyjęcia zróżnicowanych parametrów ośrodka w kierunku pionowym i poziomym. Z tego powodu w ostatnich latach Wesołowski (2016) testował model *ubiquitous joint* (wszechstronnie połączony), który jest anizotropowym modelem plastycznym zawierającym płaszczyzny osłabienia określonej orientacji w kierunku pionowym. W modelu tym zaimplementowany został warunek wytrzymałościowy (uplastycznienia) Coulomba-Mohra. Jego rozwiązanie polega na połączeniu dwóch modeli konstytutywnych. Główna część modelu opisana została modelem sprężystym transwersalnie izotropowym, natomiast warstwa stropowa o grubości 50 m została opisana modelem sprężysto-plastycznym. Zastosowanie połączenia tych dwóch ośrodków umożliwia odwzorowanie niecki obniżenia, której nachylenia są zbliżone do obserwowanych *in situ* i opisanie trwałych deformacji górotworu. W przypadku jednorodnego ośrodka sprężystego transwersalnie izotropowego nie istnieje możliwość uzyskania efektu plastyczności.

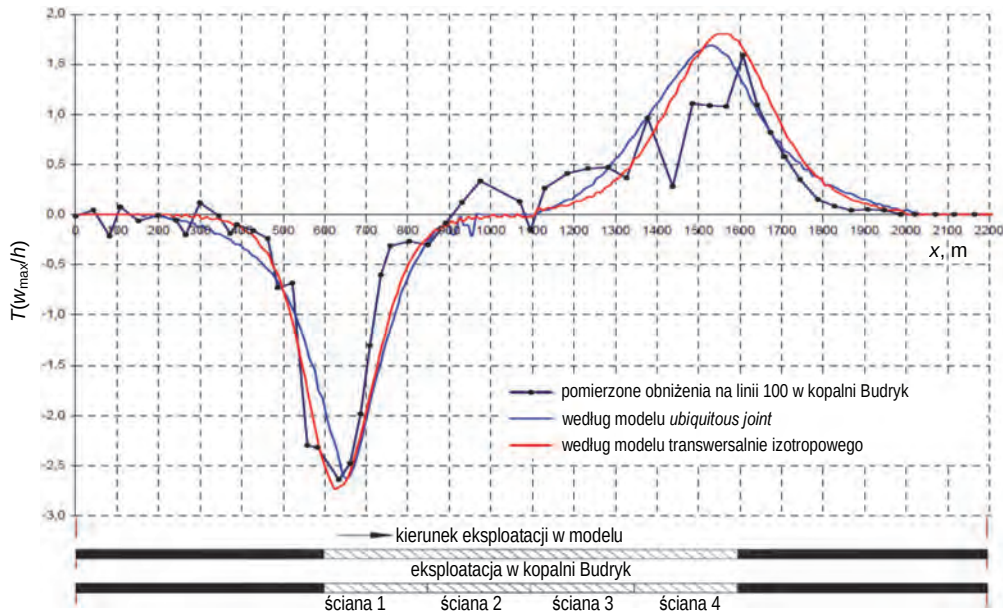
Z porównania stosowania modelu liniowo-sprężystego transwersalnie izotropowego z modelem zawierającym dodatkowo *ubiquitous joint* pod kątem zgodności z wynikami opisu deformacji na podstawie pomiarów geodezyjnych (kopalnia Budryk) wynika, że:

- Dla modelu *ubiquitous joint* i ośrodka sprężystego transwersalnie izotropowego istnieje możliwość jednoczesnego opisu zarówno pionowych, jak i poziomych ruchów górotworu. Uzyskanie zbliżonego do wyników pomiarów opisu (w zakresie ruchów poziomych) deformacji wymagało wprowadzenia płaszczyzn kontaktu (ang. *interface*) do połączeń międzywarstwowych.
- Asymetryczny profil niecki obniżeniowej jest możliwy do uzyskania w obydwu modelach, podobne zależności dotyczą odkształceń poziomych (rys. 7.2.1–7.2.3).
- Niewątpliwie zaletą modelu bazującego na ośrodku transwersalnie izotropowym jest stosunkowo mała liczba parametrów odkształceniowych koniecznych do obliczeń i możliwość łatwego dostosowania wyników modelowania numerycznego deformacji do wyników obserwacji geodezyjnych.

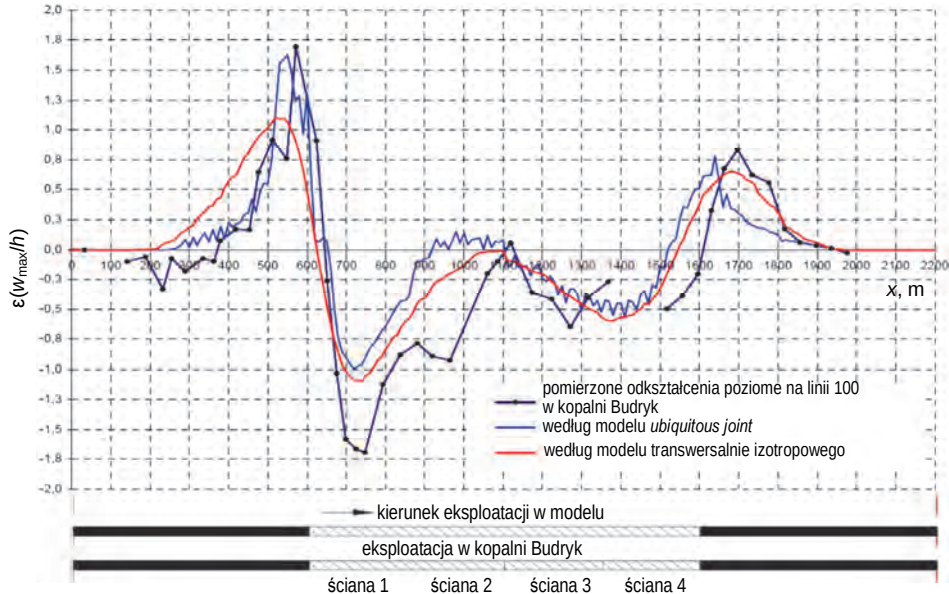
Na rysunkach 7.2.4 i 7.2.5 przedstawiono zasięg stref uplastycznienia górotworu dla modelu liniowo-sprężystego i transwersalnie izotropowego oraz *ubiquitous joint* dla przemieszczającego się ścianowego frontu eksploatacyjnego w kierunku z lewa do prawa, analogicznie jak dla zakresu eksploatacji przedstawionego na rysunkach 7.2.1–7.2.3.



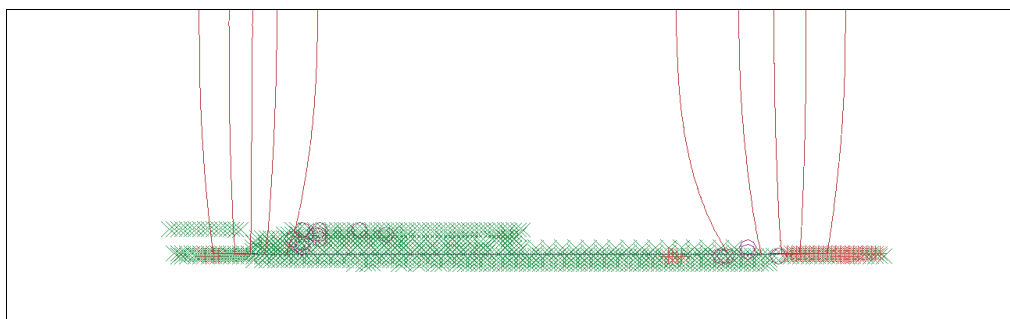
Rys. 7.2.1. Pomierzone i modelowane numerycznie obniżenia dla ośrodka liniowo-sprężystego według modelu transwersalnie izotropowego oraz z zastosowaniem *ubiquitous joint* (Wesołowski, 2016)



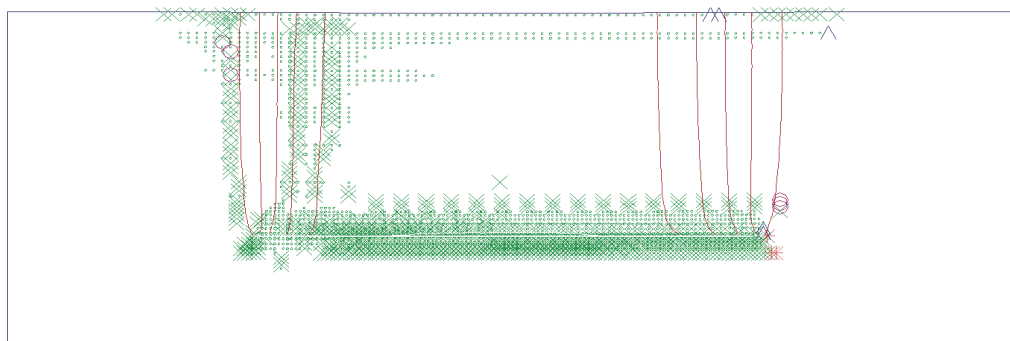
Rys. 7.2.2. Pomierzone i modelowane numerycznie nachylenia dla ośrodka liniowo-sprężystego według modelu transwersalnie izotropowego oraz z zastosowaniem *ubiquitous joint* (Wesołowski, 2016)



Rys. 7.2.3. Pomierzone i modelowane numerycznie odkształcenia poziome dla ośrodka liniowo-sprężystego według modelu transwersalnie izotropowego oraz z zastosowaniem *ubiquitous joint* (Wesołowski, 2016)



Rys. 7.2.4. Rozkład obniżeń i stref plastyczności górotworu według modelu liniowo-sprężystego i transwersalnie izotropowego (Wesołowski, 2016)



Rys. 7.2.5. Rozkład obniżeń i stref plastyczności górotworu według modelu *ubiquitous joint* (Wesołowski, 2016)

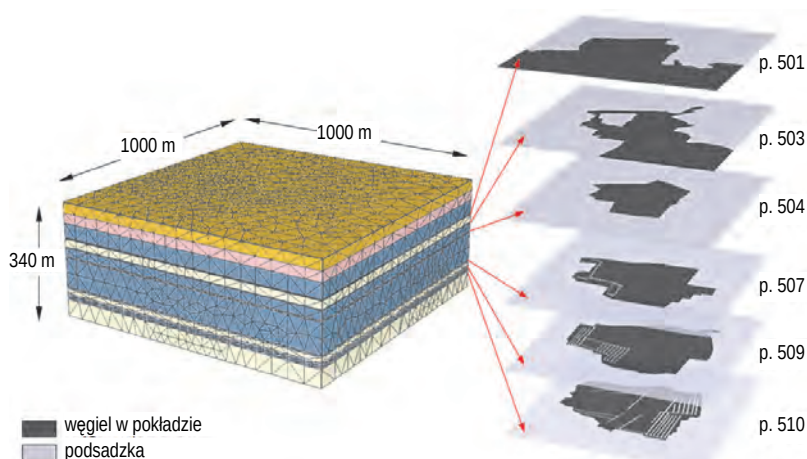
Z porównania rysunków 7.2.4 i 7.2.5 wynika, że strefy obniżen w górotworze w obydwu modelach są podobne, natomiast różnice dotyczą wyłącznie uplastycznienia w obrębie prowadzonej eksploatacji górniczej.

7.2.2. Modelowanie numeryczne w Głównym Instytucie Górnictwa

W Głównym Instytucie Górnictwa modelowanie numeryczne górotworu wykorzystuje się głównie do określania deformacji górotworu bezpośrednio w otoczeniu wyrobisk górniczych korytarzowych (Prusek, Masny i Walentek, 2007), ścianowych (Prusek, Płonka i Walentek, 2016), a także do doboru obudowy wyrobisk górniczych (Rotkegel, 2017).

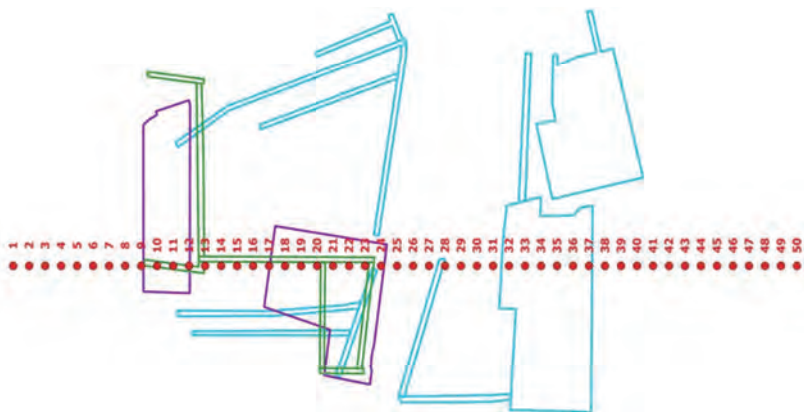
Od kilku lat są również podejmowane próby modelowania i symulowania deformacji górotworu w stropie nad eksploatowanym pokładem, początkowo w układzie 2D (Kowalski i Walentek, 2013; Gruchlik i in., 2014; Kowalski, Polanin i Walentek, 2017), a obecnie 3D.

Uzyskane rezultaty pomiarów obniżen powierzchni terenu w rejonie prowadzonej eksploatacji chodnikowej w polu Biskupice (porównaj podrozdział 4.5.2.1) stały się podstawą do kalibrowania przestrzennego modelu numerycznego górotworu. W tym celu, wykorzystując program RS3 (Internet 1), wykonano model numeryczny górotworu w formie prostopadłościanu o wymiarach podstawy 1000 m × 1000 m i o wysokości 340 m (rys. 7.2.6). W modelu tym dokładnie odwzorowano zarys prowadzonej wcześniej eksploatacji węgla w pokładach: 501, 503, 504, 507, 509 i 510, wybranych z użyciem systemu ubierkowego i zabierkowego z podsadzaniem stropu.

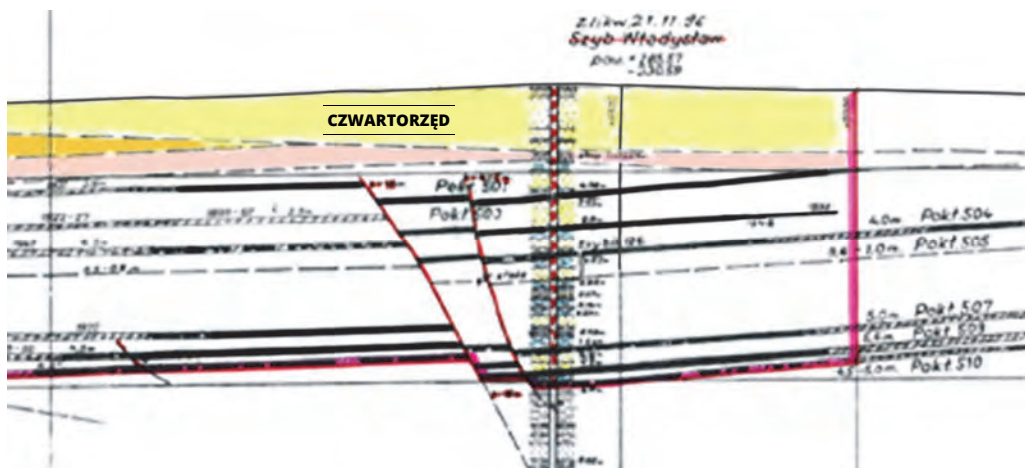


Rys. 7.2.6. Model przestrzenny górotworu dla eksploatacji chodnikowej prowadzonej w pokładach 507, 509 i 510, pole Biskupice

Na rysunku 7.2.7 przedstawiono wzajemne położenie wybranych chodników eksploatacyjnych w pokładach 507, 509 i 510 (odległość między pokładami 509 i 510 wynosiła około 7,0 m), które stanowiły główny przedmiot prowadzonych badań. Układ warstw skalnych przyjęto na podstawie profilu geologicznego dla rejonu filara ochronnego szybu Władysław (rys. 7.2.8). W odróżnieniu od pierwotnie stosowanego modelu płaskiego, model przestrzenny swym zasięgiem obejmował obszar górotworu aż do powierzchni terenu.



Rys. 7.2.7. Układ chodników eksploatacyjnych w pokładach 507, 509, 510 i linia profilu obliczeniowego 1-50



Rys. 7.2.8. Profil geologiczny filara ochronnego szybu Władysław

Program RS3, który został wykorzystany do zamodelowania górotworu, jest również oparty (jak Phase2) na metodzie elementów skończonych (MES). W tym przypadku jednak model górotworu potraktowano jako ośrodek sprężysty transwersalnie izotropowy. Przyjęty model górotworu bazuje na doświad-

czeniach opisanych w literaturze (Tajduś, 2009, 2013; Wesołowski i in., 2010; Wesołowski, 2013, 2014). Do jego opisu niezbędne jest określenie pięciu niezależnych stałych:

- E_1 – współczynnika sprężystości podłużnej przy obciążeniu działającym w kierunku równoległym do płaszczyzny izotropii,
- E_2 – współczynnika sprężystości podłużnej przy obciążeniu działającym w kierunku prostopadłym do płaszczyzny izotropii,
- ν_{12} – współczynnika Poissona charakteryzującego odkształcenia w płaszczyźnie izotropii przy obciążeniu działającym w kierunku równoległym do płaszczyzny izotropii,
- ν_{13} – współczynnika Poissona charakteryzującego odkształcenia w płaszczyźnie izotropii przy obciążeniu działającym w kierunku prostopadłym do płaszczyzny izotropii,
- G_{13} – współczynnika sprężystości postaciowej w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny izotropii.

Wartości parametrów górotworu określające kryterium Hoeka-Browna przyjęto zgodnie z tabelą 7.2.1, a pozostałych współczynników w modelu zgodnie z tabelą 7.2.2.

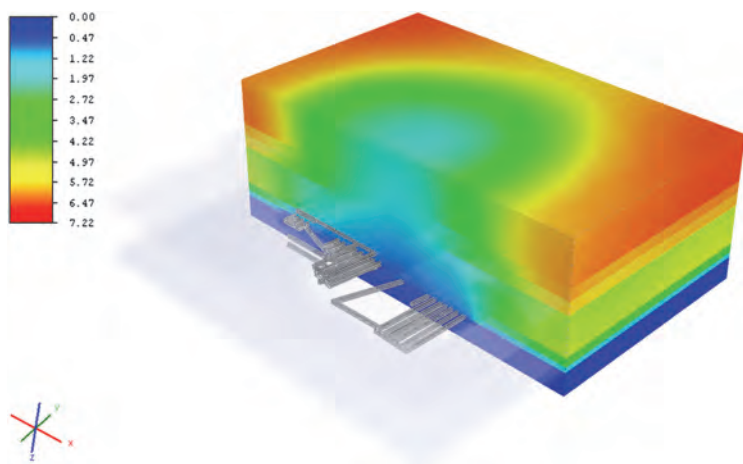
Tabela 7.2.1. Wartości parametrów warstw skalnych przyjęte do obliczeń numerycznych

Rodzaj skały	Moduł Younga E MPa	Współczynnik Poissona ν	Wytrzymałość na ściskanie R_c MPa	Parametr m_b	Parametr s
Węgiel	1327	0,30	14,0	0,529	0,0005
Łupek ilasty	3326	0,25	35,0	0,821	0,0013
Łupek piaszczysty	5119	0,23	33,0	1,249	0,0031
Piaskowiec	8445	0,21	45,0	2,708	0,0060
Podsadzka	80	0,49	–	0,150	0,00005

Tabela 7.2.2. Wartości parametrów warstw skalnych przyjęte w modelu przestrzennym górotworu dla eksploatacji chodnikowej w pokładach 509 i 510 – pole Biskupice

Warstwy skalne	$E_1 = E_2$, GPa	E_3 , GPa	$\nu_{12} = \nu_{31}$	G_{12} , GPa	G_{13} , GPa
Czwartorzęd	0,02	0,02	0,35	0,007	0,007
Łupek ilasty	0,165	3,3	0,20	0,068	0,154
Łupek piaszczysty	0,255	5,1	0,20	0,106	0,238
Piaskowiec	0,420	8,4	0,20	0,175	0,392
Węgiel	0,065	1,3	0,20	0,027	0,061

Wyniki obliczeń numerycznych w postaci mapy obniżeń powierzchni w zamodelowanym rejonie eksploatacji chodnikowej w polu Biskupice przedstawiono na rysunku 7.2.9, na którym zamodelowano obniżenia spowodowane eksploatacją pozafilarową i eksploatacją chodnikami w filarze. Na rysunku 7.2.10 przedstawiono obniżenia spowodowane eksploatacją chodnikami wzdłuż linii profilu 1–50.

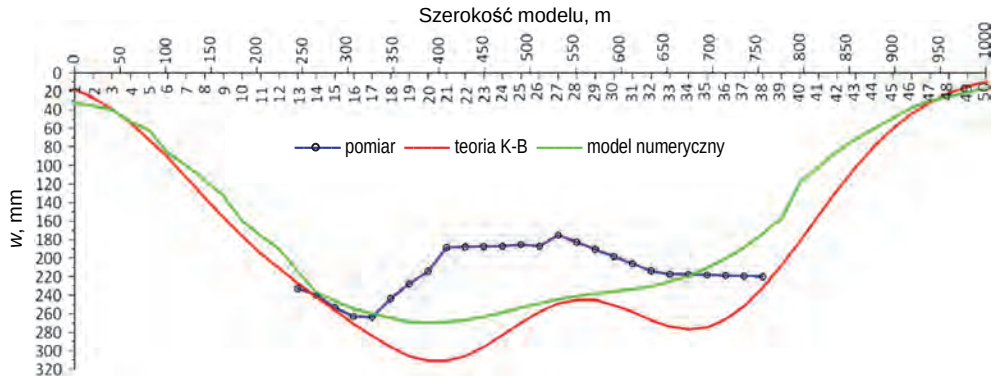


Rys. 7.2.9. Mapa obniżeń górotworu w modelu numerycznym w rejonie eksploatacji pola Biskupice, spowodowanych eksploatacją pozafilarową i eksploatacją chodnikami w filarze ochronnym



Rys. 7.2.10. Obniżenia powierzchni terenu wzdłuż linii profilu 1–50 w modelu numerycznym po zasymulowaniu eksploatacji chodnikami w filarze ochronnym

Na rysunku 7.2.11 przedstawiono obniżenia powierzchni wzdłuż linii profilu po wybraniu chodników eksploatacyjnych w pokładach 507, 509 i 510 określonych: pomiarami geodezyjnymi, modelowaniem numerycznym i obliczonymi wzorami teorii Knothego-Budryka dla parametrów teorii, współczynnika eksploatacyjnego $a = 0,21$ i parametru górotworu $\text{tg}\beta = 1,0$. Interpretację wyznaczonych parametrów przedstawiono w podrozdziale 4.5.2.



Rys. 7.2.11. Porównanie obniżen powierzchni terenu spowodowanych eksploatacją chodnikami: według pomiarów, obliczeń przeprowadzonych zgodnie z teorią Knothego-Budryka oraz obliczonych numerycznie

Z uzyskanych rezultatów obliczeń numerycznych wynika, że wydrążenie chodników eksploatacyjnych w pokładach 507, 509 i 510 spowodowało obniżenie terenu o 0,27 m. Wartość była zbliżona do obniżen powierzchni, jakie stwierdzono za pomocą metod geodezyjnych podczas prowadzonej eksploatacji chodnikowej, które wynosiły 0,26 m. Z porównania obniżen obliczonych za pomocą wzorów teorii Knothego-Budryka i obliczonych numerycznie wynika również ich duża zbieżność, choć w centralnym rejonie filara ochronnego, gdzie eksploatowano pojedynczymi chodnikami, obniżenia według modelu numerycznego i teoretyczne mają wartości większe do 30% niż pomierzone. Podsumowując, przyjęty do obliczeń numerycznych model górotworu, traktowany jako ośrodek sprężysty transversalnie izotropowy, daje pozytywne wyniki w zakresie opisu deformacji powierzchni terenu, jednak jego stosowanie do celów prognostycznych wymaga jeszcze wielu prób.

Tworzenie modeli numerycznych górotworu w rejonie wyrobisk górniczych (tzw. skala lokalna) jest już stosowane w polskim górnictwie węgla kamiennego do rozwiązań inżynierskich (wyznaczanie szerokości filarów), natomiast nie jest stosowane w skali globalnej do prognozowania deformacji powierzchni w celach utylitarnych. Pomimo dobrych wyników testowania modeli numerycznych w pracach doktorskich i projektach badawczych, stosowanie metod numerycznych w Polsce nie stanowi jeszcze konkurencji dla teorii Knothego-Budryka.

Prace prowadzone w Głównym Instytucie Górnictwa nad zastosowaniem modeli numerycznych do symulacji deformacji powierzchni są na etapie prób, jednak doświadczenia opisane przez pracowników Akademii Górniczo-Hutniczej i Politechniki Śląskiej wskazują, że modele numeryczne mają przyszłość,

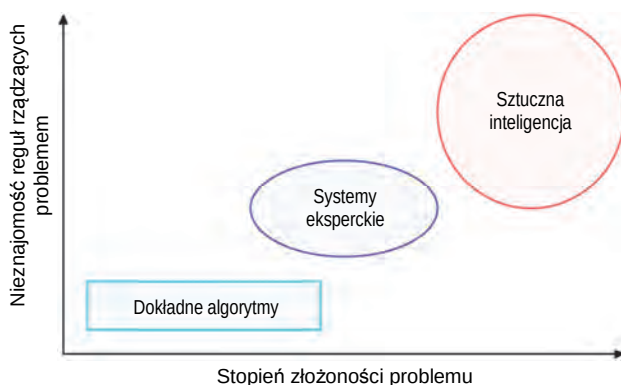
zwłaszcza jeśli symulacje numeryczne deformacji powierzchni będzie się konfrontować z wynikami pomiarów geodezyjnych deformacji, które są niezbędne do kalibracji parametrów zarówno teorii, jak i parametrów warstw skalnych modeli numerycznych. Istnieje bowiem problem „nadsterowności” modeli numerycznych dla dużej liczby warstw, a tym samym parametrów.

8. Sztuczna inteligencja – sieci neuronowe

8.1. Ogólne informacje

Do rozwiązywania złożonych problemów wykorzystywane są nowe i bardziej sprawne niż dotychczas stosowane narzędzia. Takim narzędziem jest sztuczna inteligencja, w tym sieci neuronowe. Zgodnie z Wikipedią sztuczna inteligencja – SI (ang. *artificial intelligence*, AI) to: *Dziedzina wiedzy obejmująca logikę rozmytą, obliczenia ewolucyjne, sieci neuronowe, sztuczne życie i robotykę*. Sieci neuronowe (sztuczna sieć neuronowa) to ogólna nazwa struktur matematycznych i ich programowych lub sprzętowych modeli realizujących obliczenia lub przetwarzanie sygnałów przez rzędy elementów zwanych sztucznymi neuronami, wykonujących pewną podstawową operację na swoim wejściu.

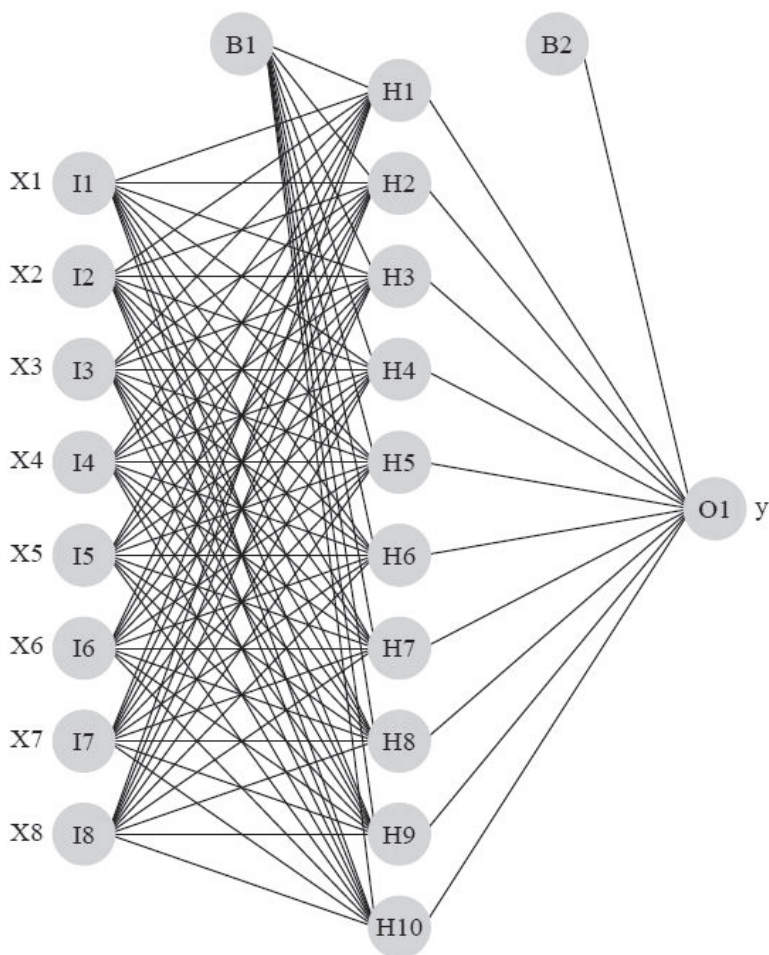
Sieci neuronowe znajdują swoje zastosowanie w zadaniach, dla których stopień złożoności problemu jest wysoki, przy jednocześnie słabym rozpoznaniu reguł rządzących problemem, co ilustruje rysunek 8.1.1.



Rys. 8.1.1. Położenie możliwych narzędzi względem stopnia złożoności problemu i trudności w opisie matematycznym (Witkowski, 2017)

Sztuczna sieć neuronowa nawiązuje do rzeczywistych struktur nerwowych i budowy pojedynczych komórek nazywanych neuronami. Ludzki mózg (który waży ok. 1,5 kg) posiada około 86 mld neuronów, które wykonują proste działania sumowania sygnałów i porównywania go z wartością progową. Każdy neuron może tworzyć do 1000 połączeń z innymi komórkami, odbierać i wysyłać sygnały. Błąd działania pojedynczej komórki nie ma znaczącego wpływu na działanie całej struktury. Duża odporność na zakłócenia stanowi istotną zaletę ich działania. Drugą istotną cechą jest szybkość przetwarzania sygnałów, które trwa kilka milisekund. Tak jak mózg zbudowany jest z pojedynczych neuronów, tak sztuczne sieci również wymagają modelu jednostki przetwarzającej sygnały.

Pojedyncze sztuczne neurony wykonują proste operacje matematyczne. Dopiero wykorzystanie większej liczby pojedynczych jednostek pozwala na budowanie struktur nazywanych sztucznymi sieciami neuronowymi. Pierwszym typem są sieci jednokierunkowe wielowarstwowe (rys. 8.1.2).



Rys. 8.1.2. Schemat trójwarstwowej sieci neuronowej z ośmioma wejściami i jednym wyjściem (Witkowski, 2017)

Sztuczne neurony rozmieszczone są w przynajmniej dwóch warstwach, wejściowej (x) i wyjściowej (y). Sygnał przebiega od warstwy wejściowej do wyjściowej, w jednym kierunku.

Przy tworzeniu sieci neuronowych trzeba wybierać stopień złożoności jej struktury, co nie jest łatwe, ponieważ sieć o zbyt ubogiej strukturze (zwłaszcza dysponującej zbyt małą liczbą tak zwanych neuronów ukrytych) może nie

podoleć rozwiązaniu bardziej złożonego zadania, natomiast sieć mająca zbyt skomplikowaną i bogatą strukturę zawsze sprawia kłopoty podczas procesu uczenia (Tadeusiewicz, 2015).

Proces uczenia jest kluczem do wszystkich zastosowań sieci neuronowych. Kluczem do skutecznego nauczania sieci rozwiązywania zadań jest posiadanie tak zwanego zbioru uczącego, to znaczy zbioru przykładowych zadań wraz z ich prawidłowymi rozwiązaniami.

Wprowadzając na wejście sieci dane stanowiące przesłanki do rozwiązania zadania i porównując odpowiedź sieci z prawidłową odpowiedzią zapisaną w zbiorze uczącym, można na podstawie wykrytego błędu automatycznie korygować parametry sieci, co prowadzi zwykle do tego, że sieć po pewnym czasie sama nauczy się rozwiązywania rozważanej klasy zadań.

Dzięki korzystaniu z procesu uczenia (opartego na przykładach, a nie na regułach) sieć neuronowa może rozwiązywać zadania, dla których my (użytkownicy sieci) nie dysponujemy wiedzą, jak te zadania należy rozwiązać (rys. 8.1.1). Dzięki temu sieć neuronowa może służyć jako model dowolnego złożonego procesu, co pozwala na wykonywanie dla tego procesu wielu istotnych czynności.

W literaturze znajdują się przykłady zastosowania sieci neuronowych w zagadnieniach dotyczących między innymi (Witkowski, 2017):

- wyznaczania parametrów wytrzymałościowych skał,
- budownictwa tunelowego,
- zagrożeń osuwiskowych,
- oceny zużycia technicznego obiektów liniowych,
- zarządzania wodami podziemnymi i prognozowania ich poziomu,
- zmian stosunków wodnych w otoczeniu kopalni odkrywkowych,
- osiadania powierzchni terenu,
- zarządzania ryzykiem w górnictwie podziemnym i w rejonie zlikwidowanych kopalń.

8.2. Przykłady zastosowania sieci neuronowych do modelowania obniżeń powierzchni

Mimo niewątpliwych zalet sieci neuronowe w naukach górniczych nie są stosowane często; są na etapie testowania. Jako pierwszy sztuczne sieci neuronowe do opisu i prognozowania wskaźników deformacji na terenach górniczych w polskim górnictwie wykorzystał Gruszczyński (2007), a do modelowania obniżeń powierzchni spowodowanych odwodnieniem przez działalność górniczą – Witkowski (2017). W pierwszym przypadku badania dotyczyły deformacji

bezpośrednich, jakie towarzyszą górnictwu podziemnemu węgla kamiennego. Celem badań prowadzonych przez Gruszczyńskiego było opracowanie metody pozwalającej na wykorzystywanie sieci neuronowych do prognozowania deformacji, a nie opracowanie pojedynczego modelu. Pozwala ona na dopasowanie modelu do konkretnych warunków eksploatacji przez trening na najbardziej zbliżonych do nich danych. Umożliwia także prognozowanie obniżeń, nachyleń, krzywizn i odkształceń poziomych. Nie prowadził on natomiast badań nad przemieszczeniami poziomymi ze względu na brak odpowiedniego materiału pomiarowego.

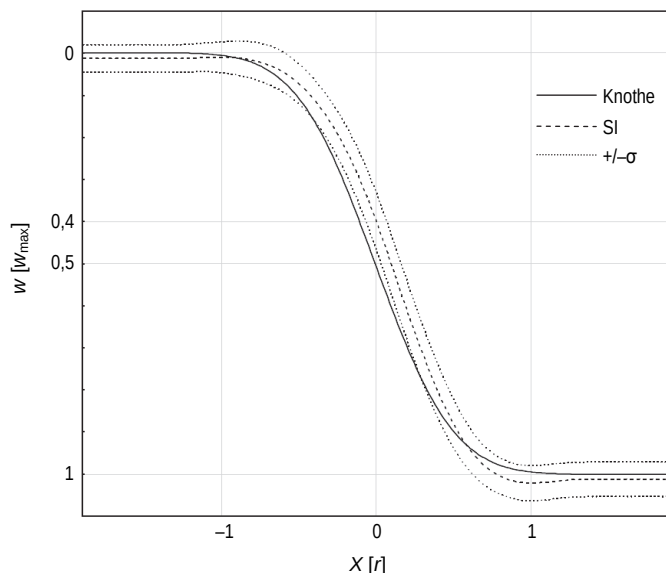
Do badań wykorzystano dane z 14 linii obserwacyjnych z obszaru GZW, przy czym do treningu i weryfikacji posłużono się danymi z 11 linii (zawierających łącznie 481 punktów), testy zaś przeprowadzono na zbiorach danych z trzech niezależnych linii (95 punktów). Wyniki uzyskiwane przez sieci zarówno dla danych wykorzystanych do treningu i weryfikacji, jak i do testów, były nieco lepsze od wyników dla referencyjnego modelu Knothego-Budryka. Największą (względnie) przy tym przewagę w dokładności modelowania sieci uzyskiwano dla obniżeń, mniejszą dla nachyleń i jeszcze mniejszą dla krzywizn i odkształceń poziomych.

Porównanie przebiegu kształtowania się wartości wskaźników deformacji obliczonych przy pomocy sieci neuronowych (wytrenowanych na danych obserwowanych) z obliczonymi za pomocą metody Knothego-Budryka wykazuje, że sieci neuronowe wykrywają faktycznie istniejące trendy kształtowania się wartości danych, takich jak przesunięcie wpływów w kierunku eksploatacji (podobnie jak przy zastosowaniu obrzeża dla modelu Knothego-Budryka) i asymetria skrzydła niecki obniżeniowej (rys. 8.2.1). Dla odkształceń poziomych przebieg generowany przez sieci wskazuje na istnienie stref rozciągania i ściskania o dość znacznym rozproszeniu losowym, bez wyraźnie wyróżnionych ekstremów (rys. 8.2.2).

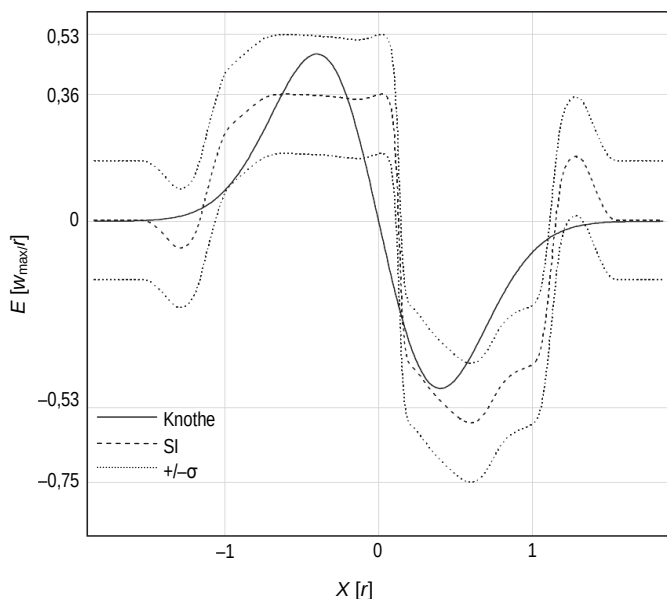
W kopalniach, oprócz deformacji bezpośrednich, występują deformacje pośrednie wynikające z odwodnienia górotworu (patrz rozdz. 5.3). W tym przypadku testowanie (uczenie się) sieci neuronowej poprzedzono wyznaczeniem współczynnika czasu i parametru górotworu – zasięgu niecki odwodnieniowej (według teorii Knothego), a w konsekwencji wyznaczeniem przesunięcia czasowego między prędkością obniżeń i zmianami poziomu zwierciadła wody w piętrze środkowo- i dolnojurajskim (Witkowski, 2017).

Obniżenia powierzchni spowodowane odwodnieniem w kopalni Bogdanka są rzędu 0,5 m. Nie są to duże obniżenia, jednak ich zasięg jest znacznie większy

niż wpływów bezpośrednich, przez co rozpoznanie procesu tych obniż, a zwłaszcza umiejętność ich prognozowania, są istotnym problemem badawczym i użytkowym.



Rys. 8.2.1. Porównanie obniż uzyskanych dla sieci neuronowych (SI) i teorii Knothe-Budryka dla eksploatacji w kształcie półpłaszczyzny (Gruszczyński, 2007)



Rys. 8.2.2. Porównanie odkształceń poziomych uzyskanych dla sieci neuronowych (SI) i teorii Knothe-Budryka dla eksploatacji w kształcie półpłaszczyzny (Gruszczyński, 2007)

Zaproponowana metodyka i wykorzystane w badaniach i analizach narzędzia – sieci neuronowe – pozwalają na szukanie zależności między danymi wejściowymi (np. dane o eksploatacji górniczej, albo zmianach hydrogeologicznych obserwowanych w górotworze), a przemieszczeniami pionowymi obserwowanymi na powierzchni terenu (dane wyjściowe).

Jak zauważył Witkowski, zastosowanie zaproponowanej metodyki badawczej – sieci neuronowych – pozwala na odtworzenie wiedzy „ukrytej” w obserwacjach.

Zastosowanie sieci neuronowych do prognoz deformacji będzie mogło być wykorzystane jako dodatkowe narzędzie prognostyczne (obok metod deterministycznych) w przypadku złożonych warunków geologicznych i górniczych, jednak pod warunkiem zgromadzenia dużej liczby danych (ang. *big data*), niezbędnych do uczenia sieci.

Powyższe stwierdzenie odpowiada relacji przedstawionej na rysunku 8.1.1, z której wynika, że można stosować SI do rozwiązywania problemów, których stopień złożoności jest wysoki, przy jednocześnie słabym rozpoznaniu reguł nimi rządzących.

Zgodnie z opinią twórców AI to bardzo dobre narzędzie do dopasowywania wzorców, ale żeby funkcjonowało dobrze, należy zrozumieć szczegóły jego działania. Każde zaburzenie reguł lub błąd w doborze elementów zbioru treningowego powoduje znaczące zachwianie wyników działania całości.

9. Monitoring deformacji powierzchni i obiektów budowlanych

9.1. Wprowadzenie

Rozwój nowoczesnych technologii pomiarowych, zwłaszcza GNSS (ang. *Global Navigation Satellite Systems*), a także naziemnego i lotniczego skanowania terenu i obiektów (ang. *Light Detection and Ranging*, LiDaR) oraz różnego rodzaju sensorów, rozszerza możliwości monitorowania deformacji. Jednak technologie te nie są receptą na pomiar wszystkiego, choć dąży się do pełnej automatyzacji i ciągłego monitoringu. Pomiary geodezyjne z rozszerzeniem o sieci GNSS będą nadal podstawowymi i porównawczymi pomiarami, które dostarczają informacji o współrzędnych punktów na powierzchni oraz obiektach budowlanych i ich zmianach.

Zmiany technologii eksploatacji górniczej powodują, że ciągłe deformacje powierzchni i obiektów budowlanych zachodzą szybko (obniżenia wynoszą kilkanaście, a nawet kilkadziesiąt milimetrów na dobę) i obejmują znaczne pola powierzchni terenu. Drugim czynnikiem wymuszającym wprowadzanie nowych technologii pomiarowych jest konieczność reakcji na społeczny negatywny odbiór skutków eksploatacji górniczej. Użytkownicy terenów górniczych i obiektów na nich znajdujących się oczekują bieżącej informacji o zachodzących deformacjach i sygnalizowania ewentualnych zagrożeń.

W ostatnich kilkunastu latach Główny Instytut Górnictwa w przypadkach eksploatacji prowadzonej pod obiektami sakralnymi i przemysłowymi stosuje nowe technologie pomiarów deformacji, jako uzupełnienie metod geodezyjnych. Pomiary te, interpretowane łącznie z pomiarami geodezyjnymi, pomagają lepiej zrozumieć proces deformacji. Powinny one dać odpowiedź na pytanie, w jakim zakresie zmienić profilaktykę górnictwą i budowlaną oraz czy zmienić metodę pomiarów?

Kompleksowy monitoring deformacji i zagrożeń to nie tylko pomiar, ale archiwizacja danych, ich analiza, a także wysyłanie powiadomień i alarmowanie w przypadku przekroczenia wartości progowych. Wynika stąd konieczność zdefiniowania celu monitoringu i interpretacji wyników pomiarów.

Przykładem kompleksowego monitoringu jest system GeoMoS opracowany w roku 2017 przez Leica Geosystems (Prezentacja, 2018), którego istotną częścią jest wykorzystywanie GNSS, a także nowoczesnych instrumentów, na przykład Multistation Leica Nova MS60 wyposażonego we wszystkie dostępne technologie pomiarowe. Jest to nowoczesny instrument geodezyjny i skaner.

Monitoring GeoMoS znalazł zastosowanie w Polsce w obiektach na terenach górniczych i niegórniczych:

- w KWB Bełchatów – do monitoringu stateczności skarp eksploatacyjnych,
- w KGHM Polska Miedź – do monitoringu grobli osadnika Żelazny Most,
- na budowie drugiej linii Metra Warszawskiego,
- na budowie tunelu pod S2,
- przy wykonywaniu przewiertu pod martwą Wisłą,
- na budowie budynku Centrum Geo-Info-Hydro Uniwersytetu Wrocławskiego.

W quasi-ciągłym monitoringu przemieszczeń i niektórych zmian deformacji znaczenie mają urządzenia i technologie opracowane w Instytucie Mechaniki Górotworu PAN i w Głównym Instytucie Górnictwa oraz w Katedrze Ochrony Terenów Górniczych, Geoinformatyki i Geodezji Górniczej Akademii Górniczo-Hutniczej (rozdz. 9.3).

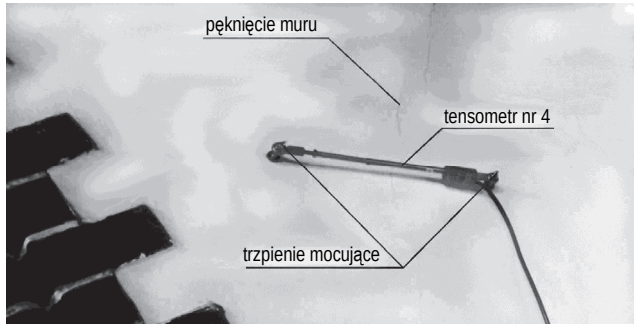
9.2. Tensometria strunowa i inklinometry

9.2.1. Tensometria strunowa

Do badania stanu technicznego obiektów budowlanych od lat stosuje się tensometrię strunową i inklinometry. Zazwyczaj przyrządy te są podłączane do specjalnych urządzeń elektrycznych, które spełniają funkcje rejestrujące i transmisyjne. Możliwe jest zestawienie odpowiedniego systemu, który, pracując w oparciu o stosowany algorytm, może zapewnić prowadzenie pomiarów w sposób automatyczny przez dłuższy czas. System bezprzewodowego monitorowania stanu konstrukcji obejmuje:

- tensometry strunowe do pomiaru odkształceń liniowych lub pomiaru rozwarcia rys,
- inklinometr strunowy do przestrzennego pomiaru nachyleń obiektu.

Pierwsze przyrządy zostały opracowane w Instytucie Mechaniki Górotworu PAN (Kanciruk, 2012). Są to rozwiązania i konstrukcje autorskie. System był stosowany między innymi do zdalnego monitorowania zmian zachodzących w budynku kościoła należącego do Parafii Ewangelicko-Augsburskiej w Bytomiu-Miechowicach, spowodowanych eksploatacją górniczą ściany 18a w pokładzie 510, warstwa dolna, prowadzoną w latach 2011–2012 (Florkowska i Kanciruk, 2012; Klabis i Kowalski, 2013). W kościele wystąpiły znaczne deformacje (spękania ścian i stropów, nierównomierne obniżenia). Przykład zamontowanego tensometru nad pęknięciem muru i inklinometru zamocowanego w narożu wieży kościoła przedstawiono na rysunkach odpowiednio 9.2.1 i 9.2.2.



Rys. 9.2.1. Instalacja tensometru nr 4 nad pęknięciem ściany w pobliżu wejścia głównego kościoła (Florkowska i Kanciruk, 2012)



Rys. 9.2.2. Instalacja inklinometru w narożu wieży kościoła (Florkowska i Kanciruk, 2012)

Wyniki przeprowadzonych pomiarów deformacji kościoła wykazały, że system bardzo dobrze się sprawdził. Pomiary przestrzenne wychYLENIA wieży kościoła umożliwiły wykazanie zmian głównych kierunków oddziaływań.

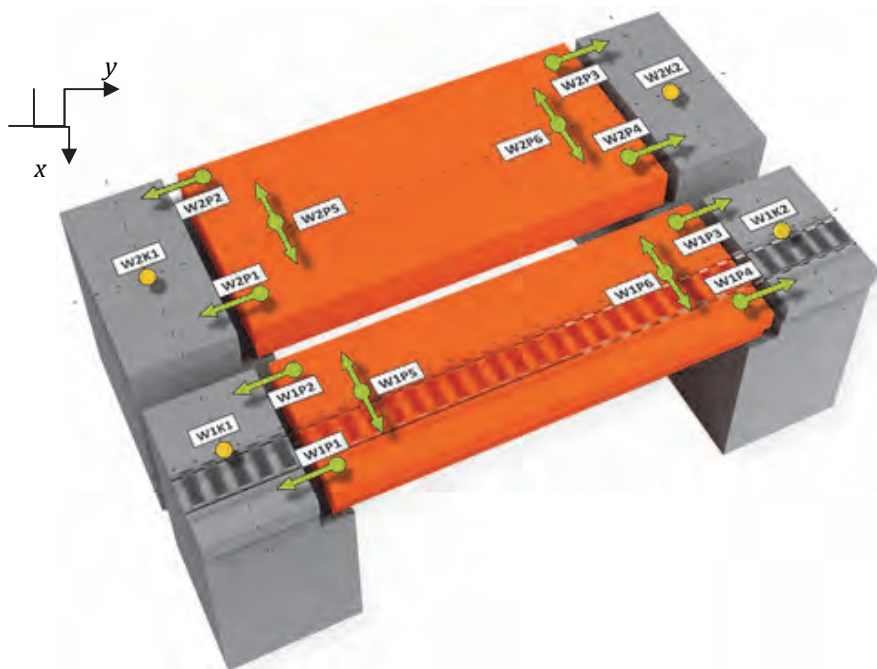
Czułość systemu pozwalała na obserwowanie nawet niewielkich zmian w odkształceniach. Jednocześnie dało się zauważyć, że słabą stroną systemu jest „punktowy” charakter obserwacji. Przy zbyt małej liczbie czujników, w warunkach, w których kierunki głównych oddziaływań są trudne do przewidzenia, stwarzało to ryzyko „przeoczenia” stref newralgicznych w konstrukcji. Mimo niewątpliwych zalet, systemy automatyczne nie mogą stanowić jedyne narzędzia monitorowania stanu obiektu.

Inny, ale podobny system obserwacji ciągłej, zastosowano na dwóch wiaduktach (drogowym i tramwajowym) w Rudzie Śląskiej (rys. 9.2.3). System pomiarowy składał się z 12 czujników:

- ośmiu czujników strunowych (Geokon 4420) do pomiaru zmian przyrostu przemieszczeń płyty pomostu względem przyczółków, na kierunku y ,
- czterech czujników strunowych (Geokon 6350) do pomiaru wychyleń brył przyczółków w dwóch prostopadłych płaszczyznach oraz 16-kanalowego rejestratora zbierającego dane pomiarowe.

Dane pomiarowe były odczytywane bezpośrednio z rejestratora, co 30 dni. Potem system rozbudowano o dalsze cztery czujniki, a przede wszystkim zmieniono rejestrację i przetwarzanie danych, dzięki czemu można było w czasie rzeczywistym obserwować zmiany deformacji.

Uzyskana wartość zmian przemieszczeń przyczółków wiaduktu drogowego, otrzymana na podstawie pomiarów w warunkach rzeczywistych, była zbliżona do wartości prognozowanej. Natomiast wartości dla wiaduktu tramwajowego znacznie różniły się od prognozowanych, co wiązało się z pracą mostu.



Rys. 9.2.3. Rozmieszczenie czujników na obiektach mostowych (drogowym i tramwajowym) do pomiaru zmian przemieszczeń (WP) i kątomierze (WK) (Kowalski, 2015)

9.2.2. Czujniki laserowe Głównego Instytutu Górnictwa i przykład ich wykorzystania

Konstrukcja laserowych czujników wychyleń i przyśpieszeń została opracowana w Głównym Instytucie Górnictwa. Umożliwia ona dokładny i ciągły pomiar wielkości wychyleń obiektu, zapewniając automatyzację pomiarów. Wynik w postaci komputerowego wydruku graficznego (lub zapisu na taśmie rejestratora) daje pełny obraz zmian wartości wychyleń (wychylenia w milimetrach na każdy metr wysokości [mm/m]), ich kierunków (np. względem stron świata) oraz czasu, w którym wystąpiły. Zasada pomiaru jest oparta na rejestrowaniu odchylenia wiązki laserowej od jej wyjściowego – pionowego położenia zerowego – po przejściu przez klin cieczowy.

Parametry pomiarowe i charakterystyka techniczna czujnika są następujące:

- zakres pomiaru +5 mm/m (z możliwością przestrajania od 2 do 50 mm/m),
- rozdzielczość +0,02 mm/m,
- częstotliwość drgań < 10 Hz,
- napięcie zasilania urządzenia 220 V AC, 50/60 Hz,
- pobór mocy układu pomiarowego < 2 W.

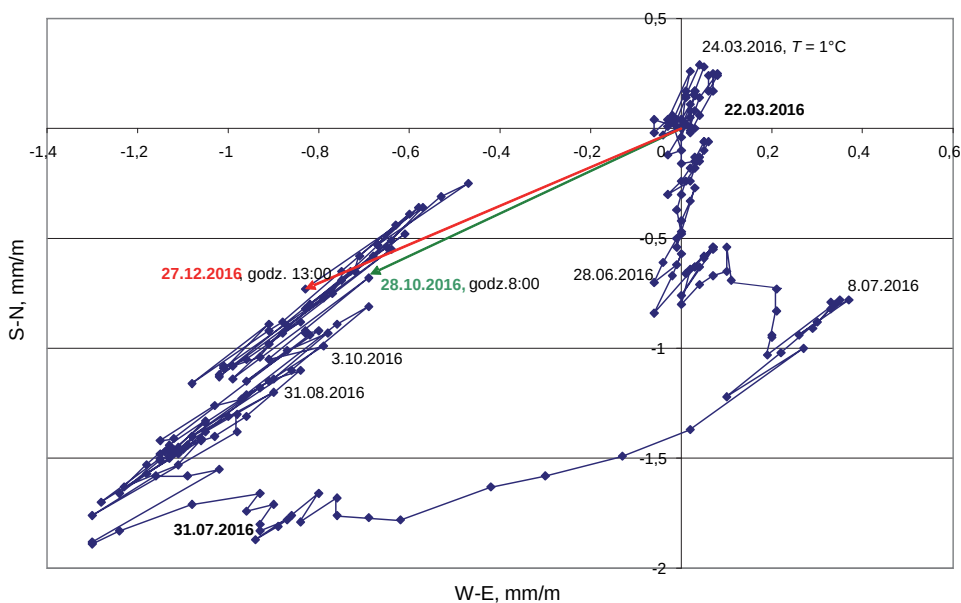
Rejestracja danych jest oparta na wielokanałowej karcie przetwornika A/C o rozdzielczości 12 bitów, komputerze klasy IBM PC z twardym dyskiem i łączem internetowym. Sterowanie rejestratorem, podgląd oraz przysyłanie danych odbywa się w trybie łączności *on line* za pomocą łącza GPRS.

Czujnik wychyleń i rejestrator cyfrowy w stalowych, zamykanych obudowach, został zainstalowany na kominie Terma-Domu w Zabrze – pole Biskupice (opis komina i jego wychyleń przedstawiono w rozdz. 4.5). Czujnik umożliwił względny pomiar wychyleń komina w określonych przedziałach czasu i prowadzenie ciągłego monitoringu wychyleń podstawy komina. Wcześniej układ pomiarowy był sprawdzany w laboratorium, na stole wychylnym sterowanym śrubą mikrometryczną. Czujnik znajdował się na południowo-wschodnim obwodzie komina u jego podstawy – na wysokości 2 m nad posadzką (fot. 9.2.1). Kierunki pomiarowe czujnika wychyleń zostały zorientowane i opisane w układzie kartograficznym, zgodnie z kierunkami stron świata.

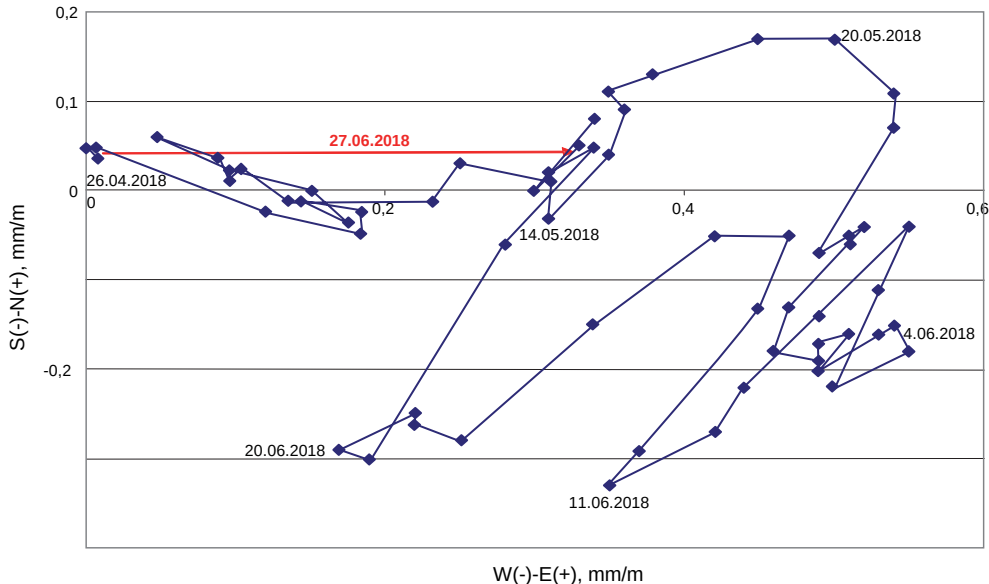
Pomiary były prowadzone 22 marca 2016 r., godz. 12.30; w dniu zainstalowania rozpoczął się ciągły monitoring. Wykresy zachowania się podstawy komina w trzech okresach, od 22.03.2016 r. do 27.12.2016 r., od 26.04.2018 r. do 27.06.2018 r. oraz od 1.07.2018 r. do 22.05.2019 r., przedstawiono na rysunkach 9.2.4 i 9.2.5, a rysunek 9.2.6 pokazuje wykres wychyleń wypadkowych.



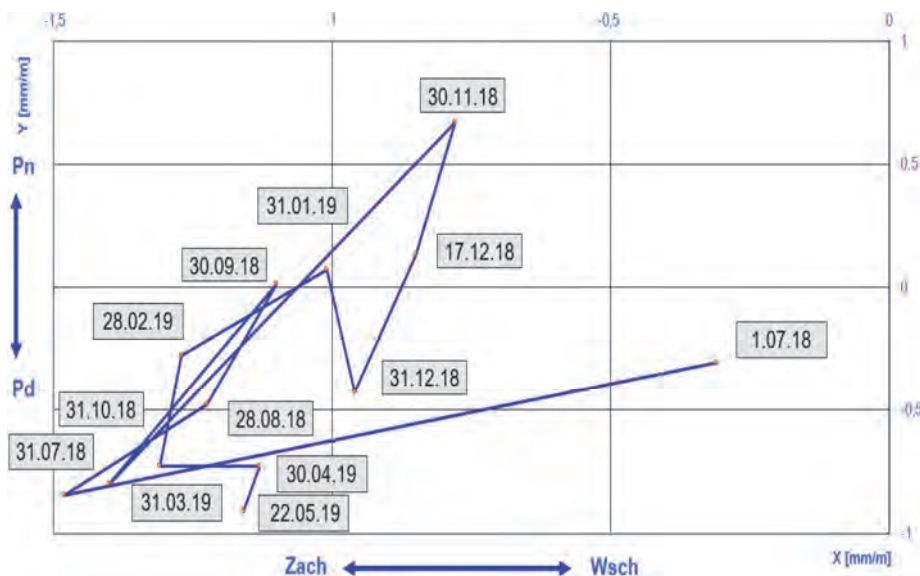
Fot. 9.2.1. Miejsce zainstalowania czujnika



Rys. 9.2.4. Wykres zmiany wychyleń wypadkowych podstawy komina Terma-Domu (fot. 9.2.1) w dniach od daty instalacji, tj. 22.03.2016 r. do 27.12.2016 r.



Rys. 9.2.5. Wykres zmiany wychyleń wypadkowych podstawy komina Terma-Domu (fot. 9.2.1) w dniach od 26.04.2018 r. do 27.06.2018 r.



Rys. 9.2.6. Wykres zmiany wychyleń wypadkowych podstawy komina Terma-Domu (fot. 9.2.1) w dniach od 1.07.2018 r. do 22.05.2019 r.

Z analizy wyników ciągłych pomiarów czujnikiem laserowym wynika, że:

- w pierwszym okresie, tj. od 22.03.2016 r. do 27.12.2016 r., pod jego koniec, wystąpiły wychYLENIA podstawy komina wynoszące 0,9 mm/m w kierunku południowo-zachodnim, przy czym do 2.08.2016 r. wynosiły one 1,6 mm/m,

- dobowe wahania wynosiły 0,3–0,4 mm/m,
- w drugim kwartale 2018 roku zarówno wartości, jak i kierunek zmieniały się – w kierunku wschodnim do 0,6 mm/m i południowym do 0,3 mm/m,
- w drugim półroczu 2018 roku i pierwszym kwartale 2019 roku kierunek wychyleń był na południowy zachód, maksymalny w lipcu 2018 roku 1,2 mm/m, a na koniec I kwartału 2019 roku wynosił do 1,3 mm/m; wypadkowe wychylenie wynosiło 1,8 mm/m.

Z porównania wychyleń wierzchołka komina (rozdz. 9.5) i jego podstawy wynika, że zwroty wychyleń wierzchołka (NE) były przeciwne do jego podstawy (SW). Miało to związek z utwierdzeniem komina (połączenie z czopuchem tzw. kanałem wyrównawczym temperatury), które znajdowało się od strony zachodniej, na wysokości 2,5–10 m. Czujnik laserowy był zamontowany od strony południowo-wschodniej.

Ciągły pomiar czujnika wychyleń rejestrował wpływ wstrząsów sąsiednich kopalń, w tym najsilniejszy, który wystąpił 11.08.2018 r. o godz. 13.52. Energia wstrząsu wynosiła 9E8 J, a jego epicentrum było w odległości około 2,1 km od obiektów Terma-Domu. Uwzględniając zmierzone parametry drgań na stanowiskach pomiarowych (tzw. AMAX), wyinterpolowane przyspieszenie drgań w rejonie komina wynosiło około 330 mm/s². Odpowiadająca wstrząsowi maksymalna zarejestrowana amplituda wychyleń wynosiła 3,0 mm/m w kierunku zachodnim. Maksymalne odchylenie w kierunku wschodnim wynosiło 2,6 mm/m, po czym wychylenie wróciło do położenia bezpośrednio sprzed wstrząsu.

9.3. Urządzenia do ciągłego monitoringu przemieszczeń i deformacji

Do ciągłego monitoringu przemieszczeń i niektórych zmian deformacji można stosować urządzenia i technologie opracowane w Katedrze Ochrony Terenów Górniczych, Geoinformatyki i Geodezji Górniczej Akademii Górniczo-Hutniczej (Jaśkowski, 2018). Pozwalają one na wyznaczenie następujących wskaźników geometrycznych:

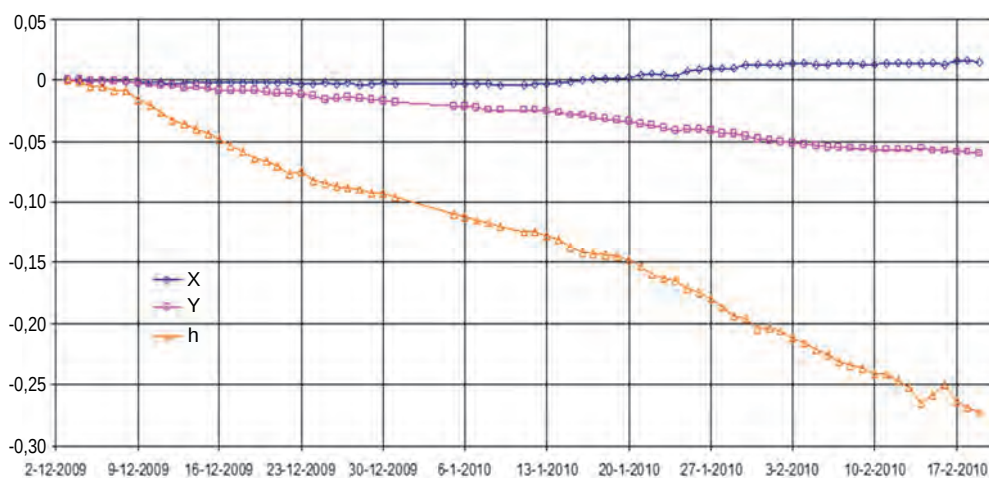
- przemieszczenia pionowe i poziome (GNSS, lasery),
- nachylenia (pochyłomierze elektroniczne, systemy laserowe),
- odkształcenia poziome ze zmian długości (systemy telemetryczne rezystancyjne i z przymiarami elektronicznymi).

Ciągły, a właściwie quasi-ciągły, pomiar przemieszczeń pionowych i poziomych można otrzymać przez wykorzystanie zamontowanej na stałe na dachu

budynku anteny odbiornika GPS (fot. 9.3.1) i systemu transmisji danych pomiarowych do bazy wyników. Wykres ilustrujący przemieszczenia w trzech kierunkach przedstawiono na rysunku 9.3.1.



Fot. 9.3.1. Antena odbiornika GPS na dachu budynku (Jaśkowski, 2018)

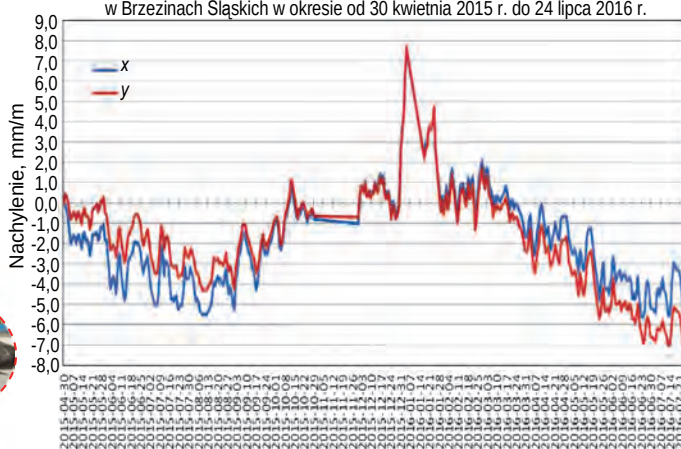


Rys. 9.3.1. Wyniki przemieszczeń poziomych i pionowych w okresie od 2.12.2009 r. do 17.02.2010 r. (Jaśkowski, 2018)

Laserowo-komputerowy system pomiarowy monitoringu jest stosowany do badania wychyleń wieży; system ten umożliwia również quasi-ciągły pomiar wychylenia; schemat jego instalacji przedstawiono na fotografiach 9.3.2 i 9.3.3 – pomiar pochylenia z zastosowaniem pochyłomierza elektronicznego MEMS.

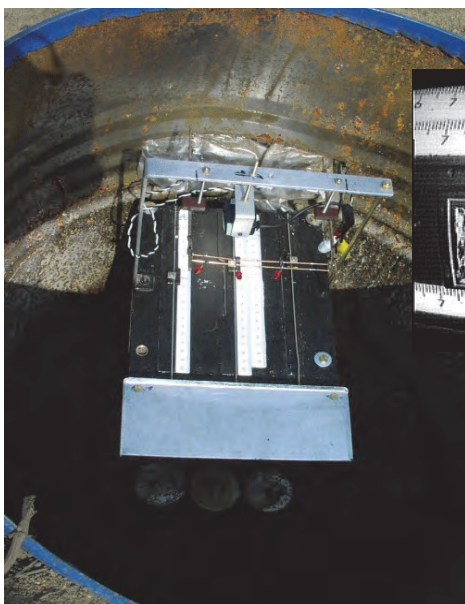


Fot. 9.3.2. Laserowo-komputerowy system pomiarowy monitoringu wychyleń wieży (Jaśkowski, 2018)

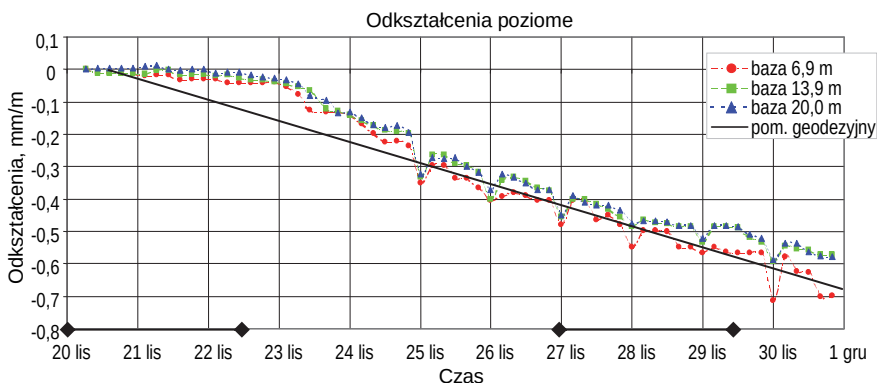
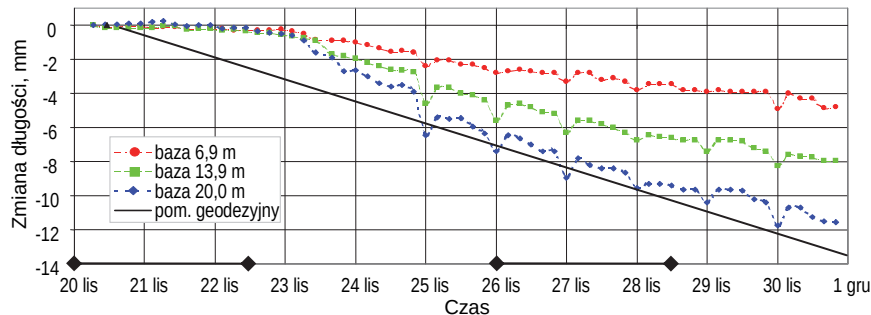


Fot. 9.3.3. Pochyłomierz elektroniczny MMS zainstalowany na wiadukcie drogowym i wyniki zmian nachylenia (Jaśkowski, 2018)

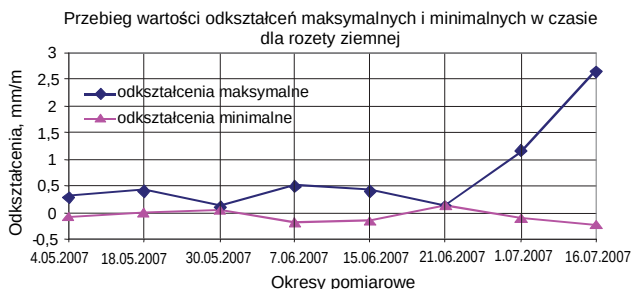
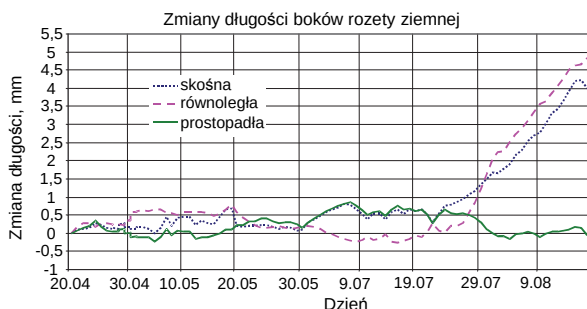
Na uwagę zasługują konstrukcje do pomiaru zmian długości baz pomiarowych na trzech odcinkach, z wykorzystaniem do rejestracji systemu telemetrycznego z kamerą TV (fot. 9.3.4), których wyniki obserwacji przedstawiono na rysunku 9.3.2. System pomiarowy, telemetryczno-rezystancyjny, służący do wyznaczania odkształceń na tzw. rozetach, pokazuje fotografia 9.3.5.



Fot. 9.3.4. Konstrukcje do pomiaru zmian długości baz pomiarowych na trzech odcinkach o różnej długości z wykorzystaniem do rejestracji systemu telemetrycznego z kamerą TV (Jaśkowski, 2018)

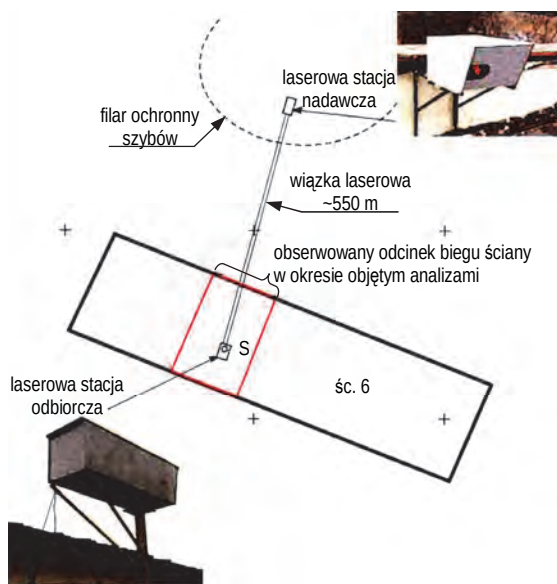


Rys. 9.3.2. Wyniki pomiaru zmian długości baz pomiarowych na trzech odcinkach z wykorzystaniem do rejestracji systemu telemetrycznego z kamerą TV (Jaśkowski, 2018)



Fot. 9.3.5. Telemetryczny rezystancyjny system pomiarowy do wyznaczania odkształceń poziomych (Jaśkowski, 2018)

Przyrządy, w których również zastosowano technikę laserową do ciągłej rejestracji obniżień, były wykorzystywane do badań prowadzonych w Politechnice Śląskiej. Sposób pomiaru i urządzenie objęto zgłoszeniem patentowym (Sokoła-Szewioła, 2011). Opracowany system składa się z dwóch segmentów – stacji nadawczej (SN) i stacji odbiorczej (SO). Stacja nadawcza zbudowana jest z urządzenia laserowego generującego promieniowanie w zakresie światła widzialnego i kolimatora optycznego, który zapewnia wymaganą zbieżność wiązki laserowej, jej kołowy kształt i stabilność na odległość do 650 m. W tej odległości maksymalna średnica plamki wynosi 0,013 m. SN jest tak skonstruowana, że umożliwia dokładne ustawienie promienia laserowego na cel i jego stabilizację. SO stanowi system detekcji plamki laserowej. Jej podstawowymi elementami są ekran obserwacyjny i kamera, która jest połączona z komputerem. Komputer umożliwia automatyczny zapis wyników pomiaru w jego pamięci. Schemat użycia układu pomiarowego do ciągłego badania obniżień powierzchni spowodowanych eksploatacją górniczą przedstawiono na rysunku 9.3.3.



Rys. 9.3.3. Schemat lokalizacji i użytkowania aparatury pomiarowej w terenie (Sokoła-Szewioła, 2011)

9.4. Skaniny laserowy 3D

Zakład Ochrony Powierzchni i Obiektów Budowlanych Głównego Instytutu Górnictwa dysponuje skanerem laserowym 3D Trimble TX5, który umożliwia pomiar obiektów z prędkością do 976 000 punktów na sekundę, w zasięgu

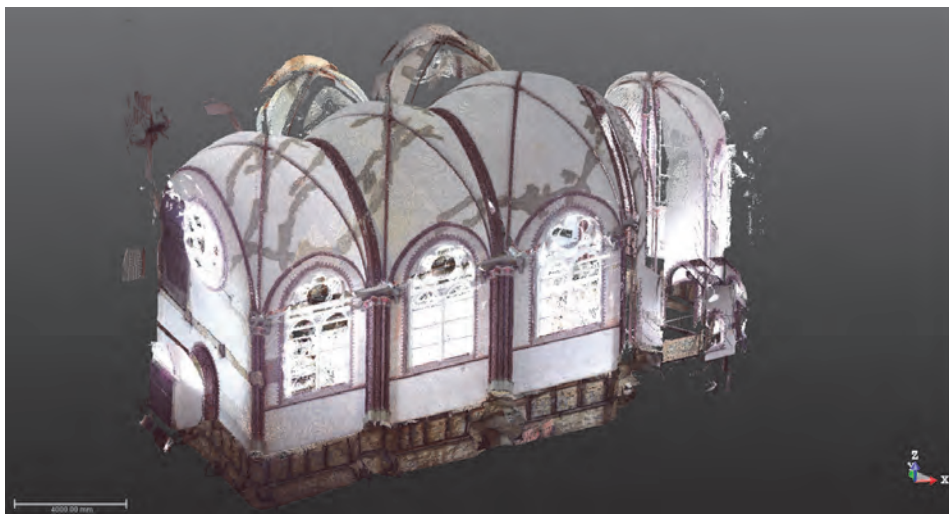
120 m (Gruchlik, 2015; Niemiec i Gruchlik, 2016). Zakład wykorzystuje również skaner laserowy 3D Riegl VZ-4000 (fot. 9.4.1), a także SX 10 do badań wysokiego komina będącego pod wpływem eksploatacji górniczej.



Fot. 9.4.1. Skaner laserowy 3D Riegl VZ-4000

Wykorzystywanie technologii skaningu laserowego pozwala na pełniejsze niż dotychczas przygotowanie oceny skutków eksploatacji górniczej w obiektach zabudowy powierzchni i oceny ich odporności na górnicze deformacje podłoża.

Przykład skanowania (skanerem 3D Trimble TX5) rektyfikowanego kościoła ewangelicko-augsburskiego w Bytomiu-Miechowicach przy ul. Matki Ewy (podrozdział 4.4.4) przedstawiono na rysunku 9.4.1. Widoczne są miejsca powstałych spękań stropu kościoła.



Rys. 9.4.1. Model 3D kościoła na bazie przeprowadzonych pomiarów wewnątrz obiektu, widok od strony północnej (Niemiec i Gruchlik, 2016)

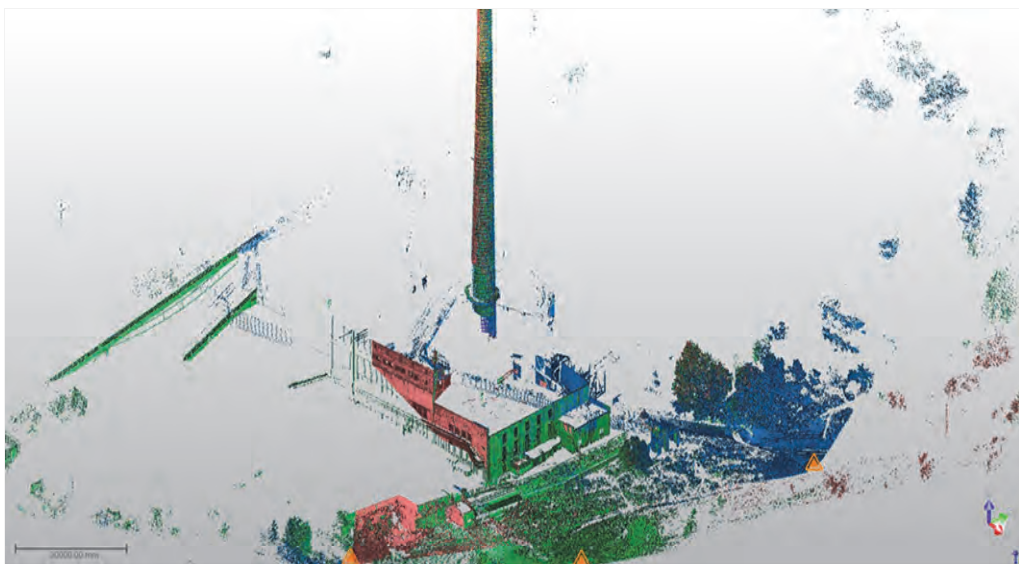
Skaner, którym dysponuje Główny Instytut Górnictwa, pozwala na gromadzenie danych geodezyjnych o stanie obecnym, pozyskiwanie danych do projektowania i przeprojektowywania oraz inspekcji technicznych i analiz porównawczych obiektów projektowanych z wykonanymi. Skanowanie obiektów budowlanych to tylko część możliwości tego urządzenia. Skaner ten wykorzystywany jest również do skanowania 3D wyrobisk górniczych, hałd i wszelkiego typu obiektów o nieregularnym kształcie (podrozdział 4.5.2.1).

Rejonem badań deformacji obiektów budowlanych z zastosowaniem skanera są obiekty koksowni (bateria koksownicza) i komina kotłowni w Zabrzę-Biskupicach o wysokości 113 m, pod którymi prowadzi się eksploatację chodnikami z pozostawieniem między nimi filarów, na przykład dla wymienionych obiektów.

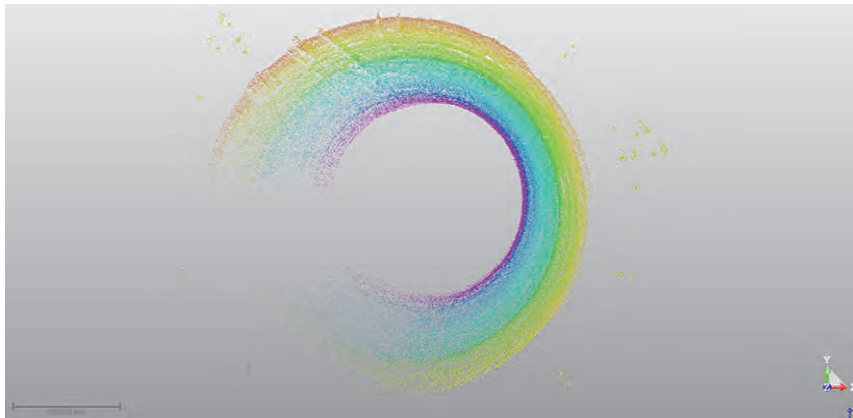
Na rysunku 9.4.2 przedstawiono zarejestrowaną chmurę punktów i model komina, a na rysunku 9.4.3 przekroje modelu 3D komina na kolejnych horyzontach.

Niezależnie od pomiarów z użyciem skanera wykonywanych przez Główny Instytut Górnictwa, prowadzone są pomiary geodezyjne przez właściciela komina i doświadczoną firmę geodezyjną, na podstawie których oszacowano *a priori* błąd średni pomiaru wychylenia komina $\pm 3,0$ cm.

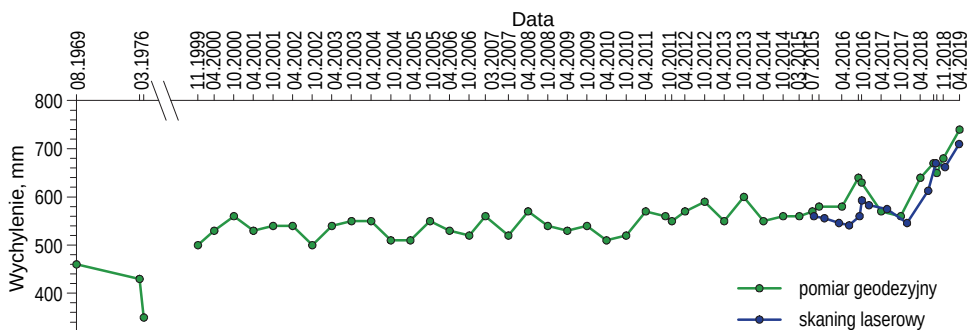
Na rysunkach 9.4.4 i 9.4.5 przedstawiono pomierzone geodezyjnie i na podstawie skaningu laserowego wartości wektorów wychyleń wierzchołka komina i ich azymutu.



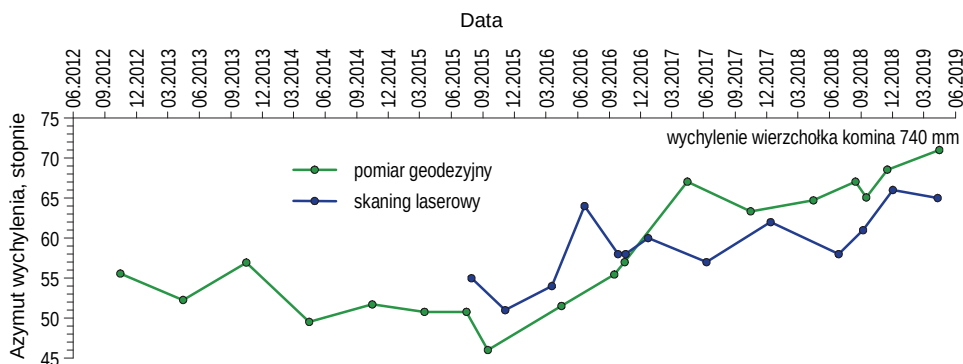
Rys. 9.4.2. Zarejestrowana chmura punktów i model komina



Rys. 9.4.3. Przekroje modelu 3D komina na kolejnych horyzontach



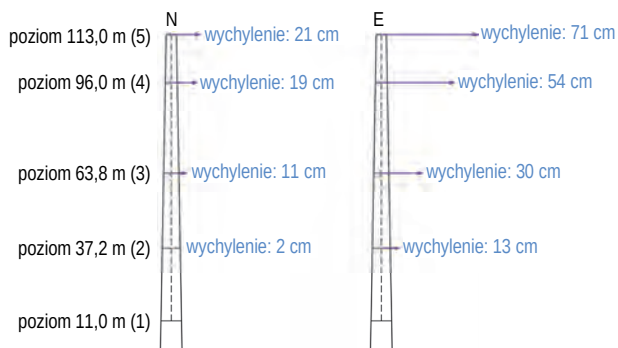
Rys. 9.4.4. Narastanie wychylenia wierzchołka komina według pomiarów geodezyjnych i skaningu



Rys. 9.4.5. Zmiany azymutu wychylenia wierzchołka komina według pomiarów geodezyjnych i skaningu

Z porównania wyników pomiarów wykonywanych dotychczas za pomocą metody geodezyjnej (klasycznej) i skanera wynika, że ich rezultaty są porównywalne – właściwie analogiczne. Pomiar z użyciem skanera daje jednak znacz-

nie większe możliwości interpretacyjne, analizę wychylenia na każdym horyzoncie, a pomiar geodezyjny określa wychylenia tylko na wybranych horyzontach (wysokościach) i kierunkach, co przedstawia rysunek 9.4.6.



Rys. 9.4.6. Wchylenia osi komina na podstawie pomiaru geodezyjnego

Na rysunku 9.4.7 przedstawiono skanowaną bryłę kościoła pw. Św. Krzyża w Bytomiu-Miechowicach (podrozdział 4.4.4) w celu wyznaczenia pionowych krzywizn murów kościoła wzdłuż linii zaznaczonych kolorem zielonym.



Rys. 9.4.7. Zeskanowana bryła kościoła z zaznaczeniem linii do wyznaczenia krzywizn

W innym kościele pw. Św. Wawrzyńca i Antoniego w Rudzie Śląskiej-Wirku w ramach monitoringu Piotr Gruchlik wykonał pomiar stropu (rys. 9.4.8), który będzie stanowić odniesienie (pomiar „0”) dla kolejnych pomiarów. Następne pomiary przez porównanie z wynikami pomiaru „0” będą pozwalać na identyfikację, ocenę i określenie ewentualnych zmian w geometrii stropu pod wpływem prowadzonej w sąsiedztwie kościoła eksploatacji górniczej. Eksploatacja prowadzona pod kościołem w Rudzie Śląskiej-Wirku jest jednym z największych wyzwań pod względem profilaktyki górniczej i budowlanej (Piecha, Szewczyk i Rutkowski, 2019), z uwagi na wielokrotną eksploatację, powstałe deformacje powierzchni oraz wykonane zabezpieczenia budowlane. Na bazie pokolorowanych zarejestrowanych chmur punktów opracowano model 3D całego stropu kościoła, co pozwoliło na szczegółową analizę przestrzenną bryły obiektu. Wirtualny, trójwymiarowy model skanowanego obiektu umożliwia opracowywanie sugestywnych wizualizacji i prezentacji typu „wirtualny spacer” (rys. 9.4.9), pozwalających skutecznie prezentować stan techniczny obiektów, ocenę i rejestrację ich uszkodzeń.

Otrzymane z procesu skanowania dane można dalej opracowywać w zakresie:

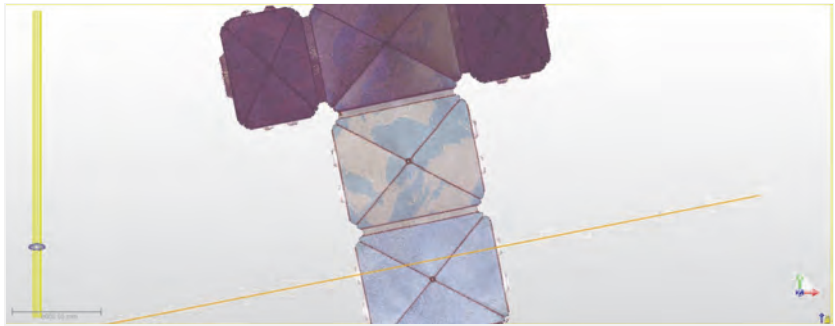
- tworzenia rysunków 2D (rzuty, przekroje, profile) (rys. 9.4.10),
- tworzenia baz danych łączących grafikę 3D z elementami opisowymi,
- porównywania zmian stanu rzeczywistego obiektu w czasie.



Rys. 9.4.8. Model 3D stropu kościoła – wynik przeprowadzonych pomiarów wewnątrz obiektu; widok od strony północno-zachodniej (autor: P. Gruchlik)



Rys. 9.4.9. Model 3D stropu kościoła – „wirtualny spacer” wewnątrz obiektu z możliwością oceny i pomiaru uszkodzeń stropu (autor: P. Gruchlik)

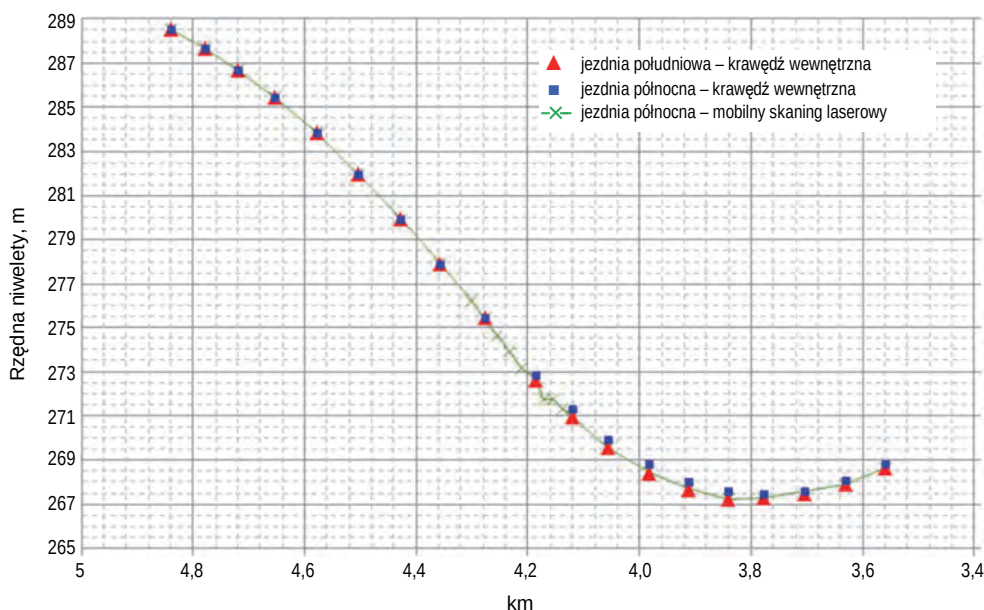


Rys. 9.4.10. Model 3D stropu kościoła – analiza wybranego przekroju stropu (autor: P. Gruchlik)

W roku 2019 w ramach prowadzonych badań deformacji autostrady A1 spowodowanych eksploatacją częściową (podrozdział 4.5.2.2), oprócz klasycznych pomiarów geodezyjnych geometrii jezdni (profilu podłużnych i poprzecznych), wykonano skanowanie laserowe z urządzenia mobilnego, na którym oprócz skanera był zainstalowany GPS. Pomiar wykonali pracownicy Politechniki Wrocławskiej (Milczarek i in., 2019). Na fotografii 9.4.2 przedstawiono skaner mobilny, a na rysunku 9.4.11 ukształtowanie rzędnej wysokościowej podłużnej jezdni autostrady.



Fot. 9.4.2. Skaner mobilny (Milczarek i in., 2019)



Rys. 9.4.11. Ukształtowanie rzędnej wysokościowej podłużnej jezdni autostrady (Milczarek i in., 2019)

Z wykonanych pomiarów wynika, że mobilny skanিং laserowy stanowi cenne uzupełnienie danych o geometrii drogi kołowej, a w przyszłości może stać się podstawowym narzędziem do monitorowania stanu dróg, w tym dróg na terenach górniczych. Wysoka rozdzielczość pomiaru daje możliwość oceny dodatkowych parametrów opisujących stan nawierzchni (np. równość poprzeczna, stan powierzchni).

9.5. Drony

W ostatnich latach (2016–2019) do badań deformacji trudno dostępnych fragmentów obiektów budowlanych wykorzystywane są drony. Zostały one między innymi wykorzystane do badania stanu muru komina (rozdz. 4.5), a także do przeglądu uszkodzeń budynków w Bytomiu, kościoła w Rudzie Śląskiej-Wirku.

Dron to popularna nazwa bezzałogowego statku powietrznego pilotowanego zdalnie lub wykonującego lot autonomicznie, sterowanego z ziemi przez wykwalifikowanego operatora. Dron – model DJI Mavic Pro jest przystosowany do wszelkiego rodzaju rejestracji foto-video, do badań kartograficznych – sporządzanie ortofotomapy, do inspekcji: sieci energetycznych, dachów, budynków i ich stanu technicznego. W praktyce stosowane są dwa typy dronów – płatownce i wirnikowce. Płatownce to bezzałogowe statki powietrzne o cechach samolotu, a wirnikowce – o cechach helikoptera.

Największą przydatność do stosowania w branży budowlanej mają wirnikowce. Nowoczesne drony tego typu mogą spędzić w locie do kilku godzin. Oprócz standardowego wyposażenia w nadajnik GPS, kamerę HD i opcję automatycznego lądowania, w ich wyposażeniu może znajdować się szereg dodatkowych urządzeń, na przykład czujniki podczerwieni, radar, skaner laserowy lub kamera termowizyjna. Drony, oprócz platform powietrznych dla różnego typu urządzeń pomiarowych, były już stosowane do monitorowania postępu prac budowlanych, do badań mostów i obiektów budowlanych grożących zawaleniem.

Skala możliwości związanych z użyciem drona sprawia, że może on stanowić niezwykle pomocne narzędzie w monitorowaniu obiektów budowlanych. Mika, Ferenc i Czaja (2018) omówili możliwości i przedstawili przykłady zastosowania drona do badań stanu technicznego obiektów budowlanych na terenach górniczych. Zaprezentowali także program komputerowy do przetwarzania i dokumentowania wyników prowadzonych badań, który został opracowany w Głównym Instytucie Górnictwa.

Przy użyciu dronów kontrolowano stan techniczny murów kościoła, dachów kilku budynków mieszkalnych, komina ciepłowni oraz odcinka ciepłociągu i słupa linii elektroenergetycznej. Obiekty te podlegały wpływom podziemnej eksploatacji górniczej. Badania zostały wykonane przy użyciu drona (quadrokopter) DJI Mavic Pro o następujących parametrach technicznych: waga (z baterią i śmigłami) 734 g, prędkość do 65 km/h, maksymalna wysokość 5000 m n.p.m., czas lotu do 27 min, czas zawisu do 24 min, zasięg do 13 km, matryca kamery 1/2,3" 12 Mpx, maksymalna rozdzielczość zdjęć 4000×3000 px, tryby nagrywania wideo C4K 4096×2160 24p i 4K 3840×2160 24/25/30 p.

Budynek kościoła w Rudzie Śląskiej-Wirku (wnętrze kościoła przedstawiono w rozdz. 9.4) to monumentalny obiekt o rozległym i rozczłonkowanym rzucie poziomym z wysoką wieżą (fot. 9.5.1).



Fot. 9.5.1. Budynek kościoła w Rudzie Śląskiej-Wirku (Mika, Ferenc i Czaja, 2018)

Dron został wykorzystany do oceny skali uszkodzeń w górnych partiach ścian zewnętrznych kościoła (fot. 9.5.2 i fot. 9.5.3). Oględziny z poziomu terenu sugerowały poluzowanie cegieł muru południowej ściany zewnętrznej wieży w jej górnej części, co mogło stwarzać zagrożenie dla bezpieczeństwa ludzi przebywających w rejonie głównego wejścia do budynku. Nalot dronem wykazał, że w tym miejscu (fot. 9.5.3) występuje jedynie ubytek tynku, a mur ściany nie jest uszkodzony.



Fot. 9.5.2. Elewacja budynku kościoła od strony zachodniej – spękania ściany zewnętrznej nawy głównej (Mika, Ferenc i Czaja, 2018)

Fot. 9.5.3. Elewacja wieży kościoła od strony południowej – ubytek tynku ściany w górnej części wieży (Mika, Ferenc i Czaja, 2018)



Zastosowanie drona pozwoliło na kontrolę stanu technicznego dachów budynków mieszkalnych w Bytomiu (fot. 9.5.4 i fot. 9.5.5). Bezpośrednia ocena wizualna uszkodzeń pokrycia dachów i kominów z dokładnością uzyskaną przy użyciu drona byłaby możliwa dopiero po wejściu na dach. W budynkach tych konieczny byłby także montaż na dachu drabin lub rusztowań.



Fot. 9.5.4. Uszkodzenie dachówek budynku (Mika, Ferenc i Czaja, 2018)



Fot. 9.5.5. Uszkodzona głowica kominu budynku (Mika, Ferenc i Czaja, 2018)

Wykonane badania wykazały przydatność drona do kontroli stanu technicznego budowli wieżowych i obiektów, do których jest utrudniony dostęp. Przebadany komin ciepłowni w Zabrze (fot. 9.5.6) ma wysokość 113 m; zastosowanie drona umożliwiło kontrolę stanu technicznego jego ścian i głowicy (fot. 9.5.7), co wcześniej wymagało zatrudniania alpinistów.



Fot. 9.5.6. Komin ciepłowni
(Mika, Ferenc i Czaja, 2018)



Fot. 9.5.7. Głowica kominu ciepłowni
(Mika, Ferenc i Czaja, 2018)

Badany odcinek ciepłociągu w Katowicach biegnie estakadą i z poziomu terenu jest słabo widoczny. Z poziomu terenu nie są także widoczne strefy oparcia przęseł pomostu estakady na słupach (fot. 9.5.8). W rejonie badanego słupa linii elektroenergetycznej (fot. 9.5.9) powstało zalewisko, które uniemożliwia dostęp do słupa. Informacje uzyskane w wyniku użycia drona pozwalają na ocenę stanu technicznego badanych obiektów z dokładnością porównywalną do bezpośredniej obserwacji wizualnej z bliska.



Fot. 9.5.8. Strefa oparcia przęsła pomostu estakady ciepłociągu na słupie (fot. P. Kalisz)



Fot. 9.5.9. Badany słup linii elektroenergetycznej WN (fot. P. Kalisz)

Wspomniany wcześniej program komputerowy do przetwarzania i dokumentowania wyników badań obiektów budowlanych z zastosowaniem drona, działa na komputerach PC z systemem co najmniej Windows 7. Program umożliwia przeglądanie i wyodrębnianie z zarejestrowanych danych foto-wideo charakterystycznych miejsc badanego obiektu i generowanie raportu z wykonanego badania.

Kompleksowe obserwacje (klasyczne pomiary geodezyjne i obserwacje budowlane), uzupełnione o obserwacje z dronów w obiektach, pozwalają na bezpieczne prowadzenie eksploatacji górniczej pod terenami zabudowanymi i skuteczną ochronę zabudowy przed skutkami eksploatacji.

10. Deformacje powierzchni pod wpływem podziemnego zgazowania węgla (PZW)

Podziemne zgazowanie złoża węgla kamiennego to proces spalania węgla kamiennego przeprowadzany z użyciem otworów wiertniczych wykonywanych z powierzchni. Zgazowanie węgla powoduje tworzenie się pustek, w związku z tym zjawisko powstawania deformacji powierzchni jest zależne od stosunku rozmiaru pustki do głębokości. Nie jest to klasyczna eksploatacja, która wytwarza pustki w górotworze, a przeobrażenie węgla w górotworze. Nie są znane dokładnie rozmiary pustki i jej struktura w zgazowanym pokładzie.

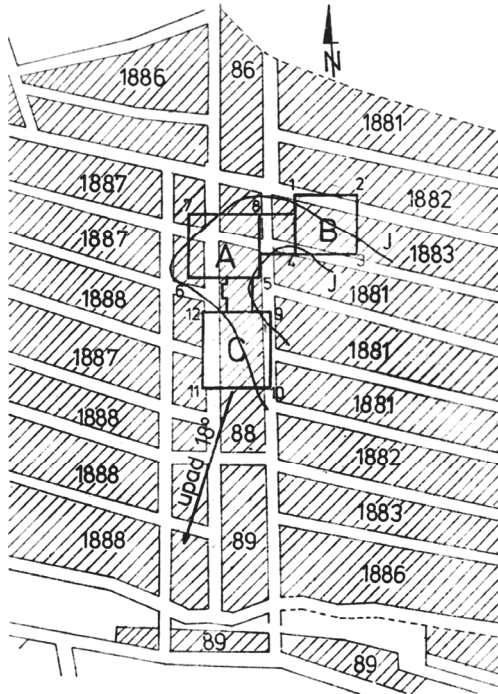
Przesłankami do oceny wpływu podziemnego zgazowania na deformacje powierzchni są:

1. Informacje o pożarach podziemnych pokładów węgla kamiennego, które występowały w polskim górnictwie węgla kamiennego i o ich skutkach na powierzchni.
2. Opisy doświadczeń z podziemnego zgazowania w górnictwie światowym.
3. Polskie doświadczenia, w tym eksperyment przeprowadzony w przeszłości w kopalni Mars (1972 r.) i współcześnie (2017 r.) w kopalni Wieczorek.

10.1. Pożary podziemne, a deformacje powierzchni

Jaros (1965) opisał długotrwały pożar, który wystąpił w kopalni Fanny znajdującej się w Wełnowcu (obecnie dzielnica Katowic). Eksploatowano tam trzy pokłady: Fanny (501), Caroline (510) i Glück (504) o grubości 2–8 m. Do pożaru doszło w pokładzie Fanny w roku 1823, w pobliżu miejsca, gdzie prowadzono niegdyś eksploatację odkrywkową. Pożar otamowano, jednak rozszerzał się nadal, przedostając się przez wypełnione miałem szczeliny w górotworze, mimo wykonanych tam drewnianych i murowanych, które nie wytrzymały nacisku gazów pożarowych. Pożary zniszczyły dużą część zasobów kopalni Fanny i znacznie przyspieszyły jej likwidację.

Rosikoń (1979) przedstawił doświadczenia z akcji pożarowej prowadzonej w roku 1977 pod biurowcem przy ul. Jesionowej w Katowicach. W trakcie budowy biurowca i po jego zbudowaniu wystąpił pożar w zrobach dokonanej eksploatacji pokładu 501. Był to rejon znajdujący się w sąsiedztwie pola pożarowego kopalni Fanny. Eksploatację prowadzono systemem śląskim z zawalaniem stropu (w latach 1882–1888), pozostawiając część zasobów w zrobach (rys. 10.1.1).



Rys. 10.1.1. Lokalizacja biurowca (segmenty A, B, C) przy ul. Jesionowej na tle zrobów w pokładzie 501 (Rosikoń, 1979)

W trakcie akcji podsadzania (po zbudowaniu biurowca) wiercono otwory do stropu pokładu 501, w którym nie stwierdzono pustek, natomiast pustki o wysokości od 0,2 do 1,5 m występowały bezpośrednio nad wybranym pokładem w warstwach skalnych położonych powyżej, w kierunku powierzchni strefy spękań i rozwarstwień. Strefy spękań górotworu stwierdzono na głębokości kilku metrów.

W czasie wykonywania wykopów pod fundamenty w roku 1971 natrafiono na pionową szczelinę o szerokości 0,3–0,4 m, przez którą wydobywały się gazy pożarowe o temperaturze około 50°C. W celu likwidacji pożaru i szczeliny wtłoczono w nie 1132 m³ pyłów dymnicowych, z czego połowę do jednego otworu. Następnie wzniesiono wieżowce (osiem i dziewięć kondygnacji), które ukończono – segment B w październiku 1973 roku, a segment A w styczniu 1974 roku.

Równocześnie z wzniesieniem segmentów rozpoczęto ich obserwacje wysokościowe, które wykazały osiadanie biurowca, zwłaszcza pod segmentami północnymi A i B. Wystąpiły nierównomierne obniżenia, które od roku 1973 do czerwca 1977 roku wynosiły:

- w segmencie B – (punkty 1–4) od 70 do 170 mm,

- w segmencie A – (punkty 5–8) od 80 do 300 mm,
- w segmencie C – (punkty 9–12) od 10 do 50 mm.

Jeśli założy się, że obniżenia były spowodowane pożarem podziemnym, który uaktywnił zaciskanie starych zrobów, to, dokonując uproszczeń i uśrednienia grubości eksploatowanego pokładu 501 do 6,5 m i pomierzonych obniżeń powierzchni do 0,3 m, współczynnik eksploatacyjny wskutek pożaru wynosiłby 0,05.

10.2. Podziemne zgazowanie węgla w światowym górnictwie i jego wpływ na deformacje powierzchni

Doświadczenia z podziemnego zgazowania złóż węgla kamiennego w zakresie obniżeń powierzchni, ujęte w sposób syntetyczny, znalazły się w raporcie Lawrence Livermore National Laboratory (Burton, Friedmann i Upadhye, 2007).

W większości przypadków, nawet przy płytkim procesie zgazowania węgla, deformacje są ograniczone. Na testowanych obszarach, łącznie z miastami Centraia (USA) i Chinchilla (Australia), zaobserwowano nieznaczne obniżenia. Większość testów, również tych prowadzonych w Stanach Zjednoczonych, nie jest jednak reprezentatywna dla procesu PZW. W kilku projektach PZW w krajach byłego Związku Radzieckiego zostały zanotowane deformacje, obniżenia powyżej 1 m i lokalne deformacje w postaci kraterów. Oprócz deformacji proces zgazowania węgla może również doprowadzać do wycieku produkowanego gazu lub zanieczyszczania wód.

Potencjalne zagrożenie powstaniem deformacji i towarzyszące temu inne zagrożenia mogą wpływać na stopień akceptacji społecznej i na podejmowanie dalszych prac związanych z PZW, które wymaga dalszych dyskusji i badań.

Według Burtona, Friedmanna i Upadhye'a (2007) istnieją cztery podstawowe rodzaje spękań górotworu prowadzące do powstania deformacji: rumowisko, formacja kominowa, obniżenia ciągłe, obniżenia w postaci gniazd:

- Rumowisko powstaje w wyniku zawалу warstw stropu i wypełnienia pustki materiałem skalnym, co prowadzi do powstania sklepienia o eliptycznym kształcie w rejonie zaciśniętej pustki. Zwiększa się objętość skał.
- Formacja kominowa występuje, gdy powierzchnia nad eksploatacją ulega spękaniu, tworząc gęste ograniczone przestrzennie pęknięcia, które obejmują swym zasięgiem nadległe skały. Zazwyczaj kominy powstają w zruszonych, spękanych skałach, a powszechnie w eksploatowanych stromych pokładach.

- Obniżenia ciągłe powierzchni w postaci niecki powyżej eksploatowanej strefy powstają wówczas, gdy strefy zawалу i spękań nie dochodzą do powierzchni, gdy skorupa ziemską posiada konkretną wytrzymałość. Obniżenia są wynikiem zarówno pionowych, jak i poziomych przemieszczeń. Zjawisko występuje powszechnie przy eksploatacji złoża systemem ścianowym i w związku z tym może także wystąpić przy podziemnym zgazowaniu węgla prowadzonym na dużą skalę.
- Formy gniazdowe (w Polsce nazywane zapadliskami) są podobne do uszkodzeń mechanicznych typu osuwiskowego, gdzie odrębny blok materiału nagle zsuwa się do pustki. Stroma płaszczyzna poślizgu jest dominującym mechanizmem tego typu uszkodzenia. Gniazda są typowe dla słabo zwięzłych skał lub dla ściśle przylegających, ale słabo spoistych. Formy gniazdowe występują na obszarach, gdzie występowały już deformacje powierzchni.

Dla płytkiego zgazowania węgla można wykorzystać zdobyte doświadczenia i dostępne metody opracowane dla płytkiej eksploatacji. Dla głębokiej eksploatacji wielkość deformacji powierzchni będzie mniejsza, a zasięg jej wpływu będzie większy. Jednak prognoza może być niedokładna, jeżeli wyżej (np. w kominie skalnym) dojdzie do pionowych spękań górotworu. Tak dzieje się, gdy wiele skał wykazuje nieliniowość naprężeniowo-odkształceniową, co komplikuje prognozę. W dodatku trudno jest pozyskać informacje dotyczące zakresu spękań.

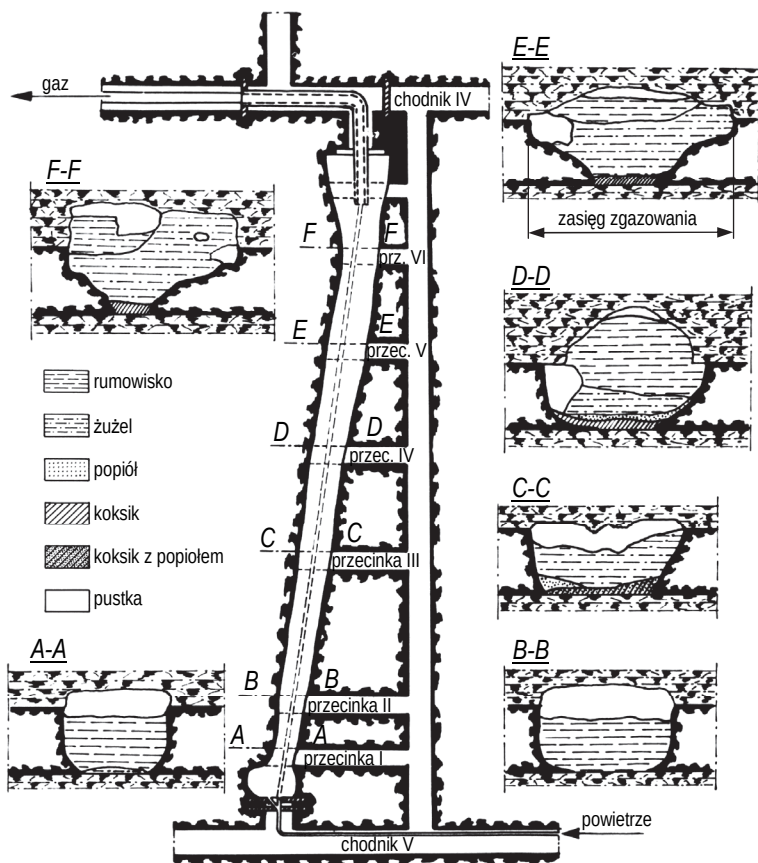
Problem jest nadal otwarty z uwagi na brak doświadczeń – pomiarów, które umożliwiłyby kalibrację zjawiska, a także brak opracowanych rozwiązań umożliwiających bardziej dokładne prognozy. Aby uzyskać lepsze dopasowanie dla eksploatacji przewidzianej na dużą skalę, należy wykorzystywać kombinacje metod empirycznych i numerycznych.

10.3. Podziemne zgazowanie węgla w polskim górnictwie i jego wpływ na deformacje powierzchni

10.3.1. Doświadczenia prowadzone w kopalni Mars

Pierwsze polskie doświadczenia z PZW pochodzą z przełomu lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych XX wieku (Rauk, 1971). Wynika z nich, że zasięg i intensywność deformacji wokół generatora zależą od jego wielkości. Energia cieplna powoduje zmiany właściwości mechanicznych skał, zeszcelinowanie górotworu i powstanie pustek. Wizualizacja wygaszonego kanału ogniowego generatora i jego przekroje poprzeczne przedstawiono na rysunku 10.3.1.

Powstała degradacja górotworu zależy od wielkości wytworzonych pustek i podzielności strukturalnej górotworu w stropie zgazowanego pokładu.

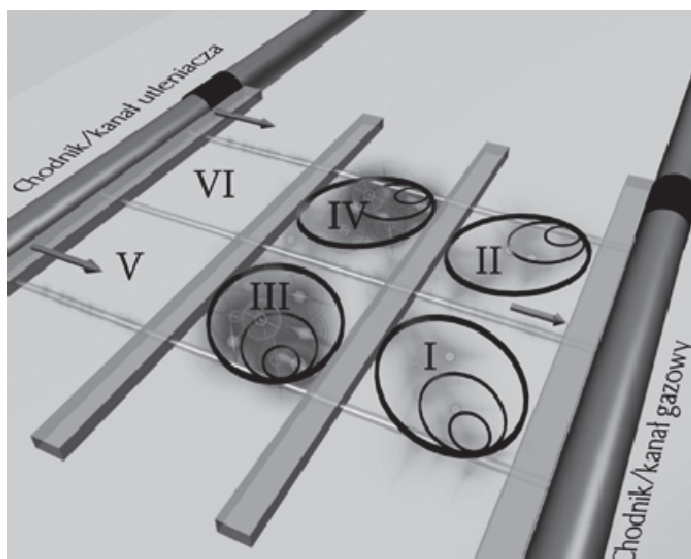


Rys. 10.3.1. Schemat wygaszonego kanału ogniowego generatora i jego przekroje poprzeczne (Rauk, 1971)

Konsekwencją spalania węgla kamiennego w pojedynczym reaktorze jest charakterystyczny gruszkowaty kształt kawerny zgazowanego węgla kamiennego (Drzewiecki, 2013). Zasięg procesu zgazowania pokładu węgla kamiennego wokół kanału (otworu) ogniowego jest zależny od parametrów pokładu, jego otoczenia oraz rodzaju utleniacza doprowadzonego do strefy ognia. Schemat generatora złożowego w PZW przedstawiono na rysunku 10.3.2.

W generatorze złożowym zakłada się zachowanie pewnych odległości między chodnikami – kanałami ogniowymi. Po zgazowaniu pokładu węgla kamiennego, będą więc występowały lokalne pustki o wysokości równej co najwyżej grubości pokładu i o pewnych skończonych wymiarach w rzucie poziomym. Zasięg tych pustek będzie ograniczony i będzie stanowił fragment

wybranego pokładu. Od rozmiarów, grubości pokładu, wielkości pól między poszczególnymi chodnikami i powstałych kawern po zgazowaniu węgla kamiennego, będzie zależać wystąpienie pustek i powstanie strefy zawału skał stropowych.



Rys. 10.3.2. Schemat generatora złożowego PZW (Drzewiecki, 2013)

W przypadku prowadzenia PZW na średnich i dużych głębokościach proces deformacji będzie zbliżony do deformacji odpowiadających eksploatacji częściowej w szachownicy (por. rys. 4.5.18b).

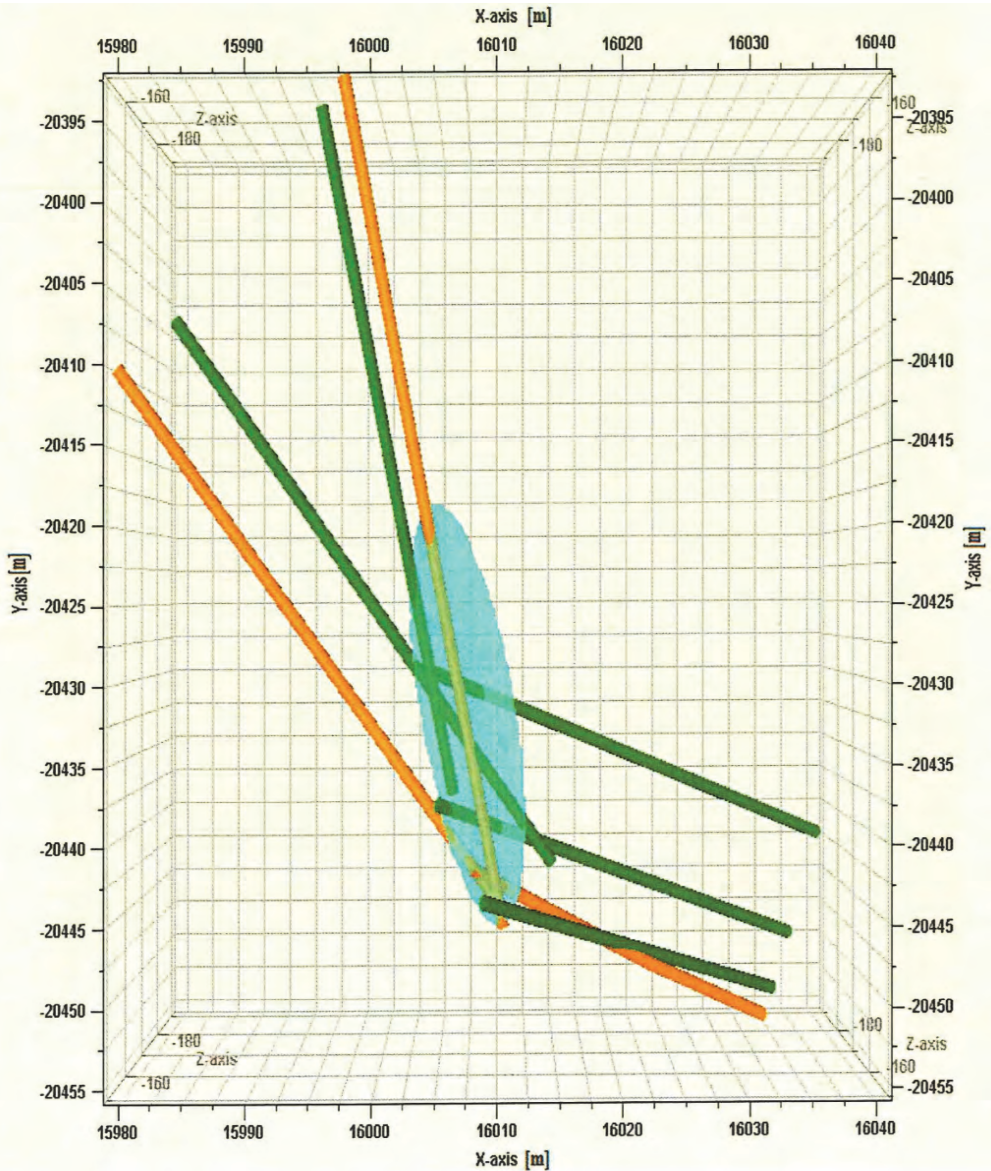
10.3.2. Doświadczenia prowadzone w kopalni Wieczorek

W latach 2013–2016 był realizowany projekt badawczy pn. *Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej*, na którego potrzeby w złożu kopalni Wieczorek przeprowadzono próbę PZW (Hildebrandt, 2017).

Georeaktor był zlokalizowany w pokładzie 501, którego grubość na głębokości 440 m wynosiła około 5 m.

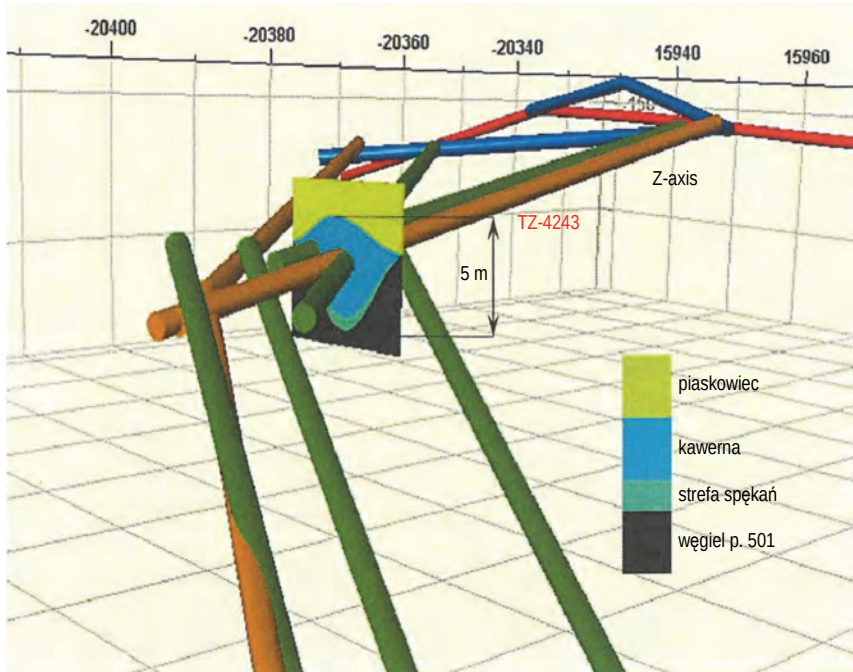
W ramach projektu wykonano między innymi badania introskopowe i geofizyczne powstałej kawerny. Wymiary geometryczne kawerny wynosiły (rys. 10.3.3):

- długość – około 32 m,
- szerokość – około 7 m,
- wysokość – około 5 m.

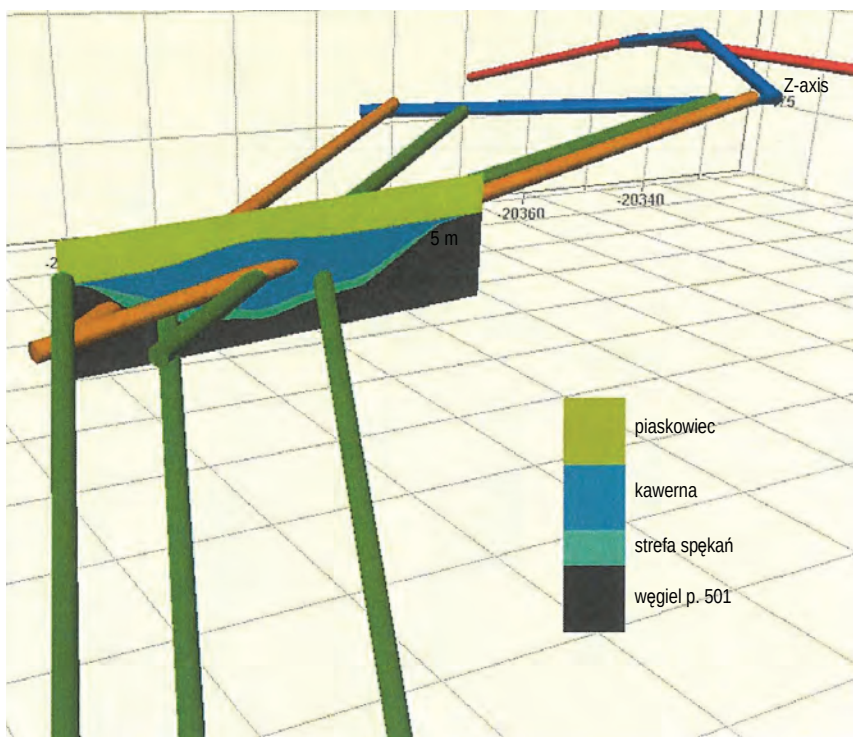


Rys. 10.3.3. Wymiary kawerny georeaktora i jej usytuowanie względem otworów w rejonie PZW (Hildebrandt, 2017)

Rysunki 10.3.4 i 10.3.5 przedstawiają przekrój przez kawernę. Temperatura w czasie procesu PZW wynosiła 1360°C. Wykonane badania wytrzymałościowe skał, ukierunkowane na porównanie wytrzymałości doraźnej na jednoosiowe ścisnienie skał piaskowca ze stropu pokładu 501 niezmiennych i zmienionych pod wpływem temperatury, wykazały spadek wartości tego parametru średnio o 60%.



Rys. 10.3.4. Przekrój przez kawernę georeaktora w kierunku osi X (Hildebrandt, 2017)



Rys. 10.3.5. Przekrój przez kawernę georeaktora w kierunku osi Y (Hildebrandt, 2017)

10.4. Prognozowanie deformacji spowodowanych procesem podziemnego zgazowania węgla

Obserwacje zachowania się powierzchni terenu, gdzie prowadzono płytką eksploatację, wykazały późniejsze wystąpienie pożarów podziemnych na skutek samozapalenia się węgla. Biorąc to pod uwagę i inne światowe doświadczenia, a także doświadczenia prowadzone w kopalni Wieczorek, uważa się, że w zakresie prognozowania deformacji powierzchni przy PZW zasadnicze znaczenie ma grubość zgazowywanego pokładu i głębokość jego zalegania. Dla małych głębokości PZW do 80 m i grubości pokładów węgla kamiennego do 2,0 m nie można wykluczyć powstania na powierzchni deformacji nieciągłych w postaci zapadlisk lub lejów, natomiast dla głębokości, na przykład 300 m i większych, można założyć, że proces deformacji będzie przebiegał analogicznie jak dla eksploatacji częściowej. Wówczas deformacje można prognozować z zastosowaniem wzorów z teorii Knothego-Budryka, przy czym zasadniczym problemem jest przyjęcie współczynnika eksploatacyjnego a , który dla średnich i dużych głębokości georeaktorów może wynosić $a = 0,05-0,1$.

Inną możliwością jest wykorzystanie przestrzennych narzędzi numerycznych (Cała, Stopkowicz i Kowalski, 2012). Dla oceny poprawności wyników uzyskanych z obliczeń numerycznych porównano je ze wskaźnikami deformacji określonymi zgodnie z teorią Knothego-Budryka. Analiza wyników wykazała, że uzyskane wartości obniżeń z obliczeń numerycznych są nieco niższe niż wyznaczone na podstawie rozwiązań empirycznych. Różnice te są najmniejsze przy większych głębokościach pola eksploatacyjnego.

Ocenę możliwości wystąpienia deformacji na powierzchni terenu w wyniku PZW można znaleźć także w publikacjach, których autorami są pracownicy Politechniki Śląskiej (np. Palarski, Jędrus i Strozik, 2013; Palarski i Strozik, 2013).

Analiza przeprowadzona dla pilotowych instalacji PZW w skali półprzemysłowej wskazuje, że osiadania powierzchni terenu będą zależne od głębokości zalegania pola eksploatacyjnego, miąższości pokładu (średnica georeaktora) i szerokości filarów. Wraz ze wzrostem głębokości osiadania na powierzchni terenu będą prawdopodobnie mniejsze (bądź nawet minimalne) w porównaniu do pól eksploatowanych z użyciem klasycznych metod górniczych.

11. Likwidacja kopalń i tereny pogórnice

11.1. Uwarunkowania prawne

W Prawie geologicznym i górniczym (Ustawa, 2017, art. 129, ust. 1, pkt 5) napisano: (...) *zobowiązuje się przedsiębiorcę górniczego do przedsięwzięcia niezbędnych środków w celu ochrony środowiska oraz rekultywacji gruntów po działalności górniczej*. W przepisach nie ma definicji terenu pogórnicego, natomiast potocznie rozumie się, że jest to teren górniczy po zakończonej eksploatacji. Kowalski i Kwiatek (2004) zaproponowali, żeby za teren pogórnicego uważać teren górniczy niepodlegający wpływom bieżącej i planowanej eksploatacji górniczej (zniesiony obszar i teren górniczy) i po wygaśnięciu koncesji na wydobywanie kopaliny. Natomiast w Poradniku metodycznym (2009, s. 10) za teren pogórnicego uważa się: (...) *teren przekształcony wpływami działalności górniczej, stanowiący przestrzeń w całości lub części zlikwidowanego zakładu górniczego po wygaśnięciu jego koncesji, pomniejszony o wpływy górnicze kopalń sąsiednich*.

Zakres działań związanych z ochroną środowiska został określony w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie planów ruchu zakładów górniczych (Rozporządzenie, 2017), w pkt. 26 pt. Ochrona Środowiska. Zamierzenia w zakresie ograniczenia i usuwania ujemnych wpływów działalności (likwidowanego, A.K.) zakładu górniczego. *W szczególności uwzględnia się:*

- 1) *opis zagospodarowania powierzchni w granicach terenu zakładu górniczego;*
- 2) *zabezpieczenia wyrobisk górniczych udostępniających złoża z powierzchni;*
- 3) *kierunki i sposób rekultywacji gruntów po działalności górniczej;*
- 4) *określenie kategorii przydatności terenu do zabudowy po zakończeniu działalności górniczej;*
- 5) *sposób ochrony wód podziemnych i powierzchniowych, w tym ujęć wód wykorzystywanych do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia;*
- 6) *wpływ likwidacji zakładu górniczego na środowisko oraz znajdujące się na powierzchni obiekty i urządzenia;*
- 7) *sposób przeciwdziałania zmianom stosunków wodnych na powierzchni po zatopieniu wyrobisk zakładu górniczego i podniesieniu poziomu wód gruntowych, z uwzględnieniem metod i środków zapobiegających powstawaniu zalewisk i podtopień terenów powierzchni;*
- 8) *sposób zabezpieczenia obiektów, urządzeń lub wyrobisk stanowiących zabytki archeologiczne i inne zabytki;*
- 9) *sposób zabezpieczenia przed niekontrolowaną emisją gazów kopalnianych;*

- 10) zasady postępowania z odpadami oraz masami ziemnymi lub skalnymi powstałymi w związku z likwidacją zakładu górniczego lub jego oznaczonej części;
- 11) gospodarkę wodno-ściekową – według wzoru nr 9, a także ogólne zamierzenia w tym zakresie w związku z likwidacją zakładu górniczego lub jego oznaczonej części.

W załącznikach do planu ruchu likwidowanego zakładu górniczego zgodnie z ww. Rozporządzeniem zamieszcza się (...) z naniesieniem:

- 1) granice obszaru i terenu górniczego oraz granice zakładu górniczego, przedstawionych zgodnie z Polskimi Normami dotyczącymi map górniczych;
- 2) obszary i tereny górnicze, których granice zostały wyznaczone w bezpośrednim sąsiedztwie obszaru i terenu górniczego;
- 3) obiekty budowlane zakładu górniczego;
- 4) wyrobiska mające połączenia z powierzchnią;
- 5) obszary płytkiej eksploatacji górniczej (o głębokości do 80 m);
- 6) miejsca występowania deformacji nieciągłych;
- 7) niecki bezodpływowe;
- 8) kategorie wpływów dokonanej eksploatacji górniczej;
- 9) obniżenia sumaryczne (całkowite);
- 10) kategorie przydatności terenu do zabudowy po zakończeniu działalności górniczej.

11.2. Skala problemu terenów pogórniczych

Rok 1990 jest istotny dla górnictwa węgla kamiennego w Polsce, bowiem rozpoczęto restrukturyzację tego sektora gospodarki, polegającą na likwidacji nierentownych kopalń (rozdz. 4.3.3 i rys. 4.3.9). Kolejny etap restrukturyzacji rozpoczął się w roku 2017, wówczas kolejne kopalnie lub ich części przekazano do Spółki Restrukturyzacji Kopalń, na przykład południową część kopalni Murcki-Staszic (O.G. Murcki I), północną część kopalni Wieczorek (O.G. Janów), północną część kopalni Mysłowice-Wesoła (O.G. Mysłowice), część kopalni Brzeszcze, nieczynne części obszarów górniczych kopalń Halemba, Pokój, Makoszowy, a także Rydułtowy-Anna. Wcześniej rozpoczęto likwidację ostatniej kopalni „Kazimierz-Juliusz” w Zagłębiu Dąbrowskim.

Biorąc pod uwagę powierzchnię w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym zlikwidowano około połowy czynnych obszarów górniczych, jakie istniały przed rokiem 1989. W roku 2010 Wyższy Urząd Górniczy w ramach realizacji priory-

tetowego programu pt. „Zmniejszenie uciążliwości wynikających z wydobywania kopalin”, zlecił Głównemu Instytutowi Górnicztwa opracowanie „Metodyki oceny zagrożeń ze strony wyrobisk górniczych mających połączenie z powierzchnią, usytuowanych na terenach zlikwidowanych podziemnych zakładów górniczych” (Kowalski, 2015).

W roku 2014 Przedsiębiorstwo Miernictwa Górniczego Sp. z o.o. w Katowicach wykonało w Zagłębiu Dąbrowskim (zgodnie z metodyką GIG) inwentaryzację 685 wyrobisk mających połączenie z powierzchnią. Wyniki inwentaryzacji znajdują się w Archiwum Dokumentacji Mierniczo-Geologicznej w Wyższym Urzędzie Górniczym. W roku 2016 Główny Instytut Górnicztwa zinwentaryzował nieczynne szyby i upadowe w kopalniach Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego, a w roku 2018 firma Gemes w kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (rozdz. 3.7).

11.3. Zagrożenia dla powierzchni na terenach pogórniczych

Zagrożenia związane z następstwami zakończonej eksploatacji górniczej wynikają z:

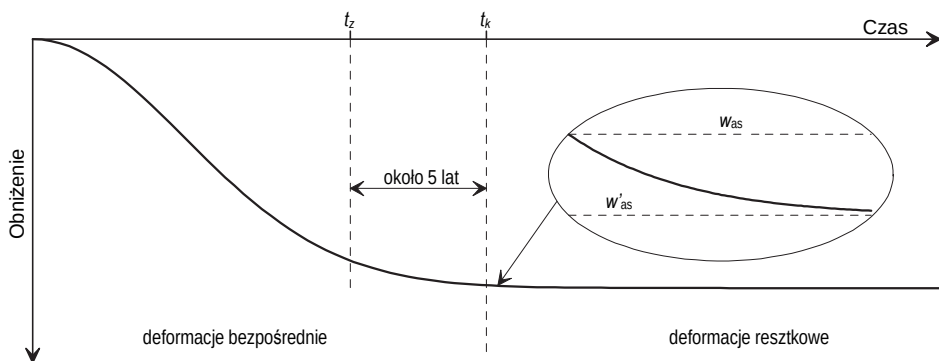
- ujawniania się opóźnionych deformacji ciągłych przypowierzchniowej warstwy górotworu, zanikania przemieszczeń powierzchni,
- wystąpienia deformacji nieciągłych typu powierzchniowego wskutek aktywizacji płytko zalegających pogórniczych pustek w górotworze,
- zagrożeń gazowych powierzchni,
- wystąpienia zalewisk i podtopień.

Zanikanie przemieszczeń powierzchni – ciągłych deformacji powierzchni

Największe przemieszczenia pionowe (obniżenia) i przemieszczenia poziome zachodzą w trakcie eksploatacji i bezpośrednio po jej zakończeniu. Są to deformacje bezpośrednie (rys. 11.3.1). W Górnośląskim Zagłębiu Węglowym czas ich ujawniania się wynosi najczęściej 1–3 lat, w Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym – do 5 lat. Podany czas zanikania deformacji odnosi się do wpływów bezpośrednich, które wyznacza się, przyjmując pewien graniczny przyrost obniżeń, na przykład w okresie jednego roku, najczęściej –10 mm, „odcinając” dalsze obniżenia w funkcji czasu. Na kształtowanie się deformacji powierzchni po zakończeniu eksploatacji górniczej wpływa sposób likwidacji kopalni, a także budowa geologiczna górotworu i warunki hydrogeologiczne panujące w górotworze.

W przypadku utrzymywania wód karbońskich w górotworze na odpowiednim poziomie przez ich pompowanie tak, aby nie doszło do zatopienia sąsied-

nich kopalń, przez długi czas może utrzymywać się zanikanie obniżień (rys. 11.3.1). Po zatopieniu kopalni może wystąpić zmiana znaku zanikających przemieszczeń pionowych (reszktowych) z ujemnych przemieszczeń – obniżień, na dodatnie przemieszczenia, czyli wypiętrzenia. Powstaje pytanie, czy są one istotne z punktu widzenia ochrony obiektów na powierzchni?



Rys. 11.3.1. Rozkład deformacji w długim czasie na przykładzie obniżień punktu:

t_z – czas zakończenia eksploatacji, t_k – prawdopodobny początek ujawniania się deformacji reszktowych, w_{as} – oszacowana asymptota bezpośrednich wpływów eksploatacji, w'_{as} – rzeczywista asymptota wpływów oszacowana po upływie długiego czasu od zakończenia eksploatacji (Kowalski, 2000)

Z pełniejszej analizy deformacji reszktowych powierzchni po zakończonej eksploatacji górniczej (Kowalski, 2000) wynika, że:

- Tereny po zakończonej eksploatacji są terenami „po przejściach” i nie zawsze mogą być zdadne do zabudowy bez ograniczeń.
- Znaczna część terenów, gdzie występowały deformacje ciągłe, nadaje się do zabudowy bez ograniczeń.
- Zmiany przemieszczeń pionowych określane z zastosowaniem interferometrii laserowej w granicach ± 70 mm 15 lat po zakończeniu eksploatacji, mogą być prawdziwe, jednak bez odpowiedniego komentarza nie uwidacznia się potrzeba wykonania zabezpieczeń, które kosztują. Sam pomiar, bez interpretacji i oceny wiarygodności, jest „ślepy”. Przydatność terenu do zabudowy powinna wynikać z planowanej inwestycji (Kowalski, 2017).

Zagrożenie powierzchni deformacjami nieciągłymi

Duże zagrożenie dla terenów pogórnich stanowią deformacje nieciągłe powierzchni, spowodowane płytką eksploatacją (do głębokości 80 m) i wystąpieniem wyrobisk górniczych mających połączenie z powierzchnią. W przypadku wznoszenia obiektów budowlanych niezbędne jest stwierdzenie stopnia

zagrożenia, uzdatnienie terenu i/lub odpowiednie zabezpieczenie obiektów. Podejmowanie decyzji dotyczących sposobu likwidacji zagrożenia powierzchni deformacjami nieciągłymi powinno być poprzedzone badaniami i analizą ekonomiczną przedsięwzięcia. Należy unikać lokalizacji obiektów na takich terenach.

Zagrożenie gazowe

Doświadczenia w​ałbrzyskich kopalń wykazuj​ą występowanie zagrożenia gazowego dla powierzchni spowodowane migracją metanu i dwutlenku węgla. Zagrożenie to intensyfikuje się w przypadku zatapiania kopalni. Jest to zjawisko ograniczone w czasie. W niektórych rejonach płytkiej starej eksploatacji powodem zagrożenia gazowego jest występowanie pól pożarowych, które można uaktywnić przez wiercenia lub odkrywki wykonywane przy wznoszeniu fundamentu obiektów. Należy prowadzić monitoring stężenia gazów i temperatury przypowierzchniowej warstwy górotworu. Teren może być czasowo niezdatny do zabudowy lub zdatny pod określonymi warunkami.

Zagrożenie wodne – podtopienia i zalewiska

Występujące podtopienia i zalewiska powoduj​ą, że nie prowadzi się zabudowy tych terenów. Problemem jest odległa w czasie prognoza dotycząca wystąpienia zalewisk i podtopień terenów, po wyłączeniu odwadniania i po zatopieniu kopalń. Tereny zagrożone zalewiskami mogą być nieprzydatne do zagospodarowania przez budowę obiektów długotrwałych (Ignacy, 2017).

11.4. Klasyfikacja terenów pogórnich

Dotychczas nie powstały ujednolicone obowiązuj​ące zasady klasyfikacji terenów pogórnich. Propozycję pierwszej, opracowanej w Głównym Instytucie Górnictwa, klasyfikacji przydatności terenów pogórnich do zagospodarowania, przedstawiono w tabeli 10.4.1 (Kowalski i Kwiatek, 2004).

Tabela 11.4.1. Kategorie przydatności terenu pogórnich do zagospodarowania (Kowalski i Kwiatek, 2004)

Oznaczenie*		Rodzaj zagrożenia	Przydatność do zagospodarowania
A		nie występuje	nieograniczona
B	B ₁	deformacje ciągłe	warunkowa
	B ₂	deformacje nieciągłe	
	B ₃	gazowe	
C		zalewiska i podtopienia	ograniczona do obiektów tymczasowych i rekreacyjnych

* Możliwe jest współwystępowanie różnych zagrożeń.

Kategoria A obejmuje takie obszary, na których nie przewiduje się żadnych ograniczeń w zakresie ich zagospodarowania. Należy jednak mieć na uwadze, że rozpatrywany obszar był w przeszłości poddany wpływom podziemnej eksploatacji górniczej i aczkolwiek występowanie objawów tych wpływów uznano za zakończone, to jednak nie można wykluczyć pojawienia się niewielkich i nieprognozowalnych deformacji przypowierzchniowej warstwy górotworu. Z tego powodu proponuje się teren kategorii A uznać za teren o możliwych nierównomiernych obniżeniach, dla którego zaleca się rozważenie potrzeby konstrukcyjnego wzmocnienia obiektów w celu uniknięcia uszkodzeń elementów wykończeniowych i architektonicznych.

Kategoria B obejmuje obszary, których przydatność do zagospodarowania jest przejściowo lub trwale warunkowa. Wydzielono w tej kategorii, w zależności od rodzaju zagrożenia, podkategorię B1 z uwagi na deformacje ciągłe powierzchni, podkategorię B2 z uwagi na deformacje nieciągłe powierzchni i podkategorię B3 z uwagi na zagrożenie gazowe. Za ograniczenia przemijające wraz z czasem można uznać zagrożenia związane z ujawniającymi się opóźnionymi deformacjami ciągłymi powierzchni i zagrożenie gazowe. Na ogół uważa się, że po upływie pięciu lat od zakończenia eksploatacji następuje stabilizacja ciągłych deformacji powierzchni i można wówczas, z uwagi na takie deformacje, zaliczyć teren do kategorii A. Ustąpienie zagrożenia gazowego wymaga natomiast potwierdzenia przez odpowiednie pomiary wykonane w ramach jego monitoringu. Zagrożenie związane z możliwością wystąpienia deformacji nieciągłych jest zagrożeniem trwałym dopóty, dopóki nie zostanie ono zlikwidowane przez zapełnienie pustek w górotworze, przy czym zaleca się wyłączenie z zabudowy rejonów zlikwidowanych szybów i sztolni.

Kategoria C obejmuje obszary nieprzydatne do zagospodarowania przez obiekty długotrwałe z uwagi na zagrożenie zalewiskami i podtopieniami. Możliwe jest wznoszenie na tych obszarach obiektów tymczasowych, przewidzianych do likwidacji przed wystąpieniem zagrożenia. Możliwe jest też zagospodarowanie terenu przez obiekty rekreacyjne.

Rozbudowaną klasyfikacją terenów górniczych w stosunku do podanej w tabeli 11.4.1 jest klasyfikacja opracowana przez geologów i geofizyków, zamieszczona w poradniku metodycznym pt. „Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla celów związanych z likwidacją kopalń” (Poradnik metodyczny, 2009). W tabeli 11.4.2 przedstawiono kategorie terenu górniczego likwidowanych kopalń ze względu na ograniczenia w wykorzystywaniu ich do celów budowlanych.

Tabela 11.4.2. Kategorie terenu pogórniczego likwidowanych kopalń ze względu na ograniczenia w wykorzystywaniu ich do celów budowlanych (Poradnik metodyczny, 2009)

Kategoria	Stopień przekształcenia poeksploatacyjnego	Ograniczenia w wykorzystaniu budowlanym	Zagrożenia		Uwagi
A	mało przekształcony	teren przydatny (przy występowaniu gruntów nośnych i zaleganiu zwierciadła wody poniżej 2 m)	praktycznie nie występują		dla wykluczenia drobnych uszkodzeń elementów wykończeniowych i architektonicznych zaleca się rozważyć wzmocnienie konstrukcji obiektu
B ₁	przekształcony	teren przydatny warunkowo	deformacje ciągłe przy obniżeniach niepowodujących podtopień		po pięciu latach od zakończenia eksploatacji można teren zaliczyć do kategorii A
B ₂			deformacje nieciągłe o stopniu zagrożenia	małym B _{2,1} ¹⁾	w przypadku płytkiej eksploatacji podziemnej kopalni i otworowej siarki oraz obecności szybów stwarzających zagrożenie
				średnim B _{2,2} ²⁾	zaliczone do stopni B _{2,1} i B _{2,2}
				dużym B _{2,3} ³⁾	możliwe jest uzdatnienie terenu do zabudowy przez podsadzenie pustek lub zastosowanie specjalnych sposobów posadowienia obiektów budowlanych; na terenach posiadających stopień zagrożenia B _{2,3} , w zależności od analizy ryzyka, należy rozważyć zaliczenie ich do kategorii C
B ₃			gazowe		zagrożenia czasowe
C	silnie przekształcony	teren nieprzydatny	zalewiska i podtopienia, rejon zagrożony powstaniem osuwisk i wielkopowierzchniowych lejów zapadliskowych (w tym np. strefy bezpieczeństwa wyznaczone wokół niezlikwidowanych szybów)		zaleca się wyłączenie z zabudowy rejonów niezlikwidowanych szybów, eksploatacji otworowej, pasów ochronnych wyrobisk odkrywkowych, terenów hałd, zwałowisk zewnętrznych i wewnętrznych oraz stref ochronnych wokół nich; wykorzystanie terenu w kierunku innym niż budowlany (tereny zielone, rekreacyjne itp.)

1) Przy spełnieniu wszystkich poniżej wymienionych warunków:

- brak zapadlisk,
- brak zjawisk sufozycznych,
- wyrobiska pionowe i pochyłe mające połączenia z powierzchnią, o znanym sposobie likwidacji,
- grubość zwieszonych skał stropowych, co najmniej pięciokrotnie większa niż wysokość wyrobisk górniczych.

2) Przy wystąpieniu jednego z niżej wymienionych warunków:

- występują zapadliska o średnicy poniżej 3 m,
- występują progi,
- występują szczeliny,
- występują szyby i szybiki o nieznanym sposobie likwidacji,
- grubość zwieszonych skał stropowych mniejsza od pięciokrotnej, a większa od trzykrotnej wysokości wyrobisk górniczych,
- wyrobiska poziome i pochyłe o nieznanym sposobie likwidacji.

3) Przy wystąpieniu jednego z niżej wymienionych warunków:

- występują zapadliska o średnicy powyżej 3 m,
- występują progi,
- występują szczeliny,
- występują zjawiska sufozyczne,
- grubość zwieszonych skał stropowych mniejsza od trzykrotnej wysokości wyrobisk górniczych,
- występują „biedaszyby”,
- występują zjawiska pożarowe w rejonach płytkiej eksploatacji węgla,
- występują intensywne zjawiska parasejsmiczne.

W komentarzu do kategorii przedstawionych w tabelach 11.4.1 i 11.4.2 należy zwrócić uwagę, że w przypadku przeznaczenia terenu na cele budowlane sposób zagospodarowania musi uwzględniać rodzaj zagrożenia i rodzaj możliwych poeksploatacyjnych deformacji powierzchni, co ma szczególne znaczenie dla kategorii B₂.

11.5. Sporządzanie map kategorii przydatności terenu pogórniczego do zabudowy

Przykłady map zawierających kategorie przydatności terenu do zabudowy po zakończeniu działalności górniczej dla jednej z kopalń, z wykorzystaniem opracowanej klasyfikacji terenów pogórnich, przedstawiono na rysunkach 11.5.1 i 11.5.2.

Na terenie wyróżniono kategorie terenu pogórniczego:

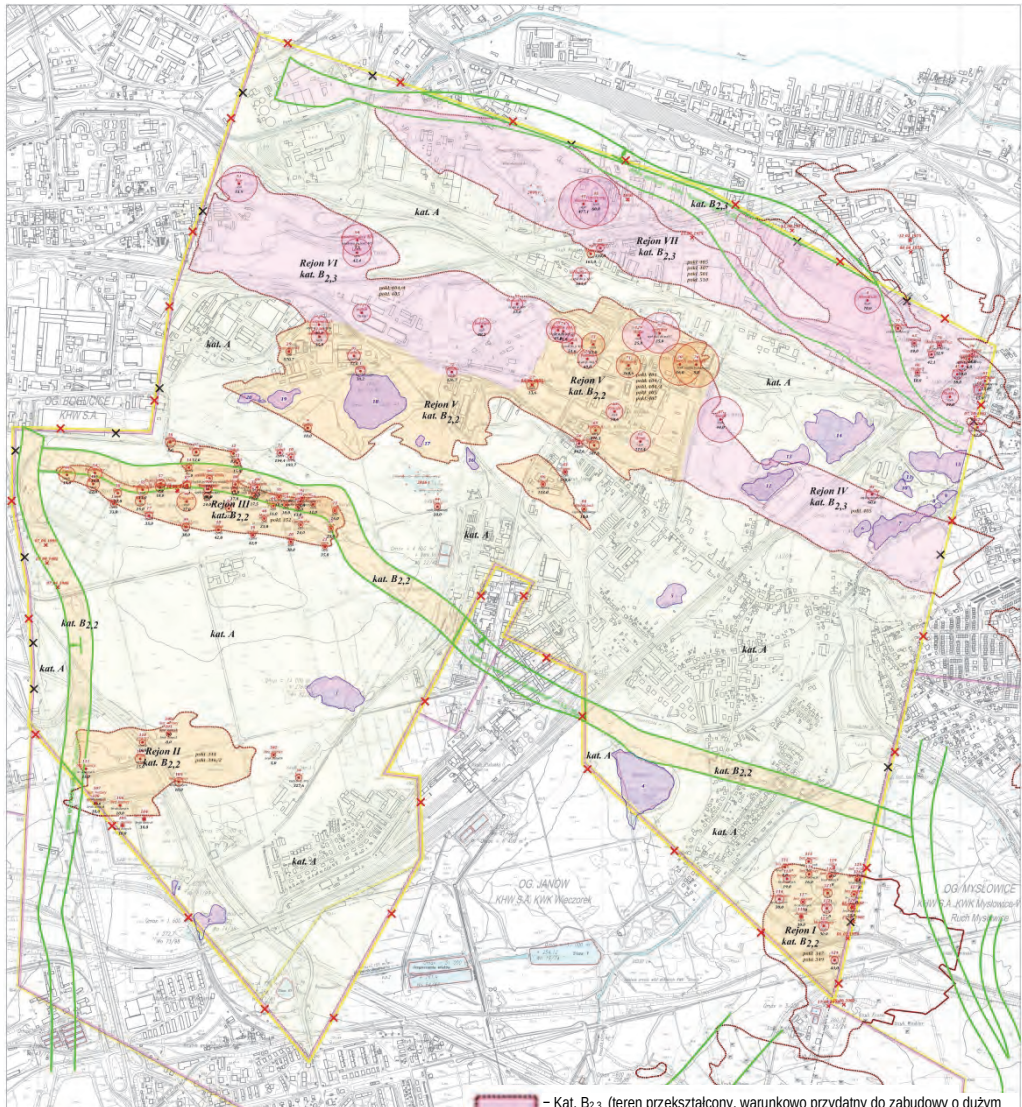
A – nie występują zagrożenia,

B₁ – deformacje ciągłe o odpowiedniej kategorii, przydatność do zabudowy warunkowa,

B₂ – deformacje nieciągłe, przydatność do zabudowy warunkowa,

B₃ – zagrożenie gazowe, przydatność do zabudowy warunkowa.

Są również kombinacje, na przykład B_{1,2} i B_{2,3}.



Legenda

- granica zlikwidowanej części obszaru górniczego Janów
- granica terenu po zakończonej działalności górniczej Janów (teren pogórniczy)
- granice obszarów płytkiej eksploatacji
- wyrobiska górnicze połączone z powierzchnią (nr wyrobiska, nazwa, rodzaj, głębokość)
- lokalizacja deformacji nieciągłych

- Kat. A (teren mało przekształcony, przydatny do zabudowy)

- Kat. B_{2,2} (teren przekształcony, warunkowo przydatny do zabudowy o średnim stopniu zagrożenia deformacjami nieciągłymi ze względu na płytką eksploatację górną)

- Kat. B_{2,3} (teren przekształcony, warunkowo przydatny do zabudowy o dużym stopniu zagrożenia deformacjami nieciągłymi ze względu na płytką eksploatację górną)

- Kat. B_{2,2} (teren warunkowo przydatny do zabudowy o średnim stopniu zagrożenia deformacjami nieciągłymi ze względu na uskok tektoniczny)

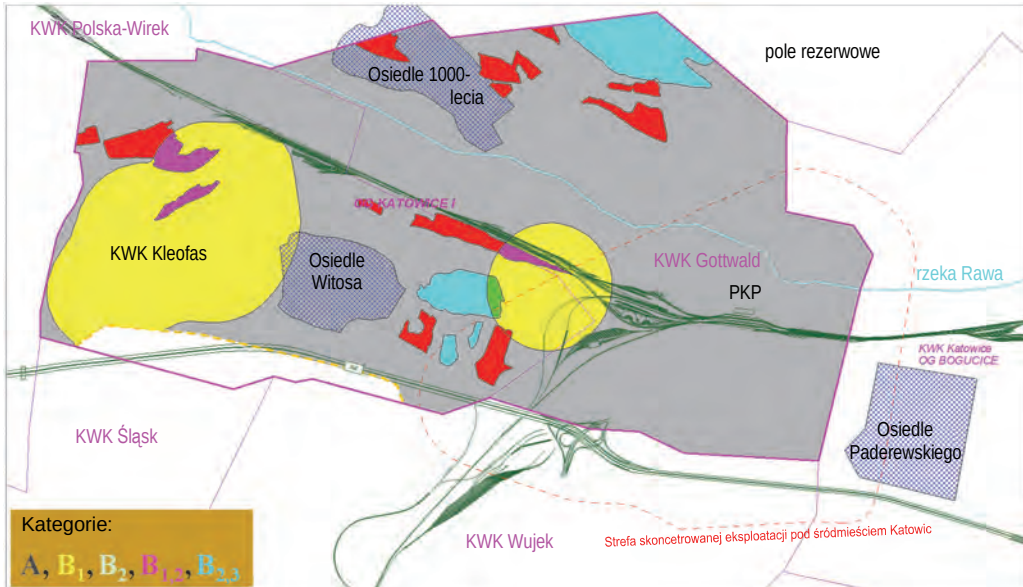
- Kat. B_{2,3} (teren warunkowo przydatny do zabudowy o dużym stopniu zagrożenia deformacjami nieciągłymi ze względu na uskok tektoniczny)

- Kat. B_{2,2} (teren warunkowo przydatny do zabudowy o średnim stopniu zagrożenia deformacjami nieciągłymi ze względu na wyrobiska górnicze mające połączenie z powierzchnią)

- Kat. B_{2,3} (teren warunkowo przydatny do zabudowy o dużym stopniu zagrożenia deformacjami nieciągłymi ze względu na wyrobiska górnicze mające połączenie z powierzchnią)

- Kat. B_{2,3} (teren warunkowo przydatny do zabudowy ze względu na zagrożenie zawaleniem)

Rys. 11.5.1. Mapa kategorii przydatności do zabudowy terenu pogórniczego (Ignacy, 2017)



Rys. 11.5.2. Mapa kategorii przydatności terenu pogórniczego do zabudowy (Kowalski, 2015)

Przedstawione podstawowe metody i klasyfikacje dotyczące oceny przydatności do zagospodarowania terenów po zakończeniu prowadzenia działalności górniczej, nazywanych terenami pogórniczymi, należy traktować jako ramowe. Jest rzeczą oczywistą, że poszczególne przedsiębiorstwa górnicze i/lub gminy mają swój odrębny charakter i wówczas trzeba przedstawione rozwiązania dostosowywać do istniejących warunków.

12. Zasady oceny możliwości prowadzenia eksploatacji górniczej

Sporządzanie planów ruchu podziemnych zakładów górniczych w aspekcie ochrony powierzchni jest unormowane przepisami, takimi jak Prawo geologiczne i górnicze (Ustawa, 2017) i Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 grudnia 2017 r. w sprawie planów ruchu zakładów górniczych (Rozporządzenie, 2017). Wyższy Urząd Górniczy uszczegółowił wymienione dokumenty przez *Wytyczne w zakresie minimalnych wymogów treści planów ruchu podziemnych zakładów górniczych w aspekcie ochrony powierzchni* (opracowane przez Departament Ochrony Środowiska i Gospodarki Złożem WUG), które nawiązują do *Zasad oceny możliwości prowadzenia eksploatacji górniczej z uwagi na ochronę obiektów budowlanych* (Kwiatkiewicz i in., 2000), pozytywnie zaopiniowanych przez Komisję ds. Ochrony Powierzchni przy Wyższym Urzędzie Górniczym. Poniżej przedstawiono główne punkty Wytycznych WUG dotyczące deformacji górniczych i ochrony powierzchni, z komentarzem zamieszczonym w przypisach.

Zgodnie z Wytycznymi WUG w treści planów ruchu:

Punkt 23 pt. „Prognoza wpływu działalności górniczej na środowisko w okresie obowiązywania koncesji”, przedsiębiorca przedstawia następujące zagadnienia:

- 1. Podaje podstawowe warunki dotyczące ochrony środowiska oraz obiektów budowlanych zawarte w:*
 - koncesji (w tym decyzji środowiskowej),*
 - projekcie zagospodarowania złoża,*
 - w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego lub studiach uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego,*
 - decyzjach administracyjnych, porozumieniach itp.*
- 2. Przedstawia ogólną charakterystykę wpływów przewidywanych od momentu obowiązywania aktualnie sporządzanego planu ruchu do końca okresu ważności posiadanej koncesji, w zakresie:*
 - deformacji powierzchni (ciągłych i nieciągłych),*
 - wstrząsów górniczych,*
 - zmian warunków wodnych.*

Punkt 24 pt. „Ochrona środowiska oraz obiektów budowlanych. Zamierzenia w zakresie zapobiegania i ograniczania szkód wyrządzonych ruchem zakładu górniczego

go w okresie obowiązywania planu ruchu”, przedsiębiorca przedstawia następujące zagadnienia:

1. Rygory związane z eksploatacją złoża w granicach filarów ochronnych wyznaczonych dla ochrony dóbr wymagających ochrony:
 - a) środki profilaktyki górniczej⁴ i budowlanej,
 - b) koordynację robót górniczych i zapobiegawczo-naprawczych,
 - c) obserwacje obiektów budowlanych,
 - d) geodezyjne, geofizyczne i inne pomiary wskaźników deformacji oraz parametrów drgań gruntu powodowanych działalnością górniczą.
2. Charakterystyka zagospodarowania powierzchni terenu górniczego w granicach zasięgu wpływów projektowanej eksploatacji na podstawie wyników inwentaryzacji.
3. Zestawienie obiektów budowlanych oraz infrastruktury technicznej o kategorii odporności równej lub niższej kategorii terenu górniczego w zasięgu wpływów projektowanej eksploatacji, z uwzględnieniem odporności dynamicznej na wstrząsy.

Uwaga! Odporność obiektów budowlanych powinna być aktualizowana przed każdą projektowaną eksploatacją górniczą.

4. Prognoza wpływu działalności górniczej na środowisko.

a. *Deformacje ciągłe.*

Prognozę deformacji należy wykonać w oparciu o wyniki analizy warunków geologiczno-górniczych. Wykonując prognozę deformacji powierzchni w planie ruchu należy:

- *Wskazać metodę zastosowaną do obliczenia wskaźników deformacji⁵.*
- *Podać przyjęte parametry teorii, uwzględniające wyniki analiz dotychczasowych geodezyjnych pomiarów deformacji powierzchni.*

Wykonując obliczenia należy uwzględnić wszystkie projektowane eksploatacje, których wpływ obejmuje analizowany teren lub obiekt, z uwzględnieniem wpływu eksploatacji dokonanej (to jest eksploatacji, której wpływy będą się ujawniały jeszcze w okresie obowiązującego nowego planu ruchu), jak również eksploatację kopalń sąsiednich.

⁴ Do określenia rygorów profilaktyki górniczej – prędkości frontu ścian eksploatacyjnych można (zaleca się) wykorzystać doświadczenia przedstawione w podrozdziałach 4.4.4 i 6.2.3 lub innych publikacjach.

⁵ Według GIG metodę prognozy, tj. nazwę autora teorii oraz programu komputerowego i zasadę sumowania wpływów wielokrotnych.

Na potrzeby planu ruchu sporządza się prognozę podstawową⁶, w której należy określić obniżenia oraz czasowo-ekstremalne wskaźniki deformacji powierzchni (nachylenia – T_{max} , krzywizny K_{max} i K_{min} oraz odkształcenia poziome ε_{max} i ε_{min}), w celu określenia kategorii terenu górniczego. Należy podać, który wskaźnik determinuje wynikową kategorię terenu górniczego, przedstawioną na załączniku kartograficznym. Na tej podstawie należy:

- Sporządzić charakterystykę obszarów objętych wpływami eksploatacji wraz z podaniem maksymalnych wartości obniżen i kategorii terenu górniczego oraz ich lokalizację.
- Przedstawić analizę wskaźników deformacji w stosunku do prognozy ujętej w PZZ oraz warunków określonych w innych dokumentach, wymienionych w pkt. 23 planu ruchu.

b. Deformacje nieciągłe.

Ocenę wystąpienia deformacji nieciągłych należy przeprowadzić poprzez wytypowanie rejonów potencjalnie zagrożonych wystąpieniem tych deformacji (szczególnie w obszarach płytkiej eksploatacji) na podstawie analiz map górniczych i przekrojów geologicznych oraz danych z rejestru deformacji nieciągłych. Strefy potencjalnego wystąpienia deformacji nieciągłych⁷ oraz obszary płytkiej eksploatacji nanosi się na załączniku nr 3 do planu ruchu.

c. Drgania gruntu.

W zakresie oceny wpływów wstrząsów górniczych spowodowanych dokonaną i projektowaną eksploatacją górniczą zaleca się stosowanie Górniczej Skali Intensywności Sejsmicznej GSIS-2017 która została pozytywnie zaopiniowana 19.01.2018 r. przez Komisję Ochrony Powierzchni przy Wyższym Urzędzie Górniczym.

d. Szkody w obiektach budowlanych oraz w infrastrukturze technicznej.

Do oceny szkód górniczych w obiektach budowlanych zasadnym jest wykorzystanie charakterystyki wymogów ochrony obiektów budowlanych na terenach górniczych ujętych w Zasadach... (Kwiatkiewicz i in., 2000). Na podstawie wykonanych prognoz oraz wyników inwentaryzacji (i pomiarów) należy:

- Wyróżnić w zestawieniu obiekty, których kategoria odporności jest o dwie niższa od prognozowanej kategorii terenu górniczego,

⁶ Według GIG jest to prognoza, która uwzględnia harmonogram eksploatacji zawierający przynajmniej termin rozpoczęcia i zakończenia eksploatacji ścian, dla których należy przyjmować współczynnik czasu $c = \infty$. Należy podać, w oparciu o które wskaźniki zostały wyznaczone kategorie terenu górniczego.

⁷ Do wyznaczenia stref liniowych nieciągłych deformacji powierzchni (LNDP) można wykorzystać wytyczne przedstawione w podrozdziale 4.6.2.3.

- Wskazać obiekty budowlane, których aktualne wychylenie jest równe bądź większe od 25 mm/m.
 - Wskazać obiekty infrastruktury technicznej narażone na powstanie szkód, które mogą spowodować zagrożenie bezpieczeństwa powszechnego lub wystąpienie szkód w mieniu o znacznym rozmiarze, ze szczególnym uwzględnieniem sieci gazowej.
5. Zamierzenia w zakresie pomiarów deformacji terenu i obiektów budowlanych objętych wpływami projektowanej eksploatacji.

Warunkiem dobrze wykonanych prognoz wpływu działalności górniczej na środowisko oraz osiągnięcia wyników faktycznych zbliżonych do wykonanego procesu analitycznego jest prowadzenie cyklicznych pomiarów geodezyjnych wykonywanych w oparciu o odpowiednio zaprojektowaną sieć pomiarową. Należy w sposób ogólny scharakteryzować zakres wykonywanych i planowanych pomiarów deformacji. Szczegółowe zasady i harmonogram ich wykonywania określa projekt pomiarów deformacji opracowany przez mierniczego górniczego. Częstość wykonywania pomiarów powinna być dostosowana do prędkości ujawniania się wpływów eksploatacji górniczej⁸.

⁸ Program pomiarów geodezyjnych lub innych (np. skanowanie obiektów) powinien być dostosowany do celu pomiarów, inny do określania wartości ekstremalnych wskaźników deformacji, a inny do badania deformacji w funkcji czasu. Drugim ważnym czynnikiem jest interpretacja wyników pomiarów w kontekście prognoz. Przykłady interpretacji można znaleźć w niniejszej monografii.

Podsumowanie

Przedstawiony stan wiedzy w zakresie deformacji górniczych spowodowanych eksploatacją pokładów węgla kamiennego wynika głównie z doświadczeń autora, które są ograniczone.

Doświadczenia światowe i polskie dotyczące kształtowania się deformacji powierzchni są bogate, jednak nie można ich przenosić bez ograniczeń, gdyż inne są warunki geologiczne i górnicze w poszczególnych zagłębiach węglowych. Jednak mogą one stać się inspiracją do prowadzenia badań i stosowania profilaktyki w obszarze, jakim jest ochrona terenów górniczych.

Praktyka w prowadzeniu eksploatacji górniczej pod ważnymi obiektami na powierzchni, miastami z monumentalnymi kościołami, czy innymi obiektami użyteczności publicznej oraz obiektami przemysłowymi pokazuje, że podjęte działania profilaktyczne zarówno górnicze, jak i budowlane, są i mogą być skuteczne, jeśli są realizowane. Świadczy o tym eksploatacja prowadzona pod wiaduktem w Wałbrzychu, pod śródmieściem Katowic i w mniejszym stopniu pod śródmieściem Bytomia.

Całościowe poznanie deformacji górotworu i ich bezbłędny opis nie są możliwe, głównie z powodu zawsze ograniczonego rozpoznania budowy geologicznej górotworu, a w przypadku eksploatacji wielokrotnej, zaszłości spowodowanych wcześniej dokonaną eksploatacją górniczą. Prowadzone pomiary wskaźników deformacji powierzchni, które są dyskretne, przybliżają nam ich opis. Problem polega jednak na powiązaniu przyczyny ze skutkiem, do czego przybliżają teorie bądź metody opisu deformacji poeksploatacyjnych. Teorie i metody prognozy deformacji są niezbędne w celu projektowania ochrony powierzchni oraz profilaktyki górniczej i budowlanej. Dlatego tak ważne jest prowadzenie pomiarów deformacji powierzchni, gdyż jak powiedział prof. J. Dubiński, tam gdzie nie ma pomiarów, nauka jest martwa.

Rozwój techniki i technologii pomiarów deformacji górotworu, w tym powierzchni i obiektów budowlanych, zdaje się wyprzedzać możliwości związane z ich wykorzystaniem do uogólnionego opisu deformacji. Nadzieją na poprawę opisu deformacji powierzchni i ochrony terenów górniczych oraz pogórnich jest rozwój metod pomiaru deformacji powierzchni i obiektów budowlanych (GPS, tensometria, interferometria), a także badania prowadzone z wykorzystaniem nowych metod, jak modelowanie numeryczne górotworu i symulowanie jego deformacji oraz metod sztucznej inteligencji (SI).

Po roku 1989 nastąpiła istotna zmiana w działalności górniczej, nierentowne kopalnie są likwidowane, a społeczeństwa krajów rozwiniętych nie chcą

górnictwa, szczególnie deformacji powierzchni i szkód górniczych. Jest to duży problem w polskim górnictwie, zwłaszcza przy udzielaniu koncesji na eksploatację nowych złóż węgla kamiennego. Wiadome jest jednak, że nie ma eksploatacji górniczej bez deformacji powierzchni, dlatego tak ważne jest poznawanie procesu deformacji powierzchni oraz jego prognozowanie i minimalizowanie.

Znakiem czasu w górnictwie węgla kamiennego w Polsce końca XX i początku XXI wieku jest likwidacja kopalń i gospodarowanie terenami pogórnicznymi, co w wielu przypadkach może być ograniczone z powodu wcześniej prowadzonej eksploatacji górniczej. Usuwanie tych ograniczeń jest możliwe, jednak wymaga wykonywania badań i ekspertyz, o czym świadczą przykłady zagospodarowania terenów pogórnicznych zlikwidowanych kopalń na Dolnym i Górnym Śląsku. Proces ten trwa.

Wskazówki dotyczące sporządzania planów ruchu podziemnych zakładów górniczych, głównie węgla kamiennego, nawiązują do *Zasad oceny możliwości prowadzenia podziemnej eksploatacji górniczej z uwagi na ochronę obiektów budowlanych* (Kwiatek i in., 2000) i *Wytycznych w zakresie minimalnych wymogów treści planów ruchu podziemnych zakładów górniczych w aspekcie ochrony powierzchni* Wyższego Urzędu Górniczego oraz doświadczeń autora.

Wyjaśnienie całej natury deformacji górotworu to zadanie zbyt trudne dla pojedynczego człowieka. Lepiej jest zrobić niewiele, zakładając, że zrobiło się to dobrze, a resztę pozostawić tym, którzy nadejdą po nas.

Literatura

1. Agioutantis Z. (2015): Subsidence Prediction Using SDPS 9/11/2015. Lexington, University of Kentucky.
2. Album (2003): Kopalnia Węgla Kamiennego „Murcki” 1657–2003. Katowice, Katowicki Holding Węglowy SA – Kopalnia Węgla Kamiennego „Murcki”.
3. Album (2007): Kubajak A., Przywara Z., Komor J., Duda A., Skiba R., Moj H.: Górnictwo i tradycje górnicze w Piekarach Śląskich. Historia, współczesność i przyszłość. Krzeszowice, Wydaw. Kubajak.
4. Atlas (1994): Atlas geologiczny Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Skala 1:100 000. Warszawa, Państwowy Instytut Geologiczny.
5. Awierszyn S.G. (1947): Sdwiżeniye gornych porod pri podziemnykh razrabotkach. Moskwa, Ugletiechzdat.
6. Bai M., Elsworth D., Saperstein L.W. (1989): Prediction of surface movement with emphasis on horizontal deformation due to mining, [w] A. Wahab Khair (ed.), Rock Mechanics as a Guide for Efficient Utilization of Natural Resources (s. 731–738). Rotterdam, Balkema.
7. Bals R. (1931/32): Beitrag zur Frage der Vorausberechnung bergbaulicher Senkungen. Mitteilungen aus der Markscheidewesen, Jg. 42/43, s. 98–111.
8. Białek J. (1991): Opis nieustalonej fazy obniżień terenu górniczego z uwzględnieniem asymetrii wpływów końcowych. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej.
9. Białek J. (1993): Sposób poprawy opisu wpływów dalekich. Przegląd Górniczy, T. 49, nr 3, s. 1–5.
10. Białek J. (1996): Angielska metoda prognozowania deformacji. Materiały konferencyjne: Ochrona Środowiska na Terenach Górniczych. Zarząd Główny SITG, Komisja Miernictwa Górniczego i Ochrony Środowiska.
11. Białek J. (2003): Algorytmy i programy komputerowe do prognozowania deformacji terenu górniczego. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej.
12. Białek J., Pomykoł M. (2004): Wpływ kształtu linii ugięcia stropu na deformacje powierzchni. V Konferencja nt. Ochrona Środowiska na Terenach Górniczych (s. 33–42). Szczyrk, ZG SITG.
13. Białek J., Wesołowski M. (2011): Problematyka numerycznego modelowania ruchów terenu górniczego na przykładzie eksploatacji pokładu 354 KWK „Chwałowice”. XI Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko, nr 2/1, s. 38–49.
14. Białek J., Mierzejowska A. (2012): Oszacowanie dokładności parametrów $tg\beta$, A_{obr} , a , wyznaczonych na podstawie pomiarów niepełnych niecek obniżeniowych. Przegląd Górniczy, T. 68, nr 8, s. 180–184.
15. Białek J., Sikora P. (2012): Symulacja wpływu nachylenia pokładu i szczeliny uskokowej na rozkład obniżień za pomocą metody automatów komórkowych. Przegląd Górniczy, T. 68, nr 8, s. 160–165.
16. Białek J., Mielimąka R., Badaj A., Kuziak A. (2005): Projekt eksploatacji pokładu 712/1-2 KWK „Marcel” w rejonie dzielnicy Niedobczyce miasta Rybnik uwzględniający minimalizację wpływów na powierzchnię terenu. Konferencja Naukowo-Techniczna VIII Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych (s. 28–36), Ustroń.

17. Białek J., Mielimąka R., Robakowski A., Kowalczyk J. (2016): Eksperymentalna częściowa eksploatacja pokładu 712/1-2, doświadczenia i wyniki pomiarów deformacji. *Przegląd Górniczy*, T. 72, nr 12, s. 32–38.
18. Biliński A. (1989): Wyniki badań ruchów górotworu w polach eksploatacji ścianowej. *Prace GIG. Seria dodatkowa*. Katowice, Główny Instytut Górnictwa.
19. Blachowski J., Milczarek W., Stefaniak P. (2014): Deformation information system for facilitating studies mining-ground development and applications. *Natural Hazards Earth System Science*, Vol. 14, s. 1667–1689.
20. Blachowski J., Milczarek W., Grzempowski P. (2015): Historical and present – day vertical movements on old mining terrains – case study of the Wałbrzych coal basin (SW of Poland). *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, Vol. 12, No. 3, s. 227–331.
21. Bondarenko V., Sotskov V. (2014): Using spatial modeling to determine the rational parameters of workings fastening in Western Donbass conditions. 15. Geokinematyczny Tag (s. 301–305). Freiberg, Institute für Markscheidewesen und Geodäsie an der Technischen Universität Bergakademie.
22. Bondarenko V., Kowalewska I., Grzaduszczyk J., Kowal A., Wiwczarzenko A. (2010): Metodologia komputerowego modelowania problemu ustoiczności podziemnych wyrobót. XIX Szkoła Eksploatacji Podziemnej (s. 1131–1138). Kraków, IGSMiE PAN.
23. Borecki M., red. (1980): Ochrona powierzchni przed uszkodzeniami górnictwem. Katowice, Wydaw. „Śląsk”.
24. Borowski W. (1986): Rozwój niecki osiadania w Centralnym Rejonie Węglowym LZW. *Prace Naukowe Politechniki Lubelskiej*, Vol. 171, s. 85–105.
25. Budryk W. (1953): Wyznaczanie wielkości poziomych odkształceń terenu. *Archiwum Górnictwa i Hutnictwa*, T. 1, z. 1, s. 63–74.
26. Budryk W., red. (1956): Zabezpieczenie techniczne inwestycji budowlanych na terenach górniczych. Część I. Warszawa, Polska Akademia Nauk – Komitet ds. Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego.
27. Burton E., Friedmann J., Upadhye R. (2007): Best Practices in Underground Coal Gasification. University of California, Lawrence Livermore National Laboratory.
28. Cała M., Stopkowicz B., Kowalski M. (2012): Modelowanie numeryczne strefy zawału i spękań w otoczeniu wyrobisk eksploatacyjnych, [w] J. Kabiesz (red.), *Zagrożenia i technologie* (s. 65–76). Katowice, Główny Instytut Górnictwa.
29. Cała M., Stopkowicz B., Kowalski M. (2015): Wybrane uwarunkowania geosrodowiskowe podziemnego zgazowania węgla określone na podstawie modelowania numerycznego procesów geotermicznych. Materiały z konferencji III Polski Kongres Górniczy, Wrocław.
30. Chang Z., Wang J., Chen M., Ao Z., Yao Q. (2015): A novel ground surface subsidence prediction model for sub-critical mining in the geological condition of a thick alluvium layer. *Frontiers in Earth Science*, Vol. 9, No. 2, s. 330–341.
31. Chećko J. (2013): Złóża węgla kamiennego w Polsce, [w] W. Konopko, red., *Bezpieczeństwo pracy w kopalniach węgla kamiennego. Tom 1: Górnictwo i środowisko* (s. 11–32). Katowice, Główny Instytut Górnictwa.
32. Chudek M. (2010): Mechanika górotworu z podstawami zarządzania ochroną środowiska w obszarach górniczych i pogórnich. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej.
33. Chudek M., Arkuszewski J., Olszowski W. (1980): Deformacje nieciągłe w obszarach górniczych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo*, z. 10.

34. Chudek M., Janusz W., Zych J. (1988): Studium dotyczące stanu rozpoznania tworzenia się i prognozowania deformacji nieciągłych pod wpływem podziemnej eksploatacji złóż. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo, z. 141.
35. Chug Y.P., Atri A. (1989): Subsidence monitoring at a shallow partial extraction room-and-pillar mine in Midwestern United States, [w] A. Wahab Khair (ed.), *Rock Mechanics as a Guide for Efficient Utilization of Natural Resources* (s. 715–722). Rotterdam, Balkema.
36. Cui X., Miao X., Wang J., Yang S., Liu H., Song Y., Liu H., Hu X. (2000): Improved prediction of differential subsidence caused by underground mining. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 37, Issue 4, s. 615–627.
37. Dai H., Deng K., Zhang H., Lian X. (2018): Research progress on prediction of mining subsidence in China. *Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN*, T. 20, nr 1, s. 135–147.
38. Drzewiecki J. (2013): Uwarunkowania występowania zagrożeń przy podziemnym zgazowaniu węgla, [w] W. Konopko, red., *Bezpieczeństwo pracy w kopalniach węgla kamiennego*, Tom 1: Górnictwo i środowisko (s. 187–200). Katowice, Główny Instytut Górnictwa.
39. Drzęźła B. (1978): Rozwiązanie pewnego przestrzennego zadania liniowej teorii sprężystości w zastosowaniu do prognozowania deformacji górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej wraz z oprogramowaniem. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo, z. 91.
40. Drzęźła B. (1989): Opis programów prognozowania deformacji górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej. Aktualny stan oprogramowania. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo, z. 165.
41. Dzegniuk B. (1975): Niektóre efekty nieliniowe w procesie osiadania nad eksploatacją górnictwem. Zeszyty Naukowe AGH, Geodezja, z. 30.
42. Ekspertyza (2014): Ocena możliwości i warunków prowadzenia eksploatacji górniczej przez KW S.A. Oddział KWK „Bobrek-Centrum” w ramach planu ruchu na lata 2015–2016 w aspekcie ochrony powierzchni. Konsorcjum GIG i ITB. Katowice, Główny Instytut Górnictwa (niepublikowana).
43. Ekspertyza (2016): Ocena możliwości i warunków prowadzenia przez WĘGLOKOKS KRAJ Sp. z o.o. KWK „Bobrek-Piekary” Ruch Bobrek eksploatacji na lata 2016–2017 w aspekcie ochrony powierzchni. Konsorcjum GIG i ITB. Katowice, Główny Instytut Górnictwa (niepublikowana).
44. Filcek H., Walaszczyk J., Tajduś A. (1994): Metody komputerowe w geomechanice górniczej. Katowice, Śląskie Wydaw. Techniczne.
45. Fiszer J. (2017): Analiza zmian warunków hydrodynamicznych oraz zmian jakości wody w obszarze niecki wałbrzyskiej w okresie od początku zatapiania kopalń do końca procesu. Prezentacja na konferencji w Wałbrzychu. Centrum Nauki i Sztuki Stara Kopalnia, Wałbrzych, 27 stycznia 2017 (niepublikowana).
46. Florkowska L., Kanciruk A. (2012): System zdalnego monitorowania deformacji obiektów budowlanych, [w] A. Kowalski, red., *Ochrona obiektów na terenach górniczych* (s. 47–55). Katowice, Główny Instytut Górnictwa.
47. Frolik A., Kotyrba A. (2015): Metodyka oceny zagrożeń ze strony opuszczonych szybów górniczych. *Przegląd Górniczy*, T. 71, nr 5, s. 10–19.
48. Frużyński A. (2012): Kopalnie węgla kamiennego w Polsce. Łódź, Dom Wydawniczy Książy Młyn.

49. Gajos S., Urbaś M., Lamot T. (2005): Kohlengewinnung in steiler Lagerung auf dem Bergwerk „Kazimierz-Juliusz”. Glückauf, Vol. 141, No. 10, s. 469–472.
50. Ghabraie B., Ren G., Barbato J., Smith J. (2017): A predictive methodology for multi-seam mining induced subsidence. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 93, s. 280–294.
51. Ghabraie B., Ren G., Smith J. (2017): Characterising the multi-seam subsidence due to varying mining configuration, insights from physical modelling. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 93, s. 269–279.
52. Ghabraie B., Ren G., Zhang X., Smith J. (2015): Physical modelling of subsidence from sequential extraction of partially overlapping longwall panels and study of substrata movement characteristics. *International Journal of Coal Geology*, Vol. 140, s. 71–83.
53. Goldreich A.H. (1926): *Die Bodenbewegungen im Kohlenrevier und deren Einfluss auf die Tagesoberfläche*. Berlin, Verlag von J. Springer.
54. Greń K. (1981): Próba ujęcia asymetrii wpływów eksploatacji górniczej przy poziomym zaleganiu pokładu. *Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej PAN, Geodezja*, z. 29.
55. Gruchlik P. (2003): *Zastosowanie modeli reologicznych do opisu nieustalonych deformacji powierzchni*. Katowice, Główny Instytut Górnictwa (rozprawa doktorska).
56. Gruchlik P. (2015): *Naziemne skanowanie laserowe 3D, doświadczenia i perspektywy*. *Przegląd Górniczy*, T. 71, nr 5, s. 20–24.
57. Gruchlik P., Kowalski A., Rajwa S., Walentek A. (2014): Modelling of rock mass and surface deformation caused by roadway mining in light of geodetic observations. 15. Geokinematischer Tag (s. 107–116). Freiberg, Institute für Markscheidewesen und Geodäsie an der Technischen Universität Bergakademie.
58. Grün E. (1995): *Analyse und Prognose von Unstetigkeit als Folge bergbaubedingter Bodenbewegungen im linksniederrheinischen Steinkohlengebiet*. Dissertation. Aachen, RWTH.
59. Gruszczyński W. (2007): *Zastosowanie sieci neuronowych do prognozowania deformacji górniczych*. Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza (rozprawa doktorska).
60. Hebliński J., red. (2002): *Historia KWK Bobrek i KWK Miechowice*. Bytom, Zakład Górniczy „Bytom III”.
61. Hegeman M. (2002): *Ein Beitrag zur Vorausberechnung horizontaler Boddenbewegungen im Steinkohlenbergbau*. Dissertation. Essen, Verlag Glückauf GmbH.
62. Hejmanowski R. (2004): *Czasoprzestrzenny opis deformacji górotworu wywołanych filarowo-komorową eksploatacją złoża pokładowego*. Rozprawy, Monografie, nr 131. Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza, Uczelniane Wydaw. Naukowo-Dydaktyczne.
63. Hejmanowski R., red. (2001): *Prognozowanie deformacji górotworu i powierzchni terenu na bazie uogólnionej teorii Knothego dla złóż surowców stałych, ciekłych i gazowych*. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Kraków, Wydaw. IGSMiE PAN.
64. Hejmanowski R. (2013): *Kinematyka deformacji górotworu i powierzchni*. Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza.
65. Hejmanowski R., Malinowska A. (2006): *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, s. 123–129.
66. Hejmanowski R., Kwinta A. (2009): *System prognozowania deformacji „MODEZ”*. *X Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych* (s. 113–124). Kraków, AGH.

67. Hejmanowski R., Sopata P., Stoch T., Wójcik A., Witkowski W.T. (2013): Wpływ odwodnienia górotworu węglowego na osiadania powierzchni terenu. *Przegląd Górniczy*, T. 69, nr 8, s. 38–43.
68. Hildebrandt R. (2017): Kompleksowa metoda oceny skutków podziemnego zgazowania węgla kamiennego. Katowice, Główny Instytut Górnictwa (rozprawa doktorska).
69. Ignacy D. (2017): Zastosowanie hydromorfologiczno-kartograficznej metody oceny zagrożenia zawodnieniem terenów górniczych do kategoryzacji terenów górniczych likwidowanych kopalń. *Przegląd Górniczy*, T. 73, nr 12, s. 7–14.
70. Janusz W., Jarosz A. (1976): Nieciągłe deformacje powierzchni terenu wywołane płytką podziemną eksploatacją górnictw. Polska Akademia Nauk, Oddział w Katowicach.
71. Jaros J. (1965): Historia górnictwa węglowego w Zagłębiu Górnośląskim do 1914. Wrocław – Warszawa – Kraków, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wydaw. Polskiej Akademii Nauk.
72. Jarosz A., Karmis M., Sroka A. (1990): Subsidence development with time – experiences from longwall operations in the Appalachian coalfield. *International Journal of Mining and Geological Engineering*, No. 8, s. 261–273.
73. Jaśkowski W. (2018): Geodezyjny monitoring ciągły deformacji terenów górniczych. Prezentacja na konferencji Ochrona środowiska na terenach górniczych w Szczyrku. ZG SITG w Katowicach.
74. Jeleński A., Jędrzejec E. (1994): Prognozowanie wpływów eksploatacji górnictwa w rejonie dyslokacji tektonicznych. *Przegląd Górniczy*, nr 3, s. 21–28.
75. Jędrzejec E. (1991): Poeksploatacyjne przemieszczenia górotworu poziomo uwarstwionego. Katowice, Główny Instytut Górnictwa (rozprawa doktorska).
76. Jędrzejec E. (2008): Eksperymentalna wersja 6.0 systemu Szkody do prognozowania deformacji nieustalonych spowodowanych eksploatacją o zmiennych dobowych postępach. Konferencja nt. Bezpieczeństwo i ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko*, wydanie specjalne nr VI, s. 115–118.
77. Jing L., Hudson J.A. (2002): Numerical methods in rock mechanics. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, Vol. 39, s. 409–429.
78. Jofis M.A., Szmielew A.I. (1985): Inżynierska geomechanika pri podziemnych razrabotkach. Moskwa, Nedra.
79. Kanciruk A. (2012): Metody tensometryczne w badaniach przemieszczeń, deformacji i zjawisk dynamicznych w gruncie i obiektach budowlanych. *Archives of Mining Sciences*. Monografia nr 15. Kraków, Instytut Mechaniki Górotworu PAN.
80. Kaszowska O. (1999): Zależność kosztów usuwania szkód górniczych w obiektach kubaturowych od krotności eksploatacji górnictwa. Raport końcowy projektu KBN nr OT12A02914. Katowice, Główny Instytut Górnictwa (niepublikowany).
81. Kaszowska O., Kowalski A., Kwiatek J. (2009): Wiarygodność prognoz deformacji powierzchni oraz prognozowanie uszkodzeń budynków i ryzyka eksploatacji. *X Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych* (s. 195–204). Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza.
82. Kawulok M. (2015): Szkody górnicze w budownictwie. Warszawa, Instytut Techniki Budowlanej.

83. Kowaluk M., Słowik M., Chomacki L. (2017): Ocena możliwości przejęcia dodatkowych wpływów górniczych przez konstrukcję kościoła pw. Św. Krzyża w Bytomiu-Miechowicach, spowodowanych wydłużeniem parceli eksploatacyjnej. Materiały z konferencji Naukowo-Szkoleniowej XIV Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Obiektów Budowlanych. Katowice, Główny Instytut Górnictwa.
84. Keinhorst H. (1934): Betrachtungen zur Bergschädenfrage. Glückauf, s. 149.
85. Klabis L., Kowalski A. (2013): Deformacje powierzchni spowodowane eksploatacją pojedynczej ściany z zawałem stropu. Przegląd Górniczy, T. 69, nr 8, s. 62–70.
86. Klenczar T. (1930): Dotacja kościelna Chorzów-Dąb i rozwój jej górniczych stosunków. Katowice, Księgarnia i Drukarnia Katolickiej Spółki Akcyjnej.
87. Klenczar T. (1939): Szkody górnicze. Będzin, Chrześcijańska Drukarnia „Nakładowa”.
88. Kłyż R. (2011): Badanie przemieszczeń pionowych metodą precyzyjnej niwelacji geometrycznej na terenie byłego Zakładu Górniczego „Julia” WKWK w Wałbrzychu. Wrocław, Wyższa Szkoła Humanistyczna – Wydział Techniczno-Ekonomiczny (niepublikowana).
89. Knothe S. (1951): Wpływ podziemnej eksploatacji na powierzchnię z punktu widzenia zabezpieczenia położonych na niej obiektów. Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza (rozprawa doktorska).
90. Knothe S. (1953a): Równanie profilu ostatecznie wykształconej niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, T. 1, z. 1, s. 22–38.
91. Knothe S. (1953b): Wpływ czasu na kształtowanie się niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, T. 1, z. 1, s. 51–62.
92. Knothe S. (1958): Ochrona powierzchni przy częściowej eksploatacji pokładu pasami. Archiwum Górnictwa, T. III, z. 1, s. 27–69.
93. Knothe S. (1984): Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej. Katowice, Wydaw. „Śląsk”.
94. Knothe S. (1993): Teoria Budryka-Knothe po latach. Szkoła Eksploatacji Podziemnej, T. 2 (s. 181–192). Kraków, CPPGSMiE PAN.
95. Knothe S. i inni (1997): Aktualna klasyfikacja zagrożenia terenów górniczych w świetle obserwacji terenowych. IV Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych (s. 379–391). Kraków, AGH, SITG, ISM, PAN.
96. Kot A. (1976): Badanie czynników wpływających na kształtowanie się niecek osiadań wywołanych eksploatacją pokładów nachylonych i stromych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo, z. 71.
97. Kotyrba A., Frolik A., Kortas Ł., Siwek S. (2016): Górnśląski system informacji przestrzennej o zagrożeniach powierzchni na terenach pogórniczych. Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, nr 94, s. 91–104.
98. Kowalska-Kwiatk J. (2008): Opis nieustalonych niecek obniżeniowych ze szczególnym uwzględnieniem wczesnego stadium ich rozwoju. Gliwice, Wydział Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej (rozprawa doktorska).
99. Kowalski A. (2007): Nieustalone górnicze deformacje powierzchni w aspekcie dokładności prognoz. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa, nr 871.
100. Kowalski A. (2008): Zabudowa terenu pogórniczego na przykładzie projektu Centrum Rozrywkowo-Handlowego Victoria w Wałbrzychu. Górnicze Zagrożenia Naturalne 2008. Zagrożenia naturalne barierą działalności górniczej. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko, nr VI, s. 195–204.

101. Kowalski A. (2015): Deformacje powierzchni w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Katowice, Główny Instytut Górnictwa.
102. Kowalski A. (2016): Wkład Eligiusza Jędrzejca w poznanie górniczych deformacji górotworu. *Przegląd Górniczy*, T. 72, nr 1, s. 82–87.
103. Kowalski A. (2017): Problem oceny zanikania resztkowych deformacji powierzchni po zakończonej eksploatacji górniczej. *Przegląd Górniczy*, T. 73, nr 11, s. 55–65.
104. Kowalski A., red. (2000): Eksploatacja górnicza a ochrona powierzchni. Doświadczenia z wałbrzyskich kopalń. Katowice, Główny Instytut Górnictwa.
105. Kowalski A., Kwiatek J. (2004): Przydatność terenów pogórnicznych dla budownictwa. *Przegląd Górniczy*, T. 60, nr 5, s. 1–5.
106. Kowalski A., Walentek A. (2013): Wpływ eksploatacji częściowej, w tym chodnikami, na deformacje powierzchni. *Sbornik referatu Mezinárodní konference Geodézie a Důlní měřictví 2013. XX. konference SDMG* (s. 105–116). Milín, Czechy, 2–4.10.2013 r.
107. Kowalski A., Jędrzejec E. (2015): Influence of subsidence fluctuation on the determination of mining area curvatures. *Archives of Mining Sciences*, Vol. 60, Issue 2, s. 487–505.
108. Kowalski A., Klabis L. (2015): Eksploatacja górnicza w filarze ochronnym dla śródmieścia Bytomia, historia i teraźniejszość. *Przegląd Górniczy*, T. 71, nr 5, s. 33–43.
109. Kowalski A., Polanin P. (2015): Analysis of the impact of the coal bed inclination and the direction of exploitation on surface deformation. *Archives of Mining Sciences*, Vol. 60, No. 4, s. 997–1012.
110. Kowalski A., Kotyrba A. (2017): Wytrobiska górnicze mające połączenie z powierzchnią w podziemnych kopalniach węgla kamiennego i barytu dolnośląskiego zagłębia węglowego, ich inwentaryzacja i ocena zagrożenia dla środowiska. *XI Konferencja Dziedzictwo i historia górnictwa oraz wykorzystanie pozostałości dawnych robót górniczych* (s. 39–41). Wrocław, Politechnika Wrocławska – Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii.
111. Kowalski A., Gruchlik P. (2018): Application of generalized function of time in preventive measures undertaken in mining on account of the protection of civil structures. *Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN*, T. 20, nr 1, s. 51–59.
112. Kowalski A., Jędrzejec E., Gruchlik P. (2010): Linear discontinuous deformations of the surface in the Upper Silesian Coal Basin. *Archives of Mining Sciences*, Vol. 55, No. 2, s. 331–346.
113. Kowalski A., Polanin P., Walentek A. (2017): Deformacje powierzchni spowodowane częściową eksploatacją w górnictwie węgla kamiennego. *Przegląd Górniczy*, T. 73, nr 10, s. 9–20.
114. Kowalski A., Walentek A., Polanin P. (2019): Numerical simulation of subsidence caused by roadway system. *Archives of Mining Sciences*, Vol. 64, Issue 2, s. 385–397.
115. Kowalski A., Gruchlik P., Kawulok M., Słowik L. (2012): Geologiczno-górniczne i budowlane okoliczności dużej awarii budynków w Bytomiu-Karbiu, [w] A. Kowalski, red., *Ochrona obiektów na terenach górniczych* (s. 150–170). Katowice, Główny Instytut Górnictwa.
116. Kratzsch H. (2008): *Bergschadenkunde*. e. v. Auflage 5. Bochum, Deutscher Markscheider-Verein.
117. Krawczyk R., Kowalski A. (1990): Koreferat dla Komisji Ochrony Powierzchni przed Szkodami Górniczymi przy Wyższym Urzędzie Górniczym (archiwum prywatne A. Kowalskiego).

118. Kwaśniewski M., Wang J. (1994): Symulacja komputerowa eksploatacji pokładu węgla systemem ścianowym z zawałem stropu. Wyniki prac z realizacji projektu celowego nr 231/CS6-9/92 pt. Wysoko wydajny kompleks ścianowy i nowa technologia wybierania węgla w KWK Staszic. Gliwice, Politechnika Śląska.
119. Kwiatek J. (2007): Obiekty budowlane na terenach górniczych. Katowice, Główny Instytut Górnictwa.
120. Kwiatek J., red. (1998): Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. Wyd. 2. Katowice, Główny Instytut Górnictwa.
121. Kwiatek J., Dubiński J., Frolik A., Gil-Kleczeńska B., Jędrzejec E., Kowalski A., Muszyński L., Mutke G., Zawora J. (2000): Zasady oceny możliwości prowadzenia podziemnej eksploatacji górniczej z uwagi na ochronę obiektów budowlanych. Seria Instrukcje nr 12. Katowice, Główny Instytut Górnictwa.
122. Lisowski A. (1997): Podsadzka hydrauliczna w polskim górnictwie. Katowice, Wydaw. „Śląsk”.
123. Litwiniszyn J. (1953): Równanie różniczkowe przemieszczeń górotworu. *Archiwum Górnictwa i Hutnictwa*, T. 1, z. 1, s. 9–21.
124. Litwiniszyn J. (1956): Zastosowanie równań procesów stochastycznych do mechaniki górotworu. *Archiwum Górnictwa*, T. 1, z. 3, s. 243–269.
125. Liu B.S. (1962.): Motion of Rock Masses Due to the Advancing Exploitation Butt in the Light of the Theory of Stochastic Media. *Biuletyn De L'Academie Polonaise Des Sciences*, T. X, nr 4.
126. Liu B.S. (1993): Ground Surface Movements Due to Underground Excavation in the People's Republic China, [w] J.A. Hudson (ed.), *Comprehensive Rock Engineering*, Vol. 4: Excavation, Support and Monitoring. Oxford – New York – Seoul – Tokyo, Pergamon Press.
127. Liua H., Hu X. (2000): Improved prediction of diferential subsidence caused by underground mining. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 37, s. 615–627.
128. Luo Y., Peng S.S. (1989): CISPM – A subsidence prediction model, [w] A. Wahab Khair (ed.), *Rock Mechanics as a Guide for Efficient Utilization of Natural Resources* (s. 853–860). Rotterdam, Balkema.
129. Magers J.A. (1993): Surface Subsidence Over a Room and Pillar Mine in the Western United States. United States Department of the Interior, Bureau of Mines, Mines and Mineral Resources.
130. Makowski A. (1924): Polskie Zagłębie Węglowe (budowa, zasoby, produkcja). Sprawozdania Polskiego Instytutu Geologicznego, T. II, z. 3–4.
131. Malinowska A., Dziarek K. (2013): Badania nad możliwością wykorzystania otwartych systemów informacji geograficznej do oceny zagrożenia powierzchni terenu deformacjami nieciągłymi. *Przegląd Górniczy*, T. 69, nr 11, s. 32–40.
132. Malinowska A., Dziarek K. (2014): Modelling of cave-in occurrence using AHP and GIS. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 14, s. 1945–1951.
133. Mazurkewicz M. (1990): Technologiczne i środowiskowe aspekty stosowania stałych odpadów przemysłowych do wypełniania pustek w kopalniach podziemnych. *Zeszyty Naukowe AGH, Seria Górnictwo*, nr 152.
134. Mazurkewicz M., Popiołek E., Niedojadło Z., Sopata P., Stoch T. (2015): Some aspects of using goafs for locating post-flotation waste in LGOM mines. *Archives of Mining Sciences*, Vol. 60, Issue 4, s. 941–954.

135. Mielimąka R. (2009): Wpływ kolejności i kierunku eksploatacji prowadzonej frontami ścianowymi na deformacje terenu górniczego. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej.
136. Mierzejowska A. (2010): Wpływ liczby i usytuowania punktów pomiarowych względem pola eksploatacyjnego na dokładność wyznaczenia wartości parametrów modelu opisującego obniżenie terenu górniczego. Gliwice, Politechnika Śląska (rozprawa doktorska).
137. Mierzejowska A. (2014): Modelowanie wpływu wielkości błędów średnich przyjmowanych wartości parametrów teorii wpływów na błąd średni prognozy obniżen, nachyleń i krzywizn terenu. *Przegląd Górniczy*, T. 70, nr 8, s. 171–176.
138. Mika W., Ferenc A., Czaja S. (2018): Monitoring obiektów budowlanych z zastosowaniem drona. *Przegląd Górniczy*, T. 74, nr 1, s. 21–26.
139. Milczarek W. (2011): Analiza zmian powierzchni górotworu po zakończeniu eksploatacji górniczej w wybranym rejonie dawnego Wałbrzyskiego Zagłębia. Wrocław, Politechnika Wrocławska – Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii (rozprawa doktorska).
140. Milczarek W. (2017): Wpływ eksploatacji górniczej na powierzchnię w okresie po zakończonej eksploatacji. Prezentacja na konferencji w Wałbrzychu. Centrum Nauki i Sztuki Stara Kopalnia, Wałbrzych, 27 stycznia (niepublikowana).
141. Milczarek W., Wais J., Kowalski A., Grygierk M. (2019): Ocena deformacji w pasie drogowym na podstawie klasycznych pomiarów geodezyjnych oraz mobilnego skaningu laserowego. Prezentacja na konferencji XV Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, Ustroń.
142. Napierała W., Duda T. (2017): Ochrona obiektów budowlanych w planowaniu eksploatacji węgla kamiennego pod terenem zurbanizowanym. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, nr 4, s. 25–33.
143. Niemczyk O. (1949): *Bergschadenkunde*. Essen, Verlag Glückauf.
144. Niemiec R., Niemiec T. (2008): Błądzenie losowe i jego zastosowanie do modelowania deformacji górotworu powodowanych eksploatacją górniczą. Konferencja nt. Bezpieczeństwo i ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko*, nr VI, s. 351–364.
145. Niemiec T. (2011): Porowatość zrobów a współczynnik eksploatacyjny. *Przegląd Górniczy*, T. 68, nr 2, s. 31–37.
146. Niemiec T. (2012): EXPLON C ver.1. Program prognozowania wartości wskaźników deformacji w punktach obliczeniowych jako skutek eksploatacji górniczej. Katowice – Jastrzębie Zdrój, PUG Kwant – MPL.
147. Niemiec T., Gruchlik P. (2016): Rektyfikacja kościoła w Bytomiu-Miechowicach i wyniki skanowania laserowego 3D. *GeoInformatica Polonica*, Vol. 15, s. 103–112.
148. Opałka K. (1983): Wpływ aktywacji eksploatacji dokonanych na kształtowanie wskaźników deformacji powierzchni terenu. Gliwice, Politechnika Śląska (rozprawa doktorska).
149. Ostrowski J. (2015): Deformacje powierzchni terenu górniczego. Kraków, Agencja Wydawniczo-Poligraficzna Art-Tekst.
150. Palarski J., Jędrus R., Stozik G. (2013): Wpływ deformacji górotworu na warunki ochrony powierzchni oraz zasoby użytkowe wód podziemnych przy podziemnym zgazowaniu węgla. *Przegląd Górniczy*, T. 69, nr 8, s. 149–155.
151. Palarski J., Stozik G. (2013): Możliwości redukcji negatywnych oddziaływań podziemnego zgazowania węgla na środowisko poprzez podsadzanie pustek podziemnych. *Przegląd Górniczy*, T. 69, nr 8, s. 156–162.

152. Palki J. (1981): Zakres, formy i przyczyny występowania deformacji nieciągłych terenu w warunkach Rybnickiego Okręgu Węglowego. Ochrona Terenów Górniczych, R. XV, nr 56, s. 15–22.
153. Pawełczyk H. (2009): Górnictwo z bezpiecznej perspektywy. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Kraków, IGSMiE PAN.
154. Pazdur J., red. (1961): Zarys dziejów górnictwa na ziemiach polskich. Tom I i II. Katowice, Wydaw. Górniczo-Hutnicze.
155. Piecha W., Szewczyk S., Rutkowski T. (2019): Ochrona powierzchni dzielnicy Wirek w świetle dokonanej i prowadzonej podziemnej eksploatacji górniczej. Przegląd Górniczy, T. 75, nr 2, s. 55–66.
156. Pilecki Z., Popiołek E. (2000): Wpływ eksploatacji rud na zagrożenia powierzchni deformacjami nieciągłymi i jego badanie za pomocą metod geofizycznych. Studia, Rozprawy, Monografie, nr 84. Kraków, IGSMiE PAN.
157. Piotrowski Z., Mazurkiewicz M. (2006): Chłonność doszczelnianych zrobów zawałowych. Górnictwo i Geoinżynieria, R. 30, z. 3, s. 37–45.
158. Plewa F., Mysłek Z., Strozik G. (2008): Zastosowanie odpadów energetycznych do zastalania rumowiska skalnego. Polityka Energetyczna, T. XI, z. 1, s. 351–360.
159. Pomykał M. (2003): Sposób opisu deformacji niepełnych niecek obniżeniowych. Gliwice, Politechnika Śląska (rozprawa doktorska).
160. Popiołek E. (1976): Rozproszenie statystyczne odkształceń poziomych terenu w świetle geodezyjnych obserwacji skutków eksploatacji górniczej. Zeszyty Naukowe AGH, Geodezja, z. 44.
161. Popiołek E. (1977): Próba oceny dokładności prognozowania maksymalnych poeksploatacyjnych odkształceń poziomych terenu. Ochrona Terenów Górniczych, R. XI, nr 39, s. 24–28.
162. Popiołek E. (2006): Kontrola prognoz wskaźników deformacji powierzchni. Konferencja nt. Bezpieczeństwo obiektów budowlanych na terenach górniczych – szkody górnicze. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko, wydanie specjalne, s. 310–322.
163. Popiołek E. (2009): Ochrona terenów górniczych. Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza.
164. Poradnik metodyczny (2009): Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla celów likwidacji kopalń (poradnik metodyczny). Warszawa, Ministerstwo Środowiska.
165. Prezentacja (2018): Prezentacja firmy Leica Geosystems na III Forum Mierniczych Górniczych w Iwkowej. Organizator: Akademia Górniczo-Hutnicza – Katedra Ochrony Terenów Górniczych, Geoinformatyki i Geodezji Górniczej.
166. Prusek S., Masny W., Walentek A. (2007): Modelowanie numeryczne górotworu wokół wyrobiska korytarzowego narażonego na wpływy ciśnień eksploatacyjnych. Górnictwo i Geoinżynieria, z. 3/1, s. 475–483.
167. Prusek S., Płonka M., Walentek A. (2016): Applying the Ground Reaction Curve Concept to the Assessment of Shield Support Performance in Longwall Faces. Arabian Journal of Geosciences, Vol. 9, No. 3, s. 1–15.
168. Przewodnik (1939): Przewodnik po Zagłębiu Dąbrowskim. Sosnowiec, Nakładem Komitetu Przewodnika po Zagłębiu Dąbrowskim.
169. Rauk J. (1971): Określenie optymalnej wielkości generatora w podziemnym zgazowaniu węgla kamiennego powietrzem na podstawie analizy ważniejszych czynników procesu. Katowice, Główny Instytut Górnictwa (rozprawa doktorska).

170. Rogoż M. (2004): Hydrogeologia kopalniana z podstawami hydrogeologii ogólnej. Katowice, Główny Instytut Górnictwa.
171. Rysiakoń A. (1979): Budownictwo komunikacyjne na terenach objętych szkodami górnictwymi. Katowice, Wydaw. Komunikacji i Łączności.
172. Rotkegel M. (2017): Metoda projektowania portalowo-szkieletowej obudowy połączeń wyrobisk korytarzowych. Katowice, Główny Instytut Górnictwa.
173. Rozporządzenie (2017): Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 grudnia 2017 r. w sprawie planów ruchu zakładów górniczych. Dz. U. z dnia 11 grudnia 2017 r., poz. 2293.
174. Rutkowski T. (2019): Ocena wpływu podsadzania zrobów zawałowych na obniżenia powierzchni terenu w warunkach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Katowice, Główny Instytut Górnictwa (rozprawa doktorska).
175. Rybak A., red. (2002): Państwowe górnictwo galmanu na terenie Dąbrowy Górniczej w XIX wieku. Dąbrowa Górnicza, Muzeum Miejskie Sztygarka.
176. Sabelanka E., Koźniewski K., red. (1983): 7599 dni Drugiej Rzeczypospolitej. Warszawa, Iskry.
177. SEH (1975): Subsidence Engineers' Handbook. National Coal Board. Mining Department.
178. Sikora P. (2011): Opis obniżen górnotworu pod wpływem podziemnej eksploatacji z wykorzystaniem automatów komórkowych. Gliwice, Politechnika Śląska (rozprawa doktorska).
179. Sikora P. (2019): Zastosowanie metody automatów komórkowych do opisu deformacji górnotworu spowodowanych podziemną eksploatacją górnictw. Monografia. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej.
180. Skinderowicz B. (1966): Określenie na podstawie pomiarów geodezyjnych kryteriów kształtowania się niecek osiadań w przypadku pokładów nachylonych. Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza (rozprawa doktorska).
181. Skinderowicz B. (1977): Stosowanie podsadzki w aspekcie ochrony środowiska. Ochrona Terenów Górniczych, T. 77, nr 3, s. 5–13.
182. Ślaski R. (2010): Warunki zatapiania kopalni „Morcinek”. Materiały konferencyjne Ochrona środowiska na terenach górniczych podziemnych i odkrywkowych zlikwidowanych zakładów górniczych w subregionie zachodnim województwa śląskiego. Rybnik – Rudy Raciborskie. Rybnik, SITG.
183. Sokoła-Szewioła V. (2011): Badanie i modelowanie czasowych zmian przemieszczeń pionowych terenu górnictw w okresie wystąpienia wstrząsu indukowanego eksploatacją ścianową. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej.
184. Sroka A. (1993): Zum Problem der Abbaugeschwindigkeit aus bergschadenskundlicher Sicht. Szkoła Eksploatacji Podziemnej '93. Kraków, CPPGSMiE PAN.
185. Sroka A. (1994): Wymagania stawiane metodom prognozowania wpływów eksploatacji górnictw na górnotwór i powierzchnię z punktu widzenia praktyki górnictw. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Seria Wykłady nr 1. Sesja Jubileuszowa (s. 93–100). Kraków, CPPGSMiE PAN.
186. Sroka A. (1995): Przerwy w eksploatacji wyrobisk ścianowych i ich znaczenie z punktu widzenia szkód górnictw. III Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych (s. 357–368). Gliwice, Politechnika Śląska.
187. Sroka A. (1996): Wpływ eksploatacji cienkich pokładów węgla kamiennego w górnictwie niemieckim. Szkoła Eksploatacji Podziemnej '96. Seria Wykłady nr 13 (s. 35–52). Kraków, CPPGSMiE PAN.

188. Sroka A. (1999): Dynamika eksploatacji górniczej z punktu widzenia szkód górniczych. Rozprawy nr 58. Kraków, IGSMiE PAN.
189. Strzałkowski P. (1995): Doszczelnianie zrobów zawałowych a deformacje powierzchni terenu. Materiały konferencji Szkoła Eksploatacji Podziemnej (s. 27–40). Kraków, CPPGSMiE PAN.
190. Strzałkowski P., Piwowarczyk J., Łapajski K. (2006): Występowanie deformacji nieciągłych liniowych w świetle analiz warunków geologiczno-górniczych. Przegląd Górniczy, T. 62, nr 5, s. 1–5.
191. Strzałkowski P., Ściagała R., Szafulera K., Tomiczek K. (2020): Prognozowanie deformacji nieciągłych powierzchniowych. Monografie. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej (w druku).
192. Szostak-Chrzanowska A. (1988): Wpływ podziemnej eksploatacji złóż o skomplikowanej geometrii na powierzchnię terenu w świetle badań metodą elementów skończonych. Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza (rozprawa doktorska).
193. Szostak-Chrzanowska A., Chrzanowski A., Hiroji A. (2011): Modelowanie osiadania terenu w oparciu o zmianę rozkładu naprężeń w górotworze. XI Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko, nr 2/1, s. 524–536.
194. Szostak-Chrzanowska A., Pielok J., Piwowarski W., Pietruszka K. (1997): Wstępna analiza pola górniczych deformacji górotworu w dyskretnym modelu metody elementów skończonych i ciągłym modelu teorii geometrycznej. IV Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych (s. 207–222). Kraków, Wydaw. AGH.
195. Szpetkowski S. (1980): Charakterystyka wpływu robót górniczych na górotwór i na powierzchnię terenu, [w] W. Borecki, red., Ochrona powierzchni przed szkodami górniczymi. Katowice, Wydaw. „Śląsk”.
196. Ściagała R. (2008): Komputerowe wspomaganie prognozowania deformacji górotworu i powierzchni. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej.
197. Ściagała R. (2013): Wpływ tektoniki złoża na rozkład deformacji terenu górniczego. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej.
198. Tadeusiewicz R. (2015): Neural Networks in Mining Sciences – General Overview and Some Representative Examples. Archives of Mining Sciences, Vol. 60, Issue 4, s. 971–984.
199. Tajduś A. (1983): Zastosowanie elementów skończonych do zagadnień reologicznych mechaniki górotworu. Górnictwo, z. 4, s. 307–322.
200. Tajduś K. (2007): Numeryczne określanie metodą elementów skończonych wpływu eksploatacji podziemnej na powierzchnię terenu. Przegląd Górniczy, T. 63, nr 5, s. 36–42.
201. Tajduś K. (2009): New method for determining the elastic parameters of rock mass layers in the region of underground mining influence. International Journal of Rock Mechanics & Mining Science, Vol. 46, No 8, s. 1296–1305.
202. Tajduś K. (2013): Numerical simulation of underground mining exploitation influence upon terrain surface. Archives of Mining Sciences, Vol. 58, Issue 3, s. 605–616.
203. Tajduś A., Cała M., Tajduś K. (2012): Geomechanika w budownictwie podziemnym. Projektowanie i budowa tuneli. Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza.
204. Trojanowski K., Wajdeczko A., Pytlarz T. (1965): Wstępne wyniki eksploatacji w filarze ochronnym huty im. F. Dzierżyńskiego. Biuletyn Głównego Instytutu Górnictwa, Nr 3 (53).

205. Tyrała A. (1979): Wpływ uskoków tektonicznych na zaburzenia obniżeń powierzchni wywołanych przez eksploatację górnictw. Katowice, Główny Instytut Górnictwa (rozprawa doktorska).
206. Ustawa (2017): Ustawa z dnia 20 listopada 2017 r. Prawo geologiczne i górnicze. Dz. U., poz. 2126.
207. Wagner D. (2017): Zanikanie deformacji powierzchni śródmieścia Bytomia po zakończonej eksploatacji przez KWK Centrum. Przegląd Górniczy, T. 73, nr 12, s. 31–37.
208. Wagner D. (2019): Zanikanie obniżenia powierzchni śródmieścia Bytomia w latach 2015–2018 po zakończonej eksploatacji przez KWK Centrum. Przegląd Górniczy, T. 75, nr 1, s. 33–39.
209. Walszczyk J. (1980): O pewnych możliwościach zastosowania metod numerycznych do zagadnienia odprężeń górotworu. Zeszyty Naukowe AGH, Górnictwo, z. 107.
210. Warchał A. (2015): Zintegrowana analiza deformacji górotworu w otoczeniu filarów ochronnych szybów. Wrocław, Politechnika Wrocławska (rozprawa doktorska).
211. Wenbing G., Erhu B., Daming Y. (2018): High-intensity mining characteristics and its evaluation system of thick coal seam in China's coalmines. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, T. 20, nr 1, s. 147–158.
212. Wesołowski M. (2001): Wybrane aspekty modelowania numerycznego ruchów górotworu pod wpływem eksploatacji podziemnej i jej oddziaływania na obiekty. Gliwice, Politechnika Śląska (rozprawa doktorska).
213. Wesołowski M. (2013): Zastosowanie liniowego ośrodka transwersalnie izotropowego do modelowania deformacji terenu górniczego. Monografia. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej.
214. Wesołowski M. (2014): Możliwości stosowania modeli numerycznych do opisu deformacji powierzchni terenu górniczego. Przegląd Górniczy, T. 70, nr 4, s. 15–22.
215. Wesołowski M. (2016): Numerical modeling of exploitation relics and faults influence on rock mass deformations. Archives of Mining Sciences, Vol. 61, Issue 1, s. 125–136.
216. Wesołowski M., Białek J., Kołodziejczyk P., Plewa F. (2010): Modelowanie wpływów eksploatacji górniczej przy wykorzystaniu modeli numerycznych. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej.
217. Whittaker D.N., Reddish D.J. (1989): Subsidence. Occurrence, Prediction and Control. Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo, Elsevier.
218. Witkowski W. (2017): Modelowanie obniżeń powierzchni terenu na skutek zmian hydrogeologicznych z wykorzystaniem sztucznej inteligencji. Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza (rozprawa doktorska).
219. Wytyczne (2013): Wytyczne w zakresie minimalnych wymogów treści planów ruchu podziemnych zakładów górniczych w aspekcie ochrony powierzchni. Katowice, Wyższy Urząd Górniczy.
220. Yan J., Lun Y., Yue J., Preuß A., Sroka A. (2018): The application and development of Knothe influence function in China. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, T. 20, nr 1, s. 115–122.
221. Zhang J., Sun Q., Zhou N., Haiqiang J., Germain D., Abro S. (2016): Research and application of roadway backfill coal mining technology in western coal mining area. Arabian Journal of Geosciences, Vol. 9, s. 1–10.
222. Zhu H., He F., Fan Y. (2018): Development mechanism of mining-induced ground fissure for shallow burial coal seam in the mountainous area of southwestern China: a case study. Acta Geodynamica et Geomaterialia, Vol. 15, No. 4, s. 349–362.

223. Zhu H., He F., Zhang S., Yang Z. (2018): An integrated treatment technology for ground fissures of shallow coal seam mining in the mountainous area of south-western China a typical case study. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management*, T. 34, z. 1, s. 119–138.
224. Zych J. (1987): Metoda prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu uwzględniająca asymetryczny przebieg procesu deformacji. Monografia. Seria Górnictwo, z. 164. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej.
225. Zych J., Żyliński R., Strzałkowski P. (1993): Wpływ doszczelniania zrobów zawalowych na wielkość deformacji powierzchni terenu. Materiały z Konferencji II Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych (s. 307–311). Katowice, Główny Instytut Górnictwa, PAN Oddział Katowice, Polski Komitet Międzynarodowego Stowarzyszenia Miernictwa Górniczego (ISM).
226. Internet 1. rocscience.com/RS3
227. Internet 2. dolny.slask.org.pl
228. Internet 3. geoportal.gov
229. Internet 4. redbor.pl
230. Internet 5. mapywig.org
231. Internet 6. commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=57266481

W monografii zawarto opis deformacji powierzchni spowodowanych eksploatacją pokładów węgla kamiennego prowadzoną w zlikwidowanym już Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym (DZW), przez czynne kopalnie w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW) i przez kopalnię Bogdanka w nowym Lubelskim Zagłębiu Węglowym (LZW). Opisano także deformacje powierzchni, które powstały w wyniku zakończonej eksploatacji węgla kamiennego prowadzonej w Europie, na przykład w Wielkiej Brytanii i w Niemczech, jak i prowadzonej obecnie eksploatacji w Rosji, Ukrainie, Stanach Zjednoczonych czy Chinach.

Tematyka kopalń Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego, oprócz historycznych już wyników pomiarów deformacji w górotworze i na powierzchni, objęła także kwestie związane z likwidacją kopalń w aspekcie ochrony powierzchni. Jest to pierwsze w pełni zlikwidowane zagłębie węglowe w Polsce.

Najwięcej doświadczeń i wyników pomiarów deformacji dotyczy GZW, w którym prowadzono eksploatację z podsadzką hydrauliczną pod śródmieściem Katowic i Bytomia. Eksploatację pod śródmieściem Bytomia zakończono w roku 2015 (obecnie obserwuje się tam deformacje resztkowe). Przykładem eksploatacji wielokrotnej prowadzonej z zawałem stropu jest wieloletnia eksploatacja górnicza pod dzielnicami Karb i Miechowice miasta Bytomia. Ponadto w monografii zamieszczono wyniki pomiarów deformacji spowodowanych eksploatacją częściową w resztkach pozostawionych filarów ochronnych w zlikwidowanych kopalniach.

Wieloletnia i wielokrotna eksploatacja złoża wielopokładowego prowadzona w GZW powoduje powstanie liniowych nieciągłych deformacji powierzchni (LNDP), które w części zostały już rozpoznane.

W monografii opisano także wpływ odwadniania górotworu na deformacje powierzchni w najmłodszym polskim zagłębiu węglowym, czyli w LZW.

Znaczna część monografii jest poświęcona zastosowaniu modyfikowanej i rozwijanej teorii empirycznej Knothego-Budryka dla prognozowania deformacji powierzchni. Zebrane przykłady potwierdzają zasadność jej stosowania, przy czym nigdy nie uniknie się rozbieżności między praktyką a teorią. Powinno to stać się podstawą do dalszych badań, a teorię należy weryfikować na nowych przykładach. Rozróżniono dokładność i trafność prognozy deformacji powierzchni.

Poruszono również problem wykorzystywania metod numerycznych i sztucznej inteligencji do opisu deformacji powierzchni. Z zastosowaniem tych metod wiąże się duże oczekiwania.

Do monitoringu deformacji nadal będą wykorzystywane metody geodezyjne uzupełniane nowymi technologiami i urządzeniami, na przykład skaniny laserowe naziemne i lidar, a także interferometria satelitarna, które umożliwiają równoczesny pomiar obniżek na dużych powierzchniach.

Uzupełnieniem oceny deformacji powierzchni na terenach górniczych jest ocena wpływu podziemnego zgazowania węgla (PZW) – procesu podejmowanego w polskim górnictwie węgla kamiennego w ostatnich kilku latach. Wpływ tego procesu na deformacje powierzchni nie jest rozpoznany bezpośrednio za pomocą pomiarów, powstają natomiast jego symulacje.

W monografii poruszono także istotny w ostatnich latach w polskim górnictwie problem, jakim jest likwidacja kopalń, do tej pory przeprowadzona głównie w północnej części GZW. Przedstawiono przykłady dokumentowania skutków likwidacji kopalń na powierzchni i oceny terenów pogórniczych do zabudowy.

Słowa kluczowe: deformacje; ochrona terenów górniczych; tereny pogórnice.

Abstract

The monograph contains a description of surface deformation caused by the exploitation of hard coal deposits carried out in the already liquidated Lower Silesian Coal Basin (LSCB), by the active mines in the Upper Silesian Coal Basin (USCB) and the Bogdanka mine in the new Lublin Coal Basin (LCB). The surface deformations that occurred as a result of completing the hard coal exploitation in Europe, for example in Great Britain and Germany, as well as current mining operations in Russia, Ukraine, the United States, and China, are also described.

The topics of mines in the Lower Silesian Coal Basin, apart from the already historical results of deformation measurements in the rock mass and on the surface, included also issues related to the decommissioning of mines in the aspect of surface protection. This is the first completely liquidated coal basin in Poland.

The most of collected experience and results of deformation measurements concern the USCB, in which the exploitation with hydraulic backfill was carried out under the downtown of Katowice and Bytom. The mining operation under the downtown of Bytom was finished in 2015 (currently residual deformations can be observed there). An example of multiple exploitations carried out with caving is the long-term mining operation under the Karb and Miechowice districts of the city of Bytom. In addition, the monograph includes the results of measurements of deformations caused by partial exploitation in the remains of the left protective pillars in the decommissioned mines.

The long-term and multiple exploitations of the multi-seam deposit carried out at the USCB causes formation of the linear discontinuous surface deformations (LNDP), which have already been partly examined.

The monograph also describes the impact of rock mass drainage on surface deformations in the youngest Polish coal basin, i.e. in the Lublin Coal Basin.

A significant part of the monograph is devoted to the application of modified and developed Knothe-Budryk empirical theory for predicting surface deformation. The collected examples confirm the legitimacy of its use, but one will never avoid differences between the practice and theory. This should become the base for further research, and the theory should be verified on new examples. The accuracy and pertinence of the surface deformation forecast are distinguished.

The problem of using numerical methods and artificial intelligence to describe surface deformation was also discussed. There are high expectations for the use of these methods.

Monitoring of deformation will be still continued with the use of geodetic methods, complemented by new technologies and devices, e.g. ground-based laser scanning and lidar, as well as satellite interferometry, which allow simultaneous measurement of depressions on large areas.

The assessment of the impact of the underground coal gasification (UCG) – a process undertaken in Polish hard coal mining in the last few years – supplements the evaluation of surface deformation in mining areas. The impact of this process on surface deformations is not examined directly by measurements, however, its simulations are created.

Decommissioning of mines, an important problem in Polish mining during recent years, which so far is carried out mainly in the northern part of the USCB, was also raised up in the monograph. Examples documenting the effects of the mine liquidation on the surface and assessment of the post-mining areas for construction purposes are presented.

Key words: deformations; protection of post-mining areas; post-mining areas.

Zusammenfassung

In der Monographie sind Beschreibungen der durch den Steinkohleabbau im bereits liquidierten Niederschlesischen Steinkohlebecken (DZW), durch aktive Bergwerke im Oberschlesischen Steinkohlebecken (GZW) und durch das Bergwerk Bogdanka im neuen Lubliner Steinkohlebecken (LZW) verursachten Gelände­verformungen enthalten. Es wurden auch Gelände­verformungen beschrieben, die infolge des bereits beendeten Steinkohleabbaus in Europa, zum Beispiel in Großbritannien und in Deutschland und infolge des gegenwärtigen Steinkohlenbergbaus in Russland, in der Ukraine, in den Vereinigten Staaten oder in China entstanden sind.

Neben den historischen Ergebnissen der Verformungsvermessungen in der Erdschicht und an der Oberfläche umfasst die Thematik der Bergwerke im Niederschlesischen Steinkohlebecken auch mit der Liquidation von Steinkohlegruben in Hinsicht auf den Oberflächenschutz verbundene Fragen. Das ist das erste völlig liquidierte Steinkohlebecken in Polen.

Die meisten Erfahrungen und Ergebnisse der Verformungsvermessungen beziehen sich auf das Oberschlesische Steinkohlebecken, wo unter den Stadtzentren von Katowice und Bytom hydraulischer Bergversatz eingesetzt worden ist. Der Kohlenabbau unter der Innenstadt von Bytom ist 2015 beendet worden (zur Zeit werden dort Restverformungen beobachtet). Ein Beispiel für den mehrfachen Abbau mit Einsturz ist der langjährige Kohlenabbau unter den Stadtteilen von Bytom - Karb und Miechowice. Ansonsten enthält die Monographie Ergebnisse der Verformungsvermessungen, die durch partiellen Steinkohleabbau in den Überresten der Schutzpfeiler in den liquidierten Bergwerken verursacht worden sind.

Der langjährige und mehrfache Abbau der Mehrflöz-Lagerstätte im Oberschlesischen Steinkohlebecken hat die Entstehung linearer, unterbrochenen Gelände­verformungen (LNDP) zur Folge, die bereits zum Teil erkannt worden sind.

In der Monographie wurde auch der Einfluss der Bergentwässerung auf die Gelände­verformungen im jüngsten polnischen Steinkohlebecken, also im Lubliner Steinkohlebecken beschrieben.

Ein großer Teil der Monographie befasst sich mit der Anwendung der modifizierten und entwickelten empirischen Theorie von Knothe und Budryk für die Prognostizierung der Gelände­verformungen. Die gesammelten Beispiele bestätigen die Richtigkeit deren Anwendung, wobei die Diskrepanz zwischen der Praxis und Theorie unvermeidbar ist. Das soll die Grundlage für weitere Forschungen sein und die Theorie ist anhand neuer Beispiele zu verifizieren. Es wurde zwischen der Genauigkeit und der Richtigkeit der prognostizierten Gelände­verformungen unterschieden.

Es wurde auch das Problem der Anwendung numerischer Methoden und künstlicher Intelligenz für die Beschreibung von Gelände- und Verformungen angesprochen. In die Anwendung der Methoden werden große Hoffnungen gesetzt.

Für die Überwachung der Verformungen werden weiterhin geodätische Methoden angewandt, um neue Technologien und Anlagen ergänzt, wie zum Beispiel Übertage-Laserscanning und Lidar oder SAR-Interferometrie, die gleichzeitige Messungen der Senkungen auf großen Oberflächen ermöglichen.

Eine Ergänzung der Beurteilung von Gelände- und Verformungen in Bergbaugebieten ist die Beurteilung des Einflusses der Untertage-Kohlevergasung (PZW) – eines Prozesses, der im polnischen Steinkohlenbergbau in den letzten Jahren durchgeführt wird. Der Einfluss des Prozesses auf die Gelände- und Verformungen ist mit Hilfe von Messungen nicht unmittelbar zu erkennen, es werden jedoch Simulationen durchgeführt.

In der Monographie wurde auch ein für den polnischen Bergbau in den letzten Jahren sehr wichtiges Problem angesprochen, und zwar die Liquidierung von Bergwerken, bisher vorwiegend im nördlichen Teil des Oberschlesischen Steinkohlebeckens durchgeführt. Es wurden Beispiele für die urkundliche Bestätigung der Übertage-Folgen der Liquidation von Steinkohlegruben und für die Beurteilung der zu bebauenden Bergbaufolgelandschaften dargestellt.

Schlüsselwörter: Verformungen; Schutz der Bergbaufolgegebiete; Bergbaufolgelandschaften.



Andrzej Kowalski, dr hab. inż., profesor w Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach. Uprawniony mierniczy górniczy. W latach 2007–2015 kierownik Zakładu Ochrony Powierzchni i Obiektów Budowlanych Głównego Instytutu Górnictwa. Autor i współautor 6 monografii, 160 innych publikacji oraz kilkuset ekspertyz. Recenzent 16 doktoratów, a także recenzent i opiniodawca 10 postępowań habilitacyjnych. Uczestnik i organizator krajowych i międzynarodowych konferencji z zakresu ochrony terenów górniczych i miernictwa górniczego. Uznany ekspert w zakresie eksploatacji górniczej pod obiektami w górotworze i na powierzchni oraz ich ochrony przed deformacjami górniczymi. Wieloletni członek Rady Naukowej GIG. Przewodniczący Komisji Ochrony Terenów Górniczych Polskiej Akademii Nauk Oddział w Katowicach. Wiceprzewodniczący Komisji do spraw Ochrony Powierzchni Wyższego Urzędu Górniczego. Odznaczony dwukrotnie Srebrnym i Złotym Krzyżem Zasługi oraz Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski.

Z RECENZJI WYDAWNICZYCH

prof. dr hab. inż. Jan Bialek:

Monografia jest obszernym, przeglądowym opracowaniem o dużych walorach poznawczych i naukowych. Zawarto w niej szereg niepublikowanych (lub publikowanych w sposób fragmentaryczny) materiałów dotyczących problematyki deformacji terenu górniczego. Jej lektura daje ogólny pogląd na omawianą problematykę zarówno w Polsce, jak i w krajach, w których podziemne górnictwo węglowe stanowi (stanowiło) ważną dziedzinę gospodarki. Za szczególnie ciekawe uważam obszerne rozważania Autora dotyczące prognozowania liniowych deformacji nieciągłych, błędów prognoz deformacji i ich przyczyn oraz problematyki zagrożeń dla powierzchni terenów pogórnicznych kopalń zlikwidowanych. Widać dużą wiedzę Autora w zakresie opisywanych zagadnień.

prof. dr hab. inż. Ryszard Hejmanowski:

Cechą szczególną, wyróżnikiem tej książki, jest jej praktyczny wydźwięk. Autor oparł treść poszczególnych rozdziałów o praktyczne przykłady oddziaływań eksploatacji górniczej na obiekty powierzchniowe. Jest to tym ciekawsze, że stosunkowo rzadko się zdarza tak duże nasycenie książek fachowych rzeczywistymi przykładami. W sensie poznawczym książka wnosi ogrom informacji, które będą bezcennym źródłem wiedzy dla czytelników, zarówno z przemysłu, jak i ze świata nauki, a szczególnie studentów kierunków związanych z ochroną terenów górniczych, górnictwa i geodezji.



ISBN 978-83-65503-23-7