

# Przydatność wstecznej prognozy górniczej w ocenie ujawnionych deformacji powierzchni

IZABELA BRYT-NITARSKA , LUCYNA FLORKOWSKA , AGNIESZKA MAJ 

*Instytut Mechaniki Górotworu PAN, ul. Reymonta 27; 30-059 Kraków*

KATARZYNA SZAFULERA 

*Politechnika Śląska, ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice*

## Streszczenie

Dopasowanie prognozy deformacji górniczych do rzeczywistych, ujawnionych w terenie stanowi podstawę prawidłowo dobranej profilaktyki budowlanej oraz poprawnie sformułowanych wniosków na temat powstałych szkód górniczych. Z tego względu badania porównawcze wartości wskaźników deformacji powierzchni obliczonych dla parametrów dokonanej eksploatacji górniczej i pomiarów terenowych należą do ważnej części obserwacji in situ w górnictwie podziemnym. Są one również częścią badań nad skutkami oddziaływań górniczych w obiektach budowlanych i infrastrukturze technicznej zabudowy powierzchni. W artykule opisano badania wyników wstecznej prognozy górniczej w kontekście analizy czynników wpływających na pogorszenie stanu technicznego obiektu liniowego, odcinka drogi publicznej i towarzyszącej jej infrastruktury.

**Słowa kluczowe:** deformacje górnicze, prognoza górnicza, szkody górnicze, infrastruktura techniczna

## 1. Wprowadzenie

W górnictwie węgla kamiennego wyprzedające prognozy wartości wskaźników spodziewanej deformacji powierzchni terenu, są podstawą formułowania warunków ochrony zabudowy i infrastruktury obszaru górniczego. Warunki te konieczne są do określenia na etapie planowania wydobycia na podstawie ustawy prawo geologiczne i górnicze [1]. Określony w ustawie wymóg ochrony powierzchni wskazuje również na konieczność weryfikacji stopnia spełnienia warunków podjętych dla zapewnienia bezpieczeństwa powszechnego, ochrony obiektów budowlanych i zapobiegania szkodom górniczym. Weryfikacja taka możliwa jest do wykonania na podstawie oceny dopasowania wstecznej prognozy górniczej dla parametrów eksploatacji dokonanej do wyników pomiarów deformacji powierzchni faktycznie ujawnionych wskutek tej eksploatacji. Na etapie planowania robót wybierkowych przewidywane skutki mają charakter prognoz opartych na teoriach z zakresu mechaniki górotworu [2], powstałych w oparciu o hipotezy sformułowane dla opisanego mechanizmów procesów rozwijających się w górotworze wskutek wydobycia pokładów węgla [3].

W zakresie ochrony środowiska oraz obiektów budowlanych zalicza się również wykonywane w trakcie realizacji eksploatacji obserwacje obiektów budowlanych oraz geodezyjne, geofizyczne i inne pomiary wskaźników deformacji oraz parametrów drgań gruntu powodowanych działalnością górniczą. Wyniki tych pomiarów opisują faktyczne skutki prowadzenia eksploatacji górniczej widoczne na powierzchni terenu w trakcie wybierania złoża i po zakończeniu eksploatacji. Wielkość wpływów górniczych opisywana jest wówczas przede wszystkim poprzez obniżenie punktów powierzchni terenu, które określane jest na podstawie pomiarów, obserwacji geodezyjnych terenów górniczych [2,4]. Pomiary te realizowane są liniach terenowych lub punktach rozproszonych stabilizowanych geodezyjnie w charakterystycznych punktach powierzchni i bezpośrednio na obiektach znajdujących się na powierzchni terenu, który podlega wpływom oddziaływań pochodzenia górniczego.

Możliwość porównania wielkości deformacji pomierzonych i obliczonych dla eksploatacji dokonanej, której parametry są znane, stanowi podstawę oceny przydatności prognozy górniczej dla formułowania warunków profilaktyki budowlanej oraz przydatności tzw. „reprognozy” w ocenie skutków oddziaływań górniczych. Zagadnienie to jest również szczególnie istotne w ocenie udziału oddziaływań górniczych w pogorszeniu stanu technicznego obiektów budowlanych oraz określaniu wielkości szkód górniczych.

## 2. Poligon badawczy

### 2.1. Dane ogólne

Poligon obejmuje odcinek obiektu liniowego infrastruktury technicznej, drogi publicznej i instalacji sanitarnej wykonanej w jej podłużnym profilu w 2014 r. Wzdłuż obiektu liniowego założono 19 naziemnych punktów obserwacyjnych, ozn. nr 1519 do nr 1501 – Rys. 1. Na linii tej, z wykorzystaniem niwelacji precyzyjnej, wykonywano okresowe pomiary wysokościowe w latach 2016÷2017.



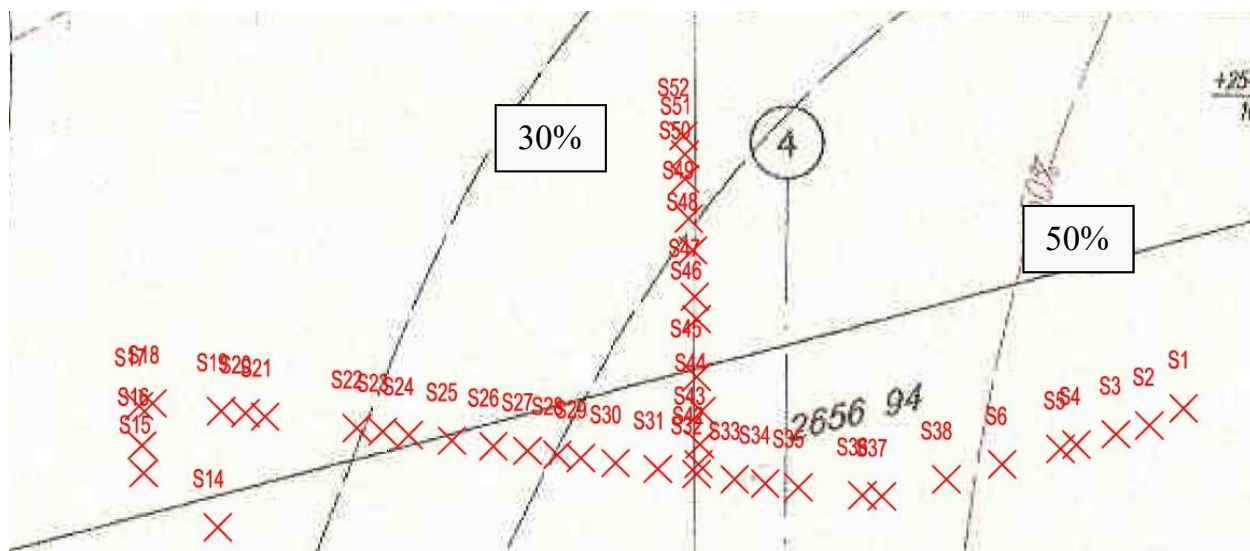
Rys. 1. Przebieg obiektu liniowego z zaznaczeniem punktów naziemnej linii obserwacyjnej

Stanowiska pomiarowe na linii instalacji sanitarnej stanowiły punkty węzłowe sieci ozn. k3, S1 do S6 i S14 do S38. W 2015 r. dla punktów wyznaczono współrzędne prostokątne płaskie, i wykonano pierwszy cykl pomiarów wysokościowych. Kolejne pomiary zrealizowano z uwagi na powstające uszkodzenia sieci sanitarnej i nawierzchni pasa drogowego. Uzyskane wyniki wskazywały na wystąpienie istotnych zmian w geometrii linii terenowej oraz linii wyznaczonej przez punkty węzłowe sieci instalacyjnej. Dla oceny udziału oddziaływań górniczych w rejestrowanym pogorszonym stanie infrastruktury wykonano obliczenia wartości wskaźników deformacji powierzchni, które powstać mogły wskutek eksploatacji górniczej dokonanej w tym rejonie w latach 2012÷2018.

### 2.2. Litologia i stratygrafia

W rejonie obiektów liniowych poligonu badawczego górotwór zbudowany jest z utworów czwartorzędowych oraz karbonu produktywnego. Czwartorzęd tworzą utwory plejstocenu, wykształconego głównie w postaci iłów i glin oraz podrzędnie piasków i piasków zawodnionych. Miąższość warstw nadkładu wzdłuż odcinka drogi zawiera się w przedziale od ok. 35 m od strony zachodniej do ok. 55 m we wschodniej części analizowanego odcinka. Udział utworów przepuszczalnych w profilu czwartorzędu w przedmiotowym obszarze sięga od ok. 30% do ok. 50% – Rys. 2.

Karbon w tym rejonie zbudowany jest z serii mułowcowej warstw rudzkich górnych oraz górnośląskiej serii piaskowcowej: warstw rudzkich dolnych i siodłowych. Warstwy rudzkie górne reprezentowane są głównie przez iłowce, mułowce, podrzędnie piaskowce oraz pokłady węgla – 404/1, 404/2, 404/3, 404/4. Warstwa górnośląskiej serii piaskowcowej charakteryzuje się stosunkowo dużym udziałem piaskowców

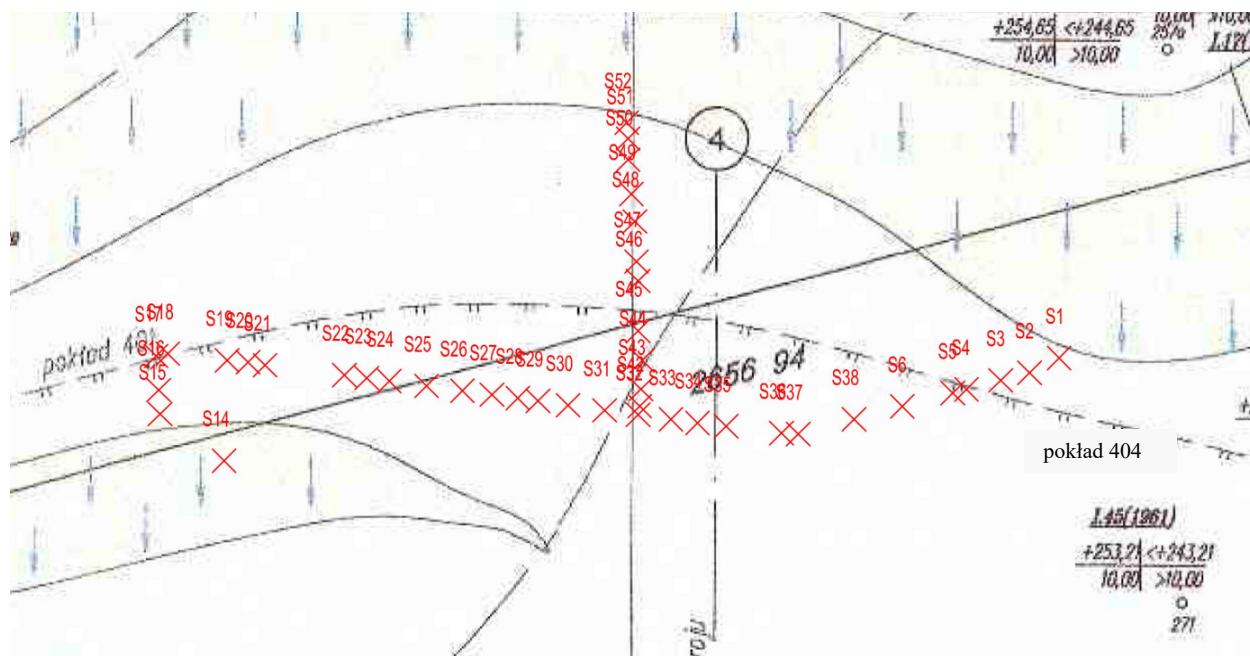


Rys. 2. Mapa miąższości nadkładu i udziału utworów przepuszczalnych czwartorzędu wraz z naniesioną lokalizacją punktów węzłowych sieci

o różnym uziarnieniu, głównie grubym. Udział pokładów węgla wynosi do ok. 12% – od pokładu 404/1 do 418, oraz od pokładu 501 do pokładu 510. Miąższość górnośląskiej serii piaskowcowej sięga ok. 780 m.

### 2.3. Tektonika

Na podstawie analizy mapy stropu karbonu ustalono, że bezpośrednio oraz w najbliższym sąsiedztwie poligonu nie występują uskoki tektoniczne w warstwach górotworu. Wzdłuż drogi przebiega natomiast wychodnia pokładu węgla 404/1, 404/2, 404/3 i 404/4, a warstwy tego pokładu zapadają w kierunku południowo – wschodnim o kąt do ok.  $10^\circ$  – Rys. 3.

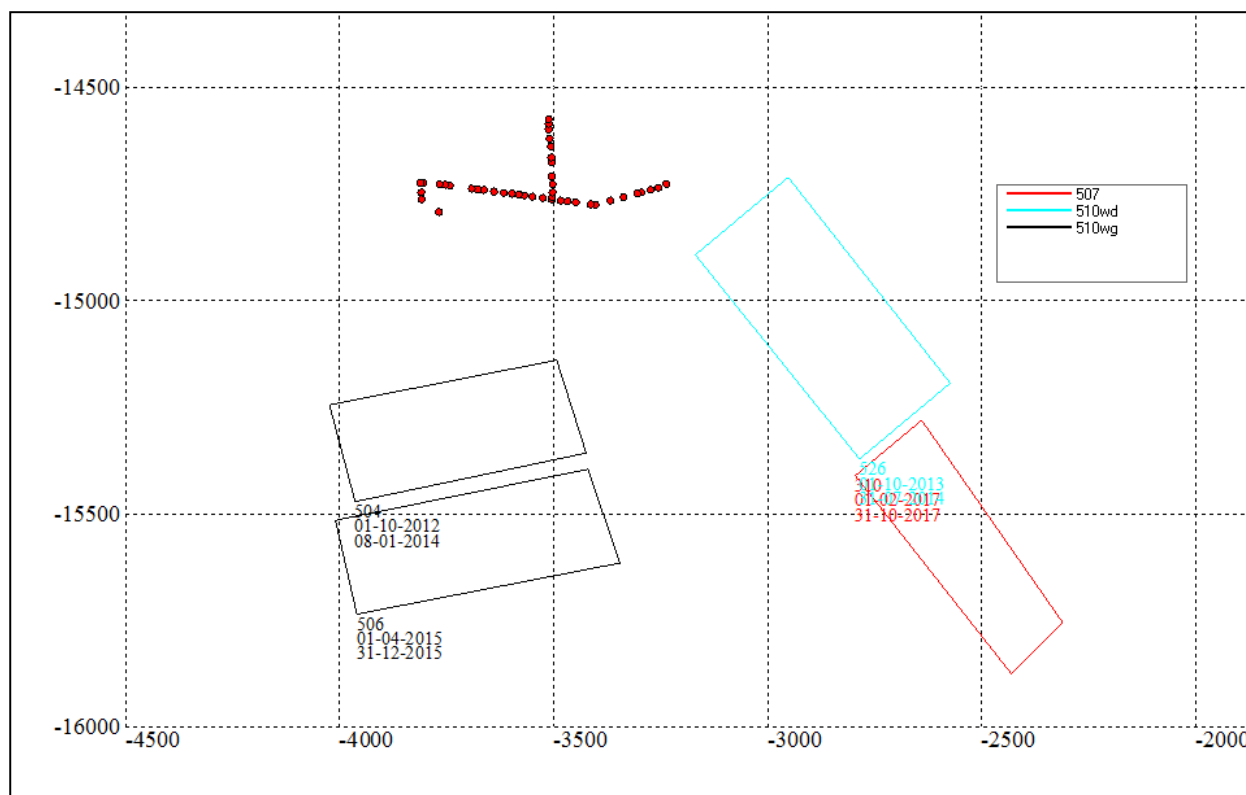


Rys. 3. Wycinek mapy stropu karbonu wraz z naniesioną lokalizacją punktów węzłowych obserwowanego odcinka sieci

### 2.4. Dokonana eksploatacja górnicza

W latach 2012–2018 teren poligonu znajdował się w zasięgu oddziaływania eksploatacji górniczej zrealizowanej w czterech parcelach eksploatacyjnych usytuowanych na południe od obiektu – Rys. 3.

Głębokość prowadzenia robót wybierkowych wynosiła od ok. 820 m do ok. 886 m, co wynikało z nachylenia pokładów w kierunku południowym. Grubości wybieranych parcel wyniosły od ok. 3,0 m do ok. 3,4 m. Wszystkie pokłady eksploatowano systemem ścianowym z zawałem skał stropowych. Zestawienie parametrów parcel eksploatacyjnych zawiera tabela 1.



Rys. 4. Lokalizacja parcel dokonanej eksploatacji górniczej względem objętego pomiarami odcinka obiektu liniowego

Tab. 1. Zestawienie parametrów eksploatacji dokonanej w latach 2012÷2017

Pokład/warstwa	Ściana	Lata eksploatacji		Grubość wybieranej warstwy	Głębokość eksploatacji
510 wg	504	01.10.2012	08.01.2014	3,2	851
510 wd	526	01.10.2013	31.07.2014	3,2	820
510 wg	506	01.04.2015	31.12.2015	3,0	886
507	310	01.02.2017	31.10.2017	3,4	846

W latach 2012÷2014 w terenie występowały oddziaływania pochodzące od eksploatacji parcel 504 i 526 w pokładzie 510. Położenie północnych krawędzi parcel powodowało podbieranie węgla w rejonie wychodni pokładu 404 pokrywającego się liniowo z osią obiektu liniowego. W prognozie deformacji jest to czynnik powodujący zwiększenie wartości wskaźników deformację terenu, w szczególności obniżen pionowych punktów na powierzchni i przemieszczeń poziomych cząstek gruntu. W kolejnych latach 2015÷2017 zrealizowano eksploatację w parceli 506 pokładu 510 i parceli 310 w pokładzie 507.

Poza wyżej omówioną eksploatacją rejon tej części obszaru górniczego, podlegał wpływom wielokrotnej eksploatacji górniczej zrealizowanej w pokładach 507 i 510 na przestrzeni lat 1977÷2009. Wyeksploatowano w szczególności pokład 507: po stronie południowo – wschodniej w latach: 1979, 1980, 1981, 1982, w 1996 śc. 286 na północny-wschód od obiektu liniowego i w latach 1977, 1983, 1998 parcele położone na południowy – zachód od odcinka objętego obserwacjami.

W pokładzie 510wg wybrano w 2008 r. śc. 510 i 511, a w 1984 na południowym wschodzie kolejne parcele eksploatacyjne. W 2009 parcele położone po południowo – zachodniej stronie drogi.

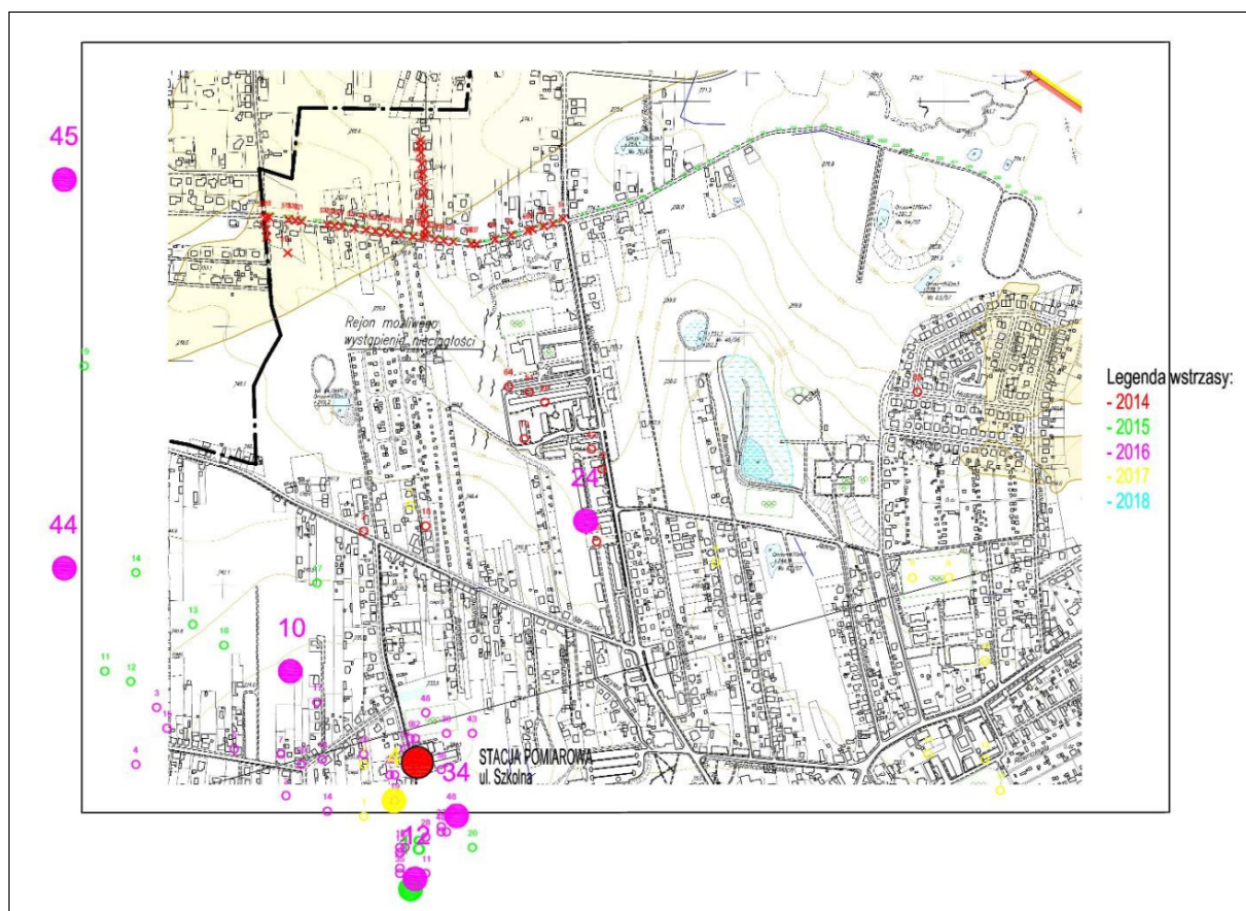
W analizach związanych z wpływem dokonanej eksploatacji górniczej na powierzchnię, z uwagi na potencjalne zagrożenie zapadliskowe, uwzględniono również eksploatację, którą prowadzono w przeszłości, na głębokości do ok. 150 m. Ustalono, że poniżej analizowanego odcinka drogi w latach 1907÷1957,



eksploatację prowadzono w pokładach: 405/2, 406/3. W pokładzie 405/2 eksploatację prowadzono system zabierkowym zawałem skał stropowych na głębokości ok. 130 m, na wysokość ok. 2.4 m. W pokładzie 406/3 eksploatację prowadzono system ścianowym z zawałem skał stropowych, na głębokości ok. 110 m, na wysokość ok. 1.4 m.

## 2.5. Aktywność sejsmiczna górotworu

Na stacji pomiarowej, położonej najbliżej obserwowanego odcinka drogi, w latach 2014÷2018 zarejestrowanych zostało łącznie 219 wstrząsów o energii większej od  $1e5$  J. Tego typu wstrząsy klasyfikowane są, jako tzw. wysokoenergetyczne. Na mapie powierzchni przedstawiono lokalizację wstrząsów o energii większej od  $1e5$  J, które wystąpiły w odległości epicentralnej do ok. 1310 m względem drogi – Rys. 5. Parametry wstrząsów, tj. zarejestrowaną na stanowisku energię oraz przyspieszenia i prędkości drgań powierzchni terenu zestawiono w tabeli 2.



Rys. 5. Mapa powierzchni z naniesioną lokalizacją epicentrum wstrząsów górotworu zarejestrowanych na stacji pomiarowej

Tab. 2. Zestawienie parametrów wstrząsów górniczych wysokoenergetycznych zarejestrowanych w latach 2015÷2017

Data	Energia wstrząsu [J]	Przyspieszenie $a$ [ $\text{mm/s}^2$ ]	Prędkość $v$ [ $\text{mm/s}$ ]	Odległość epicentralna od obiektu [m]
28-07-2015	5.00E+06	230	1.0	1306
21-04-2016	3.00E+06	110	6.0	857
29-04-2016	6.00E+06	198	11.5	1283
25-08-2016	3.00E+06	115	5.6	834
01-11-2016	2.00E+06	79	5.1	1186
20-12-2016	5.00E+06	202	6.9	772
20-12-2016	9.00E+06			420
28-01-2017	8.00E+05	99	6.0	1134

Od 2014 r. wskutek realizowanej eksploatacji górniczej na analizowany odcinek obiektu liniowego oddziaływało statystycznie ok. 4 wysokoenergetyczne wstrząsy w miesiącu. W obszarach wielokrotnej eksploatacji górniczej, w których dodatkowo występują pustki po płytkiej eksploatacji węgla, w warunkach oddziaływania wstrząsu możliwe jest występowanie zwiększonych lokalnych obniżen terenu, wywołanych zaciskaniem się pustek poeksploatacyjnych. Jest to część obniżen powierzchni terenu, której nie obejmuje prognoza wartości deformacji a które również uwzględnić należy podczas oceny wielkości ujawnionych deformacji powierzchni.

### 3. Wpływ eksploatacji w świetle wyników pomiarów geodezyjnych

#### 3.1. Pomiary punktów na linii terenowej

Dwa cykle pomiarowe dla punktów terenowych, od nr 1519 do nr 1501, wykonano w marcu 2016 i w styczniu 2017. Pomierzone wysokości punktów (H1, H2) i obliczone na ich podstawie wielkości obniżenia (w) zarejestrowane na przestrzeni dziesięciu miesięcy zestawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Zestawienie wyników pomiarów wysokości punktów linii terenowej z wyliczeniem wielkości obniżenia terenu

Reper nr	01-03-2016	01-01-2017	01-01-2017
	H1, m n.p.m.	H2, m n.p.m.	w (H2-H1) [mm]
1519	259.43	259.37	-60
1518	259.26	259.20	-60
1517	259.87	259.81	-60
1516	260.66	260.60	-60
1515	261.55	261.49	-60
1514	262.42	262.35	-70
1513	263.56	263.50	-60
1512	265.18	265.12	-60
1511	267.12	267.06	-60
1510	269.62	269.56	-60
1509	272.42	272.36	-60
1508	274.90	274.84	-60
1507	276.91	—	—
1506	278.28	278.22	-60
1505	279.07	279.01	-60
1504	279.50	279.43	-70
1503	279.50	—	—
1502	278.93	278.88	-50
1501	278.15	278.09	-60

Wyniki pomiarów odnosić należy do wpływu eksploatacji dokonanej w pokładach 510 wg oraz 507. Wskutek zrealizowanych robót wybierkowych wszystkie punkty uległy równomiernemu obniżeniu o ok. 60 mm. W pojedynczych punktach nr 1504 i 15014 zarejestrowano wartości wynoszące ok. 70 mm, a w jednym punkcie wartość 50 mm. W okresie obserwacji dwa punkty pomiarowe uległy zniszczeniu.

#### 3.2. Pomiary punktów węzłowych instalacji sanitarnej

Na punktach węzłowych instalacji sanitarnej pomiary wykonano dwukrotnie. Pierwszy pomiar przeprowadzono w 2015 r. Był to pomiar powykonawczy obejmujący ustalenie położenia punktów w przestrzeni poprzez pomiar wysokościowy i ustalenie współrzędnych na płaszczyźnie poziomej. Zarejestrowane wysokości punktów odzwierciedlały stan projektowy sieci odpowiadający spełnieniu warunków stanów granicznych nośności (SGN) i użyteczności (SGU) w tym również wymaganych spadków odcinków sieci. Ponowny pomiar wykonano w 2018 r. w związku z pojawiającymi się nieszczelnościami sieci. Było to po zakończeniu eksploatacji w ścianie 506 w pokładzie 510wg i ścianie 310 w pokładzie 507. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 4.

**Tab. 4.** Zestawienie wyników pomiarów punktów węzłowych sieci - wysokości i współrzędnych poziomych, z wyliczeniem ich - obniżeń i przesunięć

Punkt	Wysokość punktu/rok pom. [m n.p.m]		w* [mm]	Współrzędna X/rok pom.		Przesunięcie punktu X1-X2 [mm]	Współrzędna Y/rok pom.		Przesunięcie punktu Y1-Y2 [mm]
	H1/2015	H2/2018		X1/2015	X2/2018		Y1/2015	Y2/2018	
S14	257.98	257.91	70	5571642.73	5571642.56	170	6558617.43	6558617.40	30
S15	257.98	257.95	30	5571672.91	5571672.75	160	6558576.73	6558576.74	-10
S17	259.16	259.21	-50	5571711.06	5571711.00	60	6558572.56	6558572.47	90
S18	259.26	259.21	50	5571712.12	5571712.01	110	6558581.20	6558581.19	10
S19	259.35	259.30	50	5571708.48	5571708.40	80	6558618.79	6558618.80	-10
S20	259.67	259.63	40	5571706.97	5571706.87	100	6558632.32	6558632.35	-30
S21	260.00	259.96	40	5571705.81	5571705.73	80	6558643.57	6558643.59	-20
S22	261.40	261.36	40	5571699.78	5571699.72	60	6558693.50	6558693.43	70
S23	261.80	261.76	40	5571698.06	5571697.94	120	6558707.97	6558708.00	-30
S24	262.23	262.19	40	5571695.82	5571695.68	140	6558722.03	6558722.06	-30
S25	263.08	263.04	40	5571692.70	5571692.55	150	6558745.89	6558745.90	-10
S26	264.17	264.13	40	5571690.71	5571690.61	100	6558768.80	6558768.82	-20
S27	265.33	265.30	30	5571687.95	5571687.86	90	6558787.82	6558787.84	-20
S28	266.40	266.36	40	5571686.46	5571686.34	120	6558805.07	6558805.06	10
S29	267.27	267.23	40	5571684.96	5571684.85	110	6558817.37	6558817.31	60
S30	268.94	268.90	40	5571682.24	5571682.14	100	6558836.47	6558836.48	-10
S31	270.97	270.93	40	5571678.86	5571678.78	80	6558858.85	6558858.89	-40
S32	273.05	273.00	50	5571675.98	5571675.92	60	6558881.03	6558881.09	-60
S33	274.79	274.76	30	5571673.88	5571673.80	80	6558902.54	6558902.57	-30
S34	275.92	275.97	-50	5571671.79	5571671.70	90	6558919.31	6558919.28	30
S35	277.02	277.04	-20	5571669.10	5571668.99	110	6558936.89	6558936.87	20
S36	278.59	278.56	30	5571665.36	5571665.29	70	6558972.99	6558973.01	-20
S37	279.36	279.35	10	—	—	—	—	—	0
S38	279.25	279.28	-30	5571674.94	5571674.86	80	6559019.47	6559019.48	-10
S39	278.9	278.83	70	5571665.78	5571665.66	120	6559022.18	6559022.24	-60
S40	273.47	273.41	60	5571642.98	5571642.90	80	6559026.58	6559026.52	60
S42	273.47	273.42	50	5571682.50	5571682.42	80	6558882.74	6558882.75	-10

\*) „-”, ozn. podniesienie się wysokości punktu – wypiętrzenie

Pionowe przemieszczenia punktów pomiarowych na odcinku pomiędzy S14÷S38, określone na podstawie pomiarów wysokościowych wykonanych w 2015 r. i 2018 r. wynoszą maksymalnie 70 mm dla punktów S14 i S39. W pozostałych punktach obniżenia wyniosły od ok. 60 mm do ok. 40 mm. Wyniki pomiarów są zbieżne z pomiarami wykonanymi na reperach terenowych – por. tabela 3.

Dla punktów S17, S34, S35, S38 odnotowano podniesienie, odpowiednio o ok. 50 mm – S17 i S34, 20 mm – S35 i 30 mm – S38. Podczas wizji terenowej w miejscach tych zinwentaryzowano lokalne wypiętrzenia nawierzchni drogi.

Po analizie przemieszczeń punktów w płaszczyźnie poziomej zestawionych w tabeli 4, należy stwierdzić, że wszystkie punktu uległy przesunięciu w kierunku na południe o wartości w zakresie od ok. 60 mm do ok. 170 mm. Na kierunku wschód – zachód, który można uznać za współliniowy z osią podłużną sieci, punkty pomiarowe przemieszczały się w różnych kierunkach. Obserwuje się, że powstały odcinki pomiędzy punktami, które uległy skróceniu np. pomiędzy S18 i S19 (o ok. 20 mm), pomiędzy 21 i S22 (o ok. 60 mm), a także odcinki, które uległy zwiększeniu np. pomiędzy punktami S22 i S23 (o ok. 100 mm).

Zmienna sytuacja wysokościowa punktów powierzchni ma również wpływ na zmianę nachylenia odcinków sieci ułożonych w gruncie. Ustalone w latach 2015÷2018 zmiany nachylenia w punktach sieci instalacji sanitarnej od S18 do S36 zestawiono w tabeli 5.

Tab. 5. Zmiana nachyleń terenu w punktach węzłowych sieci w latach 2015÷2018

Punkt	H1/2015	Nachylenie/w 2015 r. Ty1 [mm/m]	H2/2018	Nachylenie/w 2018 r. Ty2 [mm/m]	Zmiana nachylenia 2015÷2018 D Ty*) [mm/m]
S18	259.26	—	259.21	—	—
S19	259.35	2.39	259.30	2.39	0.00
S20	259.67	23.65	259.63	24.35	-0.70
S21	260.00	29.33	259.96	29.36	-0.03
S22	261.40	28.04	261.36	28.09	-0.05
S23	261.80	27.64	261.76	27.45	0.19
S24	262.23	30.58	262.19	30.58	0.00
S25	263.08	35.62	263.04	35.65	-0.03
S26	264.17	47.58	264.13	47.56	0.02
S27	265.33	60.99	265.30	61.51	-0.53
S28	266.40	62.03	266.36	61.56	0.47
S29	267,27	70.73	267.23	71.02	-0.29
S30	268,94	87.43	268.90	87.12	0.32
S31	270,97	90.71	270.93	90.58	0.12
S32	273,05	93.78	273.00	93.24	0.53
S33	274,79	80.89	274.76	81.94	-1.04
S34	275,92	67.38	275.97	72.41	-5.03
S35	277,02	62.57	277.04	60.83	1.74
S36	278,59	43.49	278.56	42.06	1.43

\*) „+” ozn. zmniejszenie się nachylenia odcinka sieci kanalizacyjnej, „-”, ozn. zwiększenie się nachylenia odcinka sieci kanalizacyjnej.

Stwierdzone pomiarami zmiany nachylenia odcinków sieci mieszczą się w granicach od ok. 0,02 mm/m do ok. 5,03 mm/m dla wartości bezwzględnych. Zasadniczo wielkość zmian powodujących wzrost nachylenia instalacji grawitacyjnej nie jest znacząca dla warunków pracy i drożności przewodów. Problemem dla warunków użytkowania jest natomiast pojawienie się przeciwwspadku na odcinku S32-S36-S34.

#### 4. Wyznaczenie obliczeniowych wartości wskaźników deformacji od eksploatacji realizowanej w latach 2014÷2018

Na podstawie analizy dokonanej eksploatacji górniczej ustalono, że od kwietnia 2014 r., eksploatacja prowadzona była w pokładzie 510 wd: ściana 526, w pokładzie 510wg: ściana 506 oraz pokładzie 507: ściana 310. Mając jednak na uwadze, czas trwania ruchów górotworu, tj. przedział czasu pomiędzy zakończeniem eksploatacji, a faktycznym ustaniem ruchów na powierzchni, w obliczeniach wpływu dokonanej eksploatacji na obiekt uwzględniono również eksploatację w pokładzie 510 wg, ścianą 504 – Rys. 1, tabela 6.

Czas trwania ruchów górotworu [5] obliczony został na podstawie zależności (1) i dla analizowanych warunków górniczo-geologicznych wyniósł ok. 17 miesięcy, stąd też uwzględnienie tej eksploatacji w obliczeniach uznano za w pełni uzasadnione.

$$T_k = 0.028 \frac{H}{\sqrt{\operatorname{tg} \beta}} \quad [\text{czas}] \quad (1)$$

Wpływ dokonanej eksploatacji na obiekt określono na podstawie teorii W. Budryka – S. Knothego [2,3]. Do obliczeń przyjęto następujące wartości parametrów:

- współczynnik kierowania stropem, dla eksploatacji zawałowej  $a = 0,8$ ,
- tangens kąta zasięgu wpływów głównych  $\operatorname{tg} \beta = 2,0$ ,
- współczynnik proporcjonalności przesunięć poziomych do nachyleń  $B = 0,32r$  (gdzie  $r$  – promień zasięgu wpływów głównych).

W obliczeniach nie uwzględniono obrzeża eksploatacyjnego. Obliczenia wykonano przy zastosowaniu programu komputerowego DEFK-Win [6], przeprowadzając komputerową symulację biegu ścian dla



punktów zlokalizowanych w miejscu punktów węzłowych S1÷S52. Wyniki obliczeń dla punktów od S1 do S14 przedstawiono w tabeli 6.

Obliczeniowo wyznaczono:

- $w$  – obniżenie pionowe punktu, wyrażone w [mm],
- $T_{\max}$  – nachylenie krzywej profilu niecki górniczej w punkcie wyznaczone na podstawie składowych:  $T_{a1}$ ,  $T_{a2}$ , wyrażone w [mm/m],
- $u_{\max}$  – dwuwymiarowy wektor przemieszczenia poziomego punktu wyznaczony na podstawie składowych:  $u_{\max1}$ ,  $u_{\max2}$ , wyrażony w [mm],
- $e_{\max}$  – odkształcenie poziome ośrodka gruntowego wyrażające odkształcenie gruntu o charakterze zagęszczeń lub rozluźnień wyznaczony na podstawie składowych:  $e_{\max1}$ ,  $e_{\max2}$ , wyrażony w [mm/m],
- $k_{\max}$  – krzywiznę profilu niecki obniżeniowej w punkcie, wyznaczoną na podstawie składowych:  $k_{a1}$ ,  $k_{a2}$ , wyrażone w [1/km].

**Tab. 6.** Zestawienie obliczeniowych wartości wskaźników deformacji terenu od eksploatacji realizowanej w latach 2014÷2018

Punkt	$w$ , mm	$T_{\max}$ , mm/m	$T_{a1}$ , mm/m	$T_{a2}$ , mm/m	$u_{\max}$ , mm	$u_{a1}$ , mm	$u_{a2}$ , mm	$e_{\max}$ , mm/m	$e_{a1}$ , mm/m	$e_{a2}$ , mm/m	$k_{\max}$ , 1/km	$k_{a1}$ , 1/km	$k_{a2}$ , 1/km
S1	-206.9	2.01	0.9	-1.8	267.7	-119.7	239.5	1.79	-0.26	1.28	-0.013	0.002	-0.01
S2	-195.2	1.93	0.96	-1.68	257.1	-127.9	223	1.77	-0.1	1.16	-0.013	0.001	-0.009
S3	-176.8	1.8	0.96	-1.52	239.7	-128.4	202.4	1.74	0.13	1.05	-0.013	-0.001	-0.008
S4	-155.1	1.64	0.94	-1.34	218	-125.5	178.2	1.68	0.2	0.93	-0.013	-0.002	-0.007
S5	-146.8	1.57	0.93	-1.27	209.2	-123.5	168.8	1.65	0.25	0.88	-0.012	-0.002	-0.007
S6	-117.2	1.32	0.84	-1.02	176.2	-112.4	135.7	1.52	0.41	0.72	-0.011	-0.003	-0.005
S38	-92	1.09	0.74	-0.81	145.4	-97.7	107.6	1.36	0.5	0.59	-0.01	-0.004	-0.004
S37	-67.5	0.84	0.59	-0.6	112.4	-78.5	80.4	1.15	0.53	0.46	-0.009	-0.004	-0.003
S36	-59.9	0.76	0.7	-0.3	101.6	-93.1	40.7	1.07	0.92	0.14	-0.008	-0.007	-0.001
S35	-39.1	0.53	0.48	-0.21	70.4	-64.3	28.8	0.81	0.71	0.13	-0.006	-0.005	-0.001
S34	-31	0.43	0.39	-0.18	57.4	-52.1	24.2	0.69	0.61	0.13	-0.005	-0.005	-0.001
S33	-24.2	0.35	0.31	-0.15	46.1	-41.5	20	0.58	0.51	0.13	-0.004	-0.004	-0.001
S32	-18.4	0.27	0.24	-0.12	35.7	-31.7	16.5	0.47	0.41	0.12	-0.004	-0.003	-0.001
S31	-13.9	0.21	0.18	-0.1	27.6	-23.8	13.8	0.37	0.32	0.12	-0.003	-0.002	-0.001
S30	-10.2	0.15	0.13	-0.08	20.7	-17.2	11.5	0.28	0.24	0.12	-0.002	-0.002	-0.001
S29	-7.6	0.12	0.1	-0.07	15.8	-12.5	9.6	0.22	0.18	0.11	-0.002	-0.001	-0.001
S28	-6.5	0.1	0.08	-0.06	13.6	-10.3	8.8	0.19	0.15	0.11	-0.001	-0.001	-0.001
S27	-5.3	0.08	0.06	-0.06	11.3	-8.1	7.9	0.16	0.12	0.11	-0.001	-0.001	-0.001
S26	-4.1	0.07	0.04	-0.05	8.9	-5.8	6.8	0.13	0.09	0.1	-0.001	-0.001	-0.001
S25	-3.2	0.05	0.03	-0.04	7.3	-4.1	6	0.11	0.06	0.09	-0.001	0	-0.001
S24	-2.6	0.04	0.02	-0.04	6.1	-3	5.3	0.1	0.04	0.09	-0.001	0	-0.001
S23	-2.3	0.04	0.02	-0.04	5.5	-2.5	4.9	0.09	0.03	0.08	-0.001	0	-0.001
S22	-1.9	0.03	0.01	-0.03	4.8	-1.9	4.3	0.08	0.02	0.07	-0.001	0	-0.001
S21	-1.3	0.03	0.01	-0.02	3.5	-1.2	3.3	0.07	0.01	0.06	0	0	0
S20	-1.2	0.02	0.01	-0.02	3.3	-1.1	3.1	0.06	0.01	0.06	0	0	0
S19	-1.1	0.02	0.01	-0.02	3.1	-1	2.9	0.06	0.01	0.05	0	0	0
S18	-0.9	0.02	0.01	-0.02	2.5	-0.8	2.4	0.05	0	0.05	0	0	0
S17	-0.9	0.02	0.02	0	2.5	-2.5	-0.3	0.05	0.05	0	0	0	0
S16	-1.4	0.03	0.03	0	3.9	-3.8	-0.4	0.07	0.07	0	-0.001	-0.001	0
S15	-1.9	0.04	0.03	-0.03	5.1	-3.7	3.6	0.09	0.05	0.04	-0.001	0	0
S14	-3.8	0.07	0.05	-0.05	9.8	-7	6.9	0.17	0.08	0.08	-0.001	-0.001	-0.001

## 5. Omówienie i dyskusja wyników badań

Zgromadzone dane pomiarowe opisujące zaistniałą zmianę ukształtowania powierzchni terenu wskutek realizacji eksploatacji górniczej oraz obliczenia wykonane z wykorzystaniem szczegółowych parametrów

parcel tej eksploatacji pozwoliły na przeprowadzenie analizy porównawczej. Analizowane wyniki obejmowały, dane terenowe pozyskane w latach 2015÷2018:

- pomiary wysokościowe punktów na linii terenowej i pomiary na punktach węzłowych sieci infrastruktury technicznej – na ich podstawie ustalono faktyczną wielkości obniżeń punktów ozn.  $w_{\text{pom.}}$  [mm],
- pomiary współrzędnych prostokątnych punktów węzłowych sieci – na ich podstawie określono przemieszczenia poziome punktów na powierzchni terenu ozn.  $u_{\text{max pom.}}$  [mm].

Z uzyskanych danych obliczonych dla eksploatacji górniczej zrealizowanej w latach 2012÷2018, w analizie porównawczej wykorzystano:

- spodziewane obniżenie punktów obliczeniowych ozn.  $w_{\text{obl.}}$  [mm],
- spodziewane nachylenie krzywej profilu niecki górniczej w punktach obliczeniowych ozn.  $T_{\text{max obl.}}$  [mm/m],
- spodziewane przemieszczenia poziome punktów obliczeniowych,  $u_{\text{max obl.}}$  [mm].

W tabeli 7 zestawiono porównanie wartości pomierzonych i obliczonych wskaźników deformacji terenu dla wybranych punktów węzłowych obiektu liniowego, sieci infrastruktury technicznej.

Tab. 7. Zestawienie wartości pomierzonych i obliczonych w punktach węzłowych sieci

Punkt	$w_{\text{pom.}}$ [mm]	$w_{\text{obl.}}$ [mm]	$T_{\text{max pom.}}$ [mm/m]	$T_{\text{max obl.}}$ [mm/m]	$u_{\text{max pom.}}$ [mm]	$u_{\text{max obl.}}$ [mm]
S18	-50	-0.9	—	0.02	110.45	2.50
S19	-50	-1.1	0.00	0.02	80.62	3.10
S20	-40	-1.2	-0.70	0.02	104.40	3.30
S21	-40	-1.3	-0.03	0.03	82.46	3.50
S22	-40	-1.9	-0.05	0.03	92.20	4.80
S23	-40	-2.3	0.19	0.04	123.69	5.50
S24	-40	-2.6	0.00	0.04	143.18	6.10
S25	-40	-3.2	-0.03	0.05	150.33	7.30
S26	-40	-4.1	0.02	0.07	101.98	8.90
S27	-30	-5.3	-0.53	0.08	92.20	11.30
S28	-40	-6.5	0.47	0.10	120.42	13.60
S29	-40	-7.6	-0.29	0.12	125.30	15.80
S30	-40	-10.2	0.32	0.15	100.50	20.70
S31	-40	-13.9	0.12	0.21	89.44	27.60
S32	-50	-18.4	0.53	0.27	84.85	35.70
S33	-30	-24.2	-1.04	0.35	85.40	46.10
S34	+50	-31.0	-5.03	0.43	94.87	57.40
S35	+20	-39.1	1.74	0.53	111.80	70.40
S36	-30	-59.9	1.43	0.76	72.80	101.60

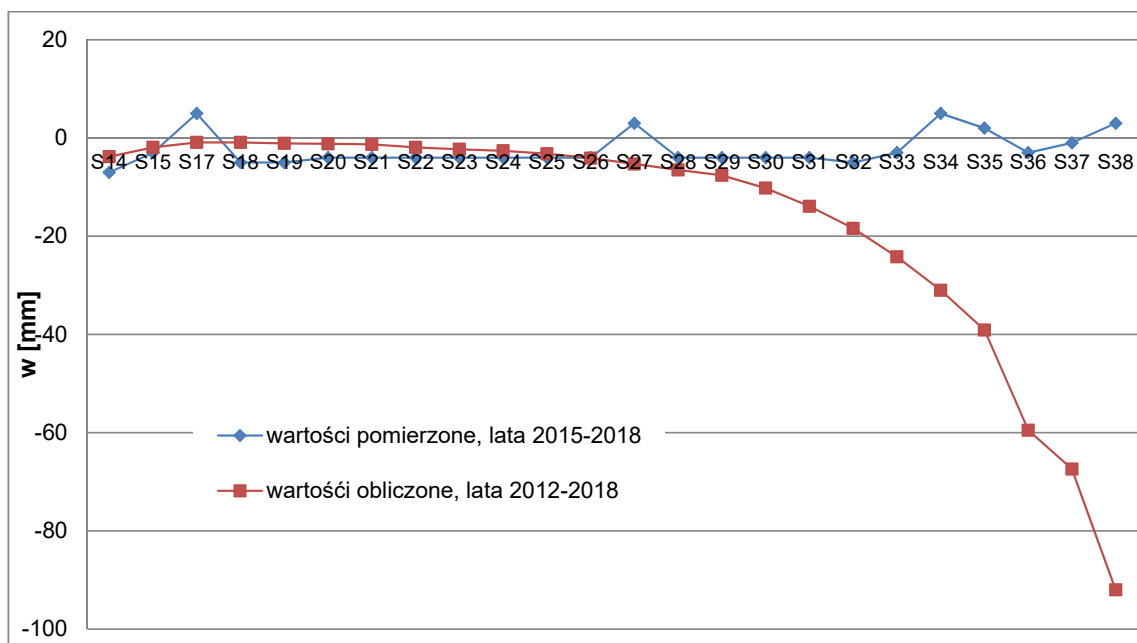
Na kolejnych rysunkach zamieszczono wykresy porównujące względne wielkości obniżeń, nachyleń i przemieszczeń w punktach na powierzchni terenu.

Rysunek 6 ilustruje przebieg obniżeń punktów powierzchni terenu (w [mm]), określonych na podstawie pomiarów wykonanych w lata 2015÷2018 i wstecznej prognozy za lata 2012÷2018, dla punktów węzłowych sieci infrastruktury technicznej ozn. od S14 do S38.

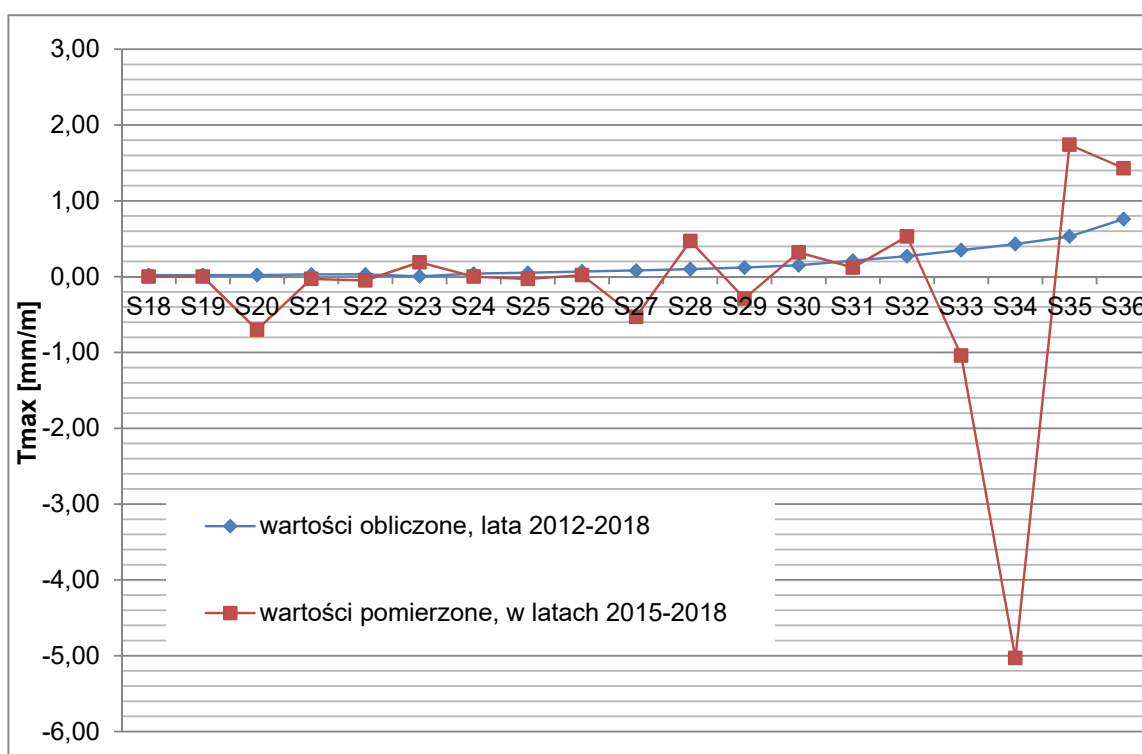
Rys. 7 ilustruje przebieg zmiany nachylenia powierzchni terenu ( $T_{\text{max}}$  [mm/m]), określony na podstawie pomiarów i wstecznej prognozy górniczej.

Na Rys. 8 przedstawiono przebiegi przesunięć poziomych punktów powierzchni terenu ( $u_{\text{max}}$  [mm/m]) w obu sytuacjach objętych badaniem, czyli na podstawie pomiaru w terenie i obliczeń teoretycznych.

Utworzone wykresy porównawcze wartości pomierzonych i obliczonych wskazują na widoczną rozbieżność wielkości rzeczywistych i prognozowanych, co szczególnie widoczne jest dla poziomych przemieszczeń punktów powierzchni (Rys. 8). Dla wszystkich wskaźników deformacji zgodnie z oczekiwaniem krzywe wartości prognozowanych dopasowane są do teorii. Analizując przebieg pomierzonych obniżeń pionowych (por. Rys. 6) zauważyć należy dobre dopasowanie do przebiegu oczekiwanego, ale równocześnie występowanie wielu punktów, w których zarejestrowano wypiętrzenie powierzchni terenu. Z punktu oceny

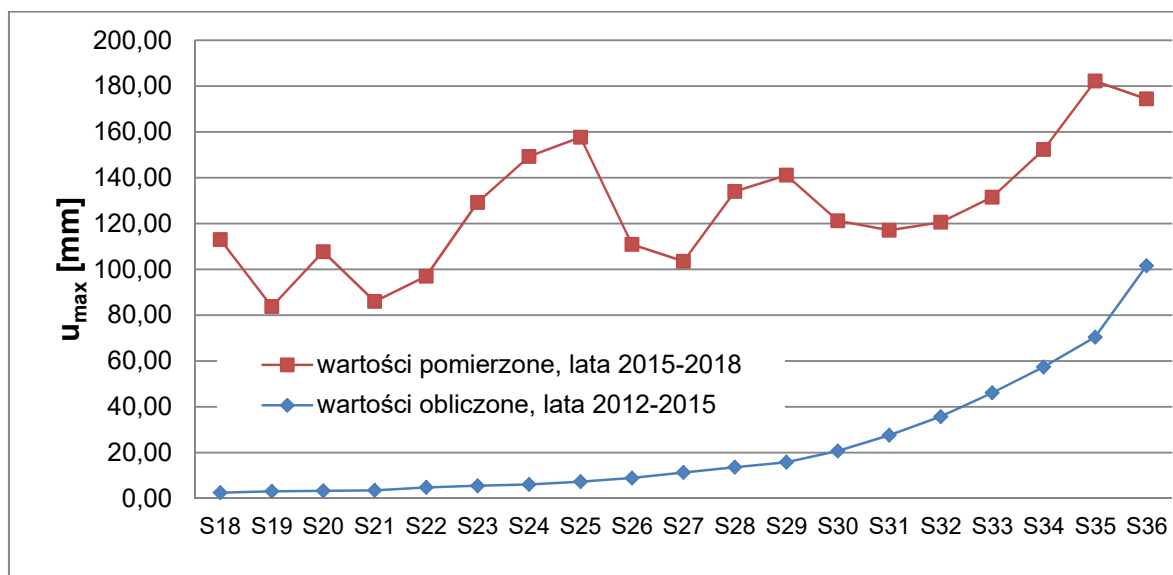


Rys. 6. Przebieg obniżenia punktów w latach 2012÷2018, na podstawie pomiarów i wstecznej prognozy górniczej



Rys. 7. Przebieg nachyleń w punktach w latach 2012÷2018 na podstawie pomiarów i wstecznej prognozy górniczej

wpływu oddziaływań tych deformacji na obiekty infrastruktury uznać należy, że przebieg obniżenia obiektu zagłębionego w gruncie jest nierównomierny, co powoduje większe niż oczekiwane jego obciążenia. Skutkuje to możliwym przerwaniem jego ciągłości. Wynik pomiarów obniżenia odzwierciedla również uzyskany przebieg nachyleń terenu (Rys. 7). Wartości pomierzone, szczególnie na odcinku od punktu S28 do S36 są znacząco mniejsze niż prognozowane. W strefach wypiętrzeń terenu stwierdzono natomiast odcinki o spadku przeciwnym do prognozowanego. W przypadku sieci grawitacyjnej zmiany nachyleń są kluczowe dla poprawnego ich funkcjonowania, a niekorzystne jest szczególnie występowanie odcinków o spadkach przeciwnych do projektowanych.



Rys. 8. Względne przesunięcia poziome punktów powierzchni terenu na podstawie pomiarów i wstecznej prognozy górnictwej

W badaniach największe rozbieżności wartości pomierzonych i prognozowanych uzyskano dla poziomych przemieszczeń punktów (Rys. 8). Zasadniczo wszystkie punktu uległy przesunięciu w kierunku na południe o wartości w zakresie od ok. 60 mm do ok. 170 mm. Na kierunku linii pomiarowej punkty przemieszczały się w różnych kierunkach, powstały odcinki pomiędzy punktami, które uległy skróceniu np. pomiędzy S18 i S19 (o ok. 20 mm), pomiędzy 21 i S22 (o ok. 60 mm), a także odcinki, które uległy zwiększeniu np. pomiędzy punktami S22 i S23 (o ok. 100 mm). Prognozowane wartości przemieszczeń poziomych punktów powierzchni są znacząco mniejsze od wartości pomierzonych, a wpływ tych przemieszczeń był kluczowy dla stanu infrastruktury sieci zagłębionej w gruncie.

## 6. Podsumowanie

Wykorzystując wyniki pomiarów terenowych w punktach węzłowych sieci infrastruktury technicznej obliczono wielkości obniżen i nachyleń terenu, oraz poziomych odkształceń powierzchni, które faktycznie oddziaływały na obiekt infrastruktury technicznej zagłębiony w gruncie.

Wyznaczone na podstawie pomiarów odkształcenia gruntu dla całego odcinka drogi miały charakter rozluźnień, które maksymalnie wynieść mogły ok. 1.79 mm/m w rejonie punktu S1 do 1.52 mm/m w rejonie S6 – wartości te mieszczą się dolnej granicy II kategorii terenu górnictwej. W kierunku do punktu S16 rozluźnienie gruntu wynikające z bezpośrednich oddziaływań górnictwych wynieść mogły od ok. 1.36 mm/m – S38 do ok. 0.05 mm/m – S17 i mieściły się w zakresie I kategorii terenu górnictwej. Odnoszą się tylko do kategorii terenu określonej wielkością wskaźników odkształceń poziomych gruntu uznać można, że ujawnione w terenie deformacje nie przekroczyły wartości oczekiwanych, na które zaprojektowano sieć. Dotyczyło to również zasadniczego trendu nachyleń terenu. Po szczegółowej analizie wyników pomiarów okazało się jednak, że na długości obiektu liniowego o konstrukcji wrażliwej na nierównomierne obniżenia podłoża, występowały strefy wypiętrzeń a punkty węzłowe sieci uległy znacznym poziomym przemieszczeniom w kierunku do kształtującej się niecki.

Podstawą oceny wielkości ujawnionych oddziaływań górnictwych powinny być, zatem analizy pomiarów przemieszczeń punktów powierzchni na podstawie, których możliwe jest określenie rzeczywistych deformacji powierzchni terenu.

Prognoza wsteczna powinna być wykonywana z uwzględnieniem wyników pomiarów ujawnionych deformacji powierzchni i zweryfikowana z uwagi na warunki lokalne.

Wyniki obliczeń wielkości wskaźników deformacji powierzchni wskutek dokonanych robót wybierkowych bez możliwości weryfikacji opartej na pomiarach rzeczywistych deformacji powinny być traktowane z dużą ostrożnością.



**Literatura**

- [1] Ustawa z dnia 7 lipca 1994r. prawo budowlane.
- [2] Knothe S.: Równanie profilu ostatecznie wykształconej niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa. Tom 1, Zeszyt, 1953.
- [3] Knothe S.: Obliczanie wielkości deformacji powierzchni i górotworu. Praca Zbiorowa. Ochrona powierzchni przed szkodami górnictwem. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1980.
- [4] Szpetkowski S.: Charakterystyka wpływów robót górniczych na górotwór i na powierzchnię terenu. Praca Zbiorowa. Ochrona powierzchni przed szkodami górnictwem. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1980.
- [5] Chudek M, Strzałkowski P., Ściagała R.: Czas trwania procesu poeksploatacyjnych deformacji powierzchni terenu w zależności od warunków geologiczno – górniczych. Budownictwo Podziemne i Tunelowe, nr 3/2000. Katowice 2000.
- [6] Ściagała R.: Komputerowe wspomaganie prognozowania deformacji górotworu i powierzchni wywołanych podziemną eksploatacją górniczą. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008

**Usefulness of retroactive mining forecast in the evaluation of revealed surface deformations****Abstract**

Matching the prediction of mining deformation with the actual deformation revealed in the subsurface is the basis for properly selected construction prophylaxis and correctly formulated conclusions about the resulting mining damage. For this reason, comparative studies of the values of surface deformation indices calculated for the parameters of the completed mining operation and field measurements are an important part of in situ observations in underground mining. They are also a part of the study of the effects of mining impacts on buildings and technical infrastructure of surface development. The article describes the study of the results of the backward mining forecast in the context of the analysis of factors affecting the deterioration of a linear object, a section of a public road and its accompanying infrastructure.

**Keywords:** mining deformation; mining forecast; mining damage; technical infrastructure