

# Wpływ zmiennej krzywizny terenu przy przejściu frontu eksploatacyjnego na stan techniczny wielorodzinnego budynku mieszkalnego

The influence of a variable ground curvature at the passing of an exploitation front on the technical condition of a multi-family residential building



Dr hab. inż. Leszek Szojda<sup>\*)</sup>



Dr inż. Łukasz Kapusta<sup>\*)</sup>

**Treść:** W artykule przedstawiono wyniki pomiarów terenowych mających na celu określenie wielkości i charakteru zmian krzywizny powierzchni terenu w trakcie przejścia frontu eksploatacyjnego, oraz jej wpływ na stan techniczny wielorodzinnego, tradycyjnego budynku mieszkalnego. Krzywiznę terenu w bezpośrednim sąsiedztwie obserwowanego budynku namierzono technikami geodezyjnymi. Dodatkowo monitorowano również zmiany geometrii samej konstrukcji budynku. Pozwoliło to na określenie zależności pomiędzy obiema krzywiznami: budynku oraz sąsiadującego z nim bezpośrednio terenu. Pomiary prowadzono w Bytomiu w okresie: październik 2014 – grudzień 2016. Łącznie wykonano 35 cykli pomiarowych.

**Abstract:** This paper presents the results of field surveys which were aimed at determining the size and nature of changes of the curvature of the ground surface at the passing of an exploitation front as well as its influence on the technical condition of a traditional, multi-family residential building. The curvature of the ground in the close proximity of the monitored building was measured by use of geodetic techniques. In addition, the changes in geometry of the building structure in itself were monitored. It allowed to determine the relationship between the two curvatures: the one of the building and the one of the ground in its close proximity. The measurements were conducted in Bytom between October 2014 and December 2016. Thirty-five surveying cycles were conducted altogether.

## Słowa kluczowe:

krzywizna terenu górniczego, współpraca budowla-podłoże, zależność krzywizny terenowej w stosunku do krzywizny konstrukcji budynku

## Keywords:

curvature of the mining ground, building – ground relation, relation between ground curvature and the curvature of a building structure

## 1. Wprowadzenie

Eksploatacja węgla kamiennego skutkuje pojawieniem się deformacji powierzchni terenu. Według bilansu zasobów (dane na 2013 rok) powierzchnia terenów górniczych w Polsce to ponad 5% ogólnej powierzchni kraju (Bilans ... 2014). Tym samym terytorium objęte potencjalnymi szkodami górnictwem wynosi prawie 16 tys. km<sup>2</sup>. Częściowo powierzchnia ta jest zabudowana. Stanowi to duże zagrożenie dla budynków, bowiem podłoże deformując się oddziałuje przez ich fundamenty na całą budowlę (Szojda 2009). Potwierdzają to poniższe dane. W ciągu dziesięciu lat, 2000-2010 w górnictwie węgla kamiennego koszty usuwania szkód górniczych przekroczyły 2,8 mld zł. W następnych latach nakłady z tytułu szkód górniczych były jeszcze większe, ponad 400 mln zł rocznie

(Baca-Pogorzelska 2012). Największe nakłady kopalnie węgla kamiennego przeznaczyły na remonty budynków mieszkalnych, co stanowiło ponad ¼ wszystkich poniesionych kosztów. Dla przykładu w roku 2009 wyremontowano łącznie aż 6463 obiekty (Kulczycki, Piątkowski 2010). Wynika to ze specyfiki budownictwa mieszkaniowego. Znaczną część budynków mieszkalnych stanowią bowiem obiekty murowane, wykonane w technologii tradycyjnej. Na terytorium województwa śląskiego istnieje duża grupa tego typu konstrukcji. Często spełniają one funkcję obiektów wielorodzinnych stanowiąc tym samym dom dla licznej grupy mieszkańców. Z drugiej strony wiele z nich wykonywano w połowie ubiegłego wieku i dziś coraz częściej zauważyć już można ich techniczne zużycie. Wpływy deformującego się podłoża, które występują często wielokrotnie, dodatkowo pogarszają ten stan. Sam rodzaj konstrukcji omawianych obiektów też jest w pewnym sensie szczególnie. Struktura murowa ścian takich obiektów

<sup>\*)</sup> Politechnika Śląska, Gliwice

jest krucha w stosunku do drewnianych elementów konstrukcyjnych (stropów, dachu) i pod wpływem deformacji może dość łatwo ulegać zarysowaniu. Budynki te nie mają również żelbetonowych elementów wzmacniających, wobec czego stają się szczególnie narażone na oddziaływania górnicze.

Przedmiotem niniejszego artykułu jest sprawdzenie zagrożenia jakie niesie za sobą deformacja powierzchni terenu w postaci zmiennej krzywizny ujawniająca się podczas przejścia frontu eksploatacyjnego dla wielorodzinnego budynku mieszkalnego wykonanego w technologii tradycyjnej. W tym celu zastabilizowano linię pomiarową w terenie oraz osadzono repery na obiekcie, a następnie wykonano pomiary geodezyjne tych punktów. Prace pomiarowe objęły okres od października 2014 do grudnia 2016 roku. Wykonano łącznie 35 cykli pomiarowych.

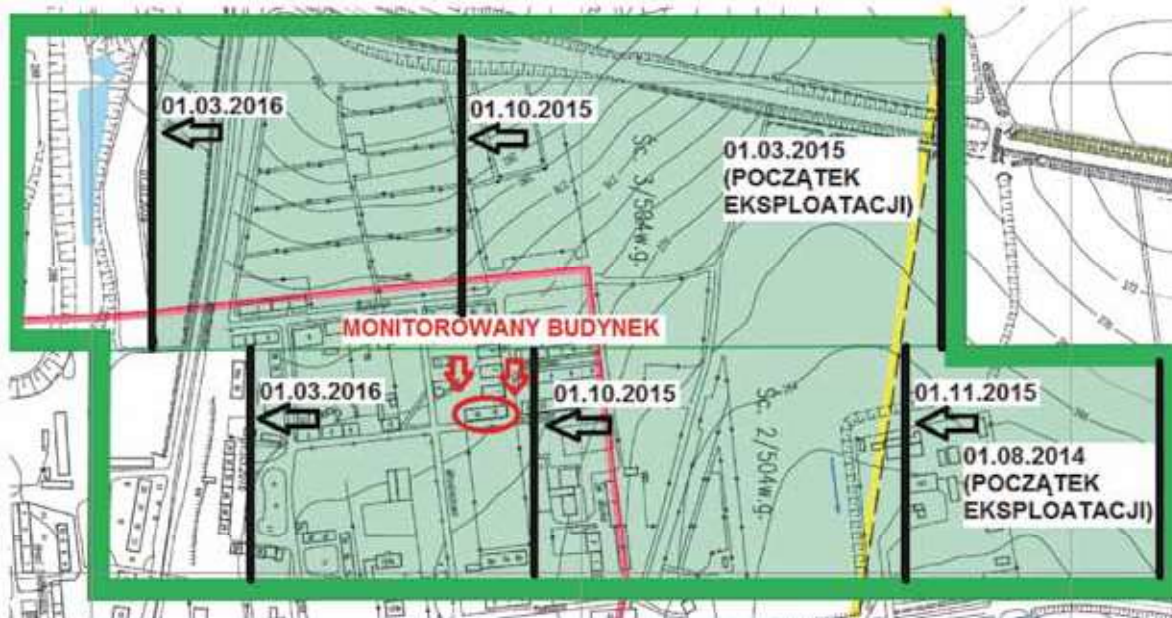
## 2. Dane eksploatacyjne, lokalizacja badanego obiektu oraz technologia pomiarów geodezyjnych

Badany obszar znajduje się w miejscowości Bytom przy ul. Raclawickiej. Wydobycie węgla w tym rejonie prowadzi

KWK „Bobrek-Centrum”. Plan ruchu na lata 2014-2016 zakładał eksploatację węgla ścianą 2/504, w.g. długą na ok. 400 m znajdującą się bezpośrednio pod ul. Raclawicką oraz 3/504 o długości ok. 550 m, (rys. 1). Głębokość eksploatacji wynosiła ok. 710 m, średnia miąższość pokładu 1,8 m, technologia wydobywania na zawal.

Eksploatację w Bytomiu rozpoczęto 01.08.2014 roku ścianą 2/504 w.g. stopniowo przesuując się na zachód, w kierunku monitorowanych budynków. W dniu 01.03.2015 roku rozpoczęto również eksploatację ściany 3/504 w.g. zlokalizowanej na tej samej głębokości co ściana 2/504, sąsiadującej z nią wzdłuż północnej krawędzi. W listopadzie 2015 roku front eksploatacyjny znalazł się bezpośrednio pod monitorowanym budynkiem. Następnie eksploatację kontynuowano w kierunku zachodnim. W marcu 2016 roku front eksploatacyjny znajdował się już ponad 300 metrów za miejscem prowadzonych prac pomiarowych.

Głównym celem prowadzonych badań terenowych było określenie zmian krzywizny podłoża sąsiadującego z badanym budynkiem, dlatego we współpracy z KWK Bobrek-Centrum zastabilizowano linię pomiarową składającą się z 7 punktów terenowych (nr: 1-7) zlokalizowanych wzdłuż ul. Raclawickiej we wzajemnej odległości ok. 25 metrów (rys. 2).



Rys. 1. Postęp eksploatacji na monitorowanym obszarze wraz z lokalizacją monitorowanego budynku  
Fig. 1. The progress of the exploitation in the monitored area along with the location of the monitored building



Rys. 2. Lokalizacja monitorowanych punktów terenowych  
Fig. 2. The location of the monitored ground points

Następnie, rozpoczynając monitoring powierzchni terenu, w celu określenia obniżeń punktów terenowych 1-7 wykonywano cykliczny pomiar niwelacyjny. Do pomiarów wysokościowych wykorzystano niwelator kodowy SOKKIA SDL 50. Dokładność pomiaru instrumentu jest określana jako odchylenie standardowe dla 1 km podwójnej niwelacji i wynosi  $\pm 1,5$  mm. Pierwszy pomiar tzw. "pomiar zerowy" odbył się w dniu 24.10.2014 roku. Daty kolejnych pomiarów wraz z odstępami pomiędzy nimi liczonymi w dniach podano w tabeli 1. Znajomość obniżeń pozwoliła na wyznaczenie krzywizn terenowych na poszczególnych reperach linii terenowej. Wyniki przedstawiono na rys. 12.

**Tabela 1. Daty pomiarów terenowych wraz z interwałem czasowym**

**Table 1. The dates of the field surveys along with the time intervals**

Data pomiaru	Odstęp pomiędzy kolejnymi pomiarami w dniach
24.10.2014	-
10.11.2014	17
22.11.2014	12
04.12.2014	12
18.12.2014	14
22.01.2015	35
20.02.2015	29
20.03.2015	28
10.04.2015	21
04.05.2015	24
22.05.2015	18
12.06.2015	21
30.06.2015	18
24.07.2015	24
11.08.2015	18
25.08.2015	14
11.09.2015	17
25.09.2015	14
09.10.2015	14
23.10.2015	14
11.11.2015	19
28.11.2015	17
12.12.2015	14
30.12.2015	18
16.01.2016	17
30.01.2016	14
20.02.2016	31
11.03.2016	20
29.03.2016	18
15.04.2016	17
07.05.2016	22
27.05.2016	20
17.06.2016	21
09.08.2016	53
09.12.2016	115

### 3. Charakterystyka monitorowanego budynku

Monitorowany budynek znajduje się przy ul. Raclawickiej nr 16, 18 w Bytomiu. Został on wzniesiony z cegły w latach dwudziestych ubiegłego wieku jako całkowicie podpiwniczony, o wysokości 3 kondygnacji nadziemnych. Wymiary gabarytowe to odpowiednio: długość 44,3m, szerokość 11,8m. Nad piwnicą wykonano strop Kleina, natomiast stropy kondygnacji nadziemnych wykonano w konstrukcji drewnianej.

Budynek jest jednosegmentowy. Posiada podłużny układ ścian nośnych. Dach dwuspadowy o konstrukcji drewnianej, pokryty dachówką ceramiczną. Na rysunku 3 przedstawiono fragment dokumentacji budynku (*Dokumentacja ...*).

Dla przedmiotowego budynku wykonano również autorską inwentaryzację celem szczegółowego rozpoznania geometrii badanej konstrukcji (rys. 4).

Budynek znajduje się w miejscu, gdzie eksploatację górnictwem w przeszłości prowadzono kilkanaście razy, a łączne obniżenia dochodzą tam już do blisko 20 metrów. W związku z powyższym, blisko stuletni obiekt nie jest dziś w dobrym stanie technicznym. W przeszłości był on kilkakrotnie uszkodzony. Jako jednosegmentowy, długi na ponad 44 metry budynek niezdyktowany na skutek prowadzonych prac górniczych uległ zarysowaniu, dzieląc się na trzy części (rys. 5, 6). Uszkodzenia te naprawiano na bieżąco, ponownie przemurowując osłabione fragmenty muru, przywracając w znacznym stopniu pierwotną sztywność konstrukcji. W październiku 2014 roku, przed rozpoczęciem prac pomiarowych przedmiotowy obiekt był niezarysowany. Naprawione miejsca nie wykazywały uszkodzeń.

Aby możliwe było monitorowanie ruchów pionowych budynku umieszczono na nim łącznie 9 reperów ściennych na poziomie ok. +0,5m powyżej powierzchni terenu (6 na ścianie południowej i 3 na ścianie zachodniej) w postaci kołków nierdzewnych na żywicy (rys. 7)

Na tych punktach wykonano cykliczne pomiary niwelacyjne celem nie tylko zarejestrowania ruchów pionowych, ale również ewentualnego zakrzywienia konstrukcji. Schemat rozmieszczenia reperów ściennych na budynku przedstawiono na rys. 8.

### 4. Wyniki zmian krzywizny terenu w trakcie przejścia frontu eksploatacyjnego

W trakcie prowadzonej eksploatacji, terenowa linia pomiarowa zastabilizowana w Bytomiu ulegała deformacjom. Analizując wyniki pomiarów terenowych dla każdego z reperów linii terenowej wyznaczono lokalną krzywiznę terenu. Dla wewnętrznych punktów linii (Rp2-Rp6) było to możliwe dzięki znajomości obniżeń tych punktów oraz punktów sąsiednich. Wyniki zmian krzywizny terenu dla poszczególnych reperów linii terenowej w czasie przedstawia rys. 9.

Maksymalną krzywiznę wypukłą dla repera nr 2 zaobserwowano najwcześniej (25.08.2015). Wraz z postępowaniem prac eksploatacyjnych wartości ekstremalne krzywizny pojawiały się na kolejnych reperach linii. Było to zgodne z kierunkiem przejścia frontu eksploatacyjnego. Wielkości maksymalnego promienia krzywizny w monitorowanej lokalizacji wynoszą ok. 25 – 30 km, co odpowiada I kategorii górniczej. Zaobserwowano również, że do momentu uzyskania maksymalnej krzywizny wypukłej przyrastanie wartości tego parametru następowało płynnie. Natomiast w trakcie zmiany charakteru wygięcia terenu z wypukłego na wklęsły płynność ta na niektórych punktach została zagubiona. Przyczyną takiego stanu rzeczy może być błąd pomiarowy, ale również niejednorodna budowa geologiczna czy reaktywacja starych zasobów. Wyniki pomiarów pokazują, jak lokalna krzywizna jest zmiennym i trudno prognozowalnym parametrem (*Ostrowski 2006*). Szczególnie na krótkich odcinkach terenowych odpowiadających długościom pojedynczych budynków. Po przejściu frontu eksploatacyjnego widać duży rozrzut ostatecznych wartości krzywizny terenowej, np. na reperze nr Rp5 nie zaobserwowano wykształcenia się krzywizny wklęsłej. Dla reperów nr Rp2, Rp3 i Rp6 ostateczna krzywizna jest bliska zeru, natomiast dla dwóch pozostałych



Kategoria odporności statycznej		1		Miejscowość: Bytom		Dzielnica: Karb		Ulica: Raclawicka		Numer: 16-18						
1	2	3	4	5					6		7		Cechy uzup.		Razem	
25	2	0	0	a	b	c	d	e	8	a	b	(-)	(+)	0		52
<b>ARKUSZ EWIDENCYJNY BUDYNKU NUMER RAC16.18</b> ustalenie stanu technicznego i odporności na wpływy odkształceń terenu spowodowanego eksploatacją górnictw.																
<b>Dane ogólne</b> Właściciel: <u>ZGM Bytom</u> Użytkowanie: <u>budynki mieszkalny</u> Rok budowy: <u>1920</u> t <sub>d</sub> <u>54</u> lat Liczba kondygnacji: <u>3,5</u>																
<b>Dane charakteryzujące obiekt</b> Pow. zabudowy: <u>523,0</u> m <sup>2</sup> Kubatura V = <u>6624,0</u> m <sup>3</sup> Kształt bryły: <u>rzut prosty, bryła wydłużona</u> Wymiary zewnętrzne: <u>11,8 x 44,3</u> Liczba mieszkań: <u>20</u>																
<b>Wyposażenie budynku</b> Instalacje: - wodociągowa: - z sieci <input checked="" type="checkbox"/> -ze studni <input type="checkbox"/> - kanalizacyjna: - do sieci <input checked="" type="checkbox"/> - szambo <input type="checkbox"/> - gazowa: <input type="checkbox"/> - grzewcza: - z sieci c.o. <input type="checkbox"/> - lok. kotł. <input checked="" type="checkbox"/> - inne (brzozy, drzwi, wył.kominy itp.): <u>0</u>																
<b>1.5. Szkic sytuacyjny</b> 																
<b>5. Dane techniczne</b> 5.1. Podpiwniczenie: <u>całkowite</u> 5.2. Rodzaj fundamentów: <u>murowane z cegieł</u> 5.3. Materiał ścian piwnic: <u>murowane z cegieł</u> 5.4. Materiał ścian parteru i wyższych kondygnacji: <u>murowane z cegieł</u> 5.5. Materiał stropów: 5.5.1. Nad piwnicą: <u>Kleina</u> 5.5.2. Nad parterem i wyżej: <u>drewniany</u> 5.6. Dach: 5.6.1. Konstrukcja: <u>drewniany</u> 5.6.2. Pokrycie: <u>dachówka ceramiczna</u> 5.7. Nadproża: <u>ceglane płaskie</u> 5.8. Dylatacje: <u>-</u> 5.9. Inne dane o konstrukcji: <u>brak</u> 5.10. Istniejące zabezpieczenia: <u>w poziomie wszystkich stropów</u> <b>6. Stan techniczny bud.</b> 6.1. Zużycie naturalne: <u>zły</u> 6.2. Stwierdzone uszkodzenia: <u>pęknięcia o rozwarciu do 5 mm</u> 6.3. Inne uszkodzenia: <u>-</u> 6.4. Wychylenie budynku: <u>pochyły budynek</u>																

Rys. 3. Dane techniczne badanego budynku w Bytomiu (Dokumentacja ...)

Fig. 3. Technical data of the monitored building in Bytom (Dokumentacja ...)

punktów odbiega od zera. Wyniki wskazują ponadto, że po przejściu frontu eksploatacyjnego teren pozostał pofalowany, a lokalna krzywizna terenu jest nawet w skrajnych przypadkach różna co do znaku. Pomiary zakończono w grudniu 2016 roku, już po ujawnieniu się deformacji terenu związanych z eksploatacją tej ściany.

## 5. Korelacja krzywizny terenu z deformacjami budynku

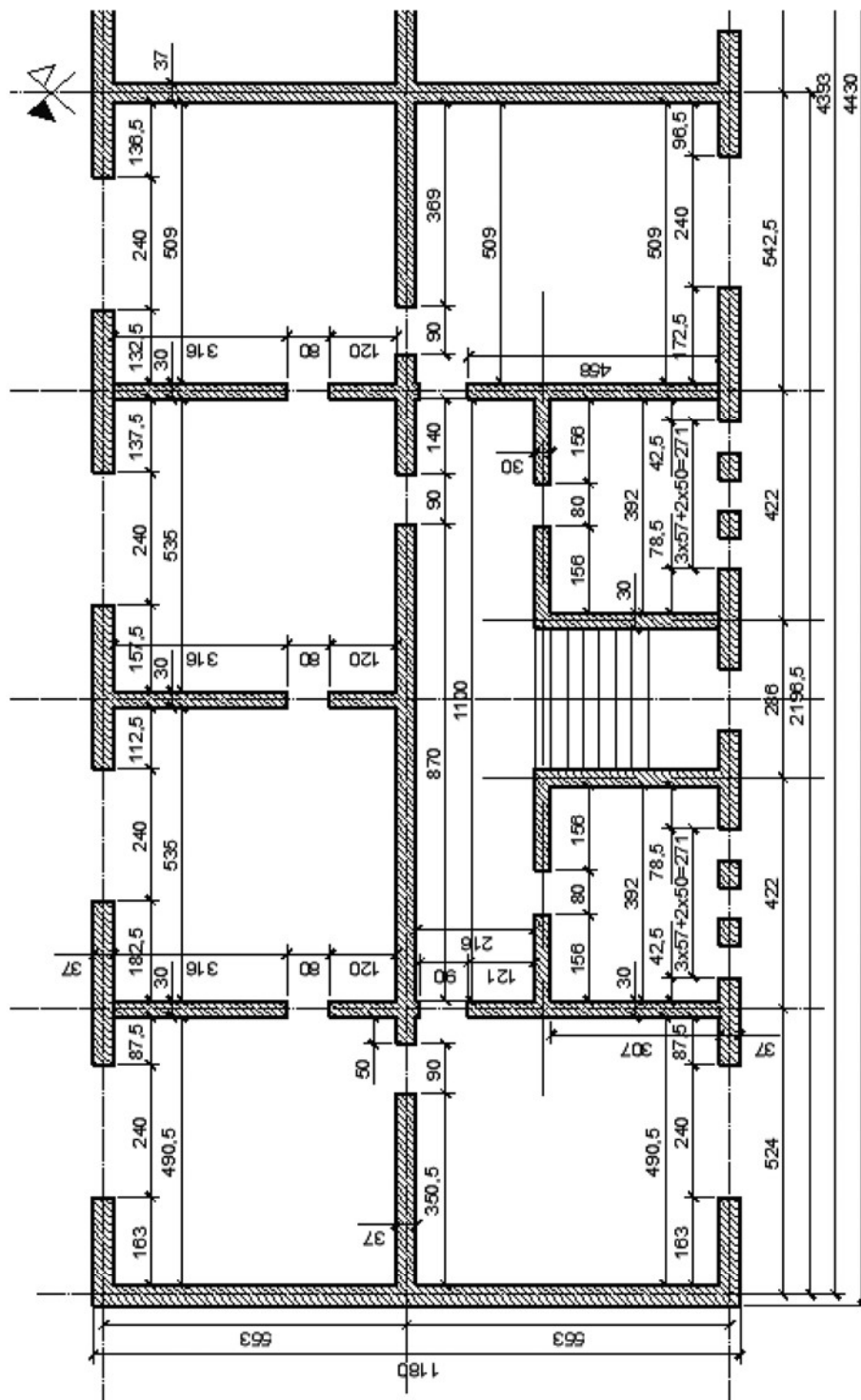
Przy opracowaniu wyników podjęto również próbę określenia zależności pomiędzy krzywiznami podłoża i budynku. W tym celu w kolejnym etapie zaprezentowane zostanie porównanie nachylenia monitorowanych budynków z terenowymi, zarejestrowanymi na odcinkach linii terenowej zlokalizowanych bezpośrednio obok budynku. Sytuacja terenowa w Bytomiu pozwoliła na zastabilizowanie długiej na blisko 150 m. linii terenowej usytuowanej równolegle do dłuższej krawędzi obserwowanego obiektu w odległości kilku metrów od niego. Lokalizację linii terenowej w stosunku do monitorowanego budynku przedstawia rys. 10.

Jest to rozwiązanie optymalne, ponieważ deformacje terenu zarejestrowane na linii pomiarowej będą trafnie odzwierciedlały sytuację terenową w bezpośrednim sąsiedztwie budynków. Zmiany nachyleń poszczególnych sekcji monitorowanego budynku oraz terenu w bezpośrednim jego sąsiedztwie przedstawia rys. 11. Porównanie wielkości nachyleń poszczególnych fragmentów linii terenowej z tymi uzyskanymi dla budynku pozwoli w dalszej części na:

- uzyskanie zależności pomiędzy zachowaniem się budynku oraz powierzchni terenu w bezpośrednim jego sąsiedztwie, co da możliwość oceny poprawności doboru lokalizacji punktów terenowych, mających na celu wierne oddanie ruchów terenu w najbliższym sąsiedztwie budynku,

- uzyskanie danych wyjściowych do określenia ewentualnych krzywizn konstrukcji budynku w płaszczyźnie obserwowanej ściany. To na podstawie różnic nachyleń, podobnie zresztą jak dla krzywizn powierzchni terenu przedstawionych w punkcie 4 wyznaczona zostanie krzywizna dla budynku. Wyniki przedstawiono na rys. 11

Na wykresie (rys. 11) zestawiono wyniki zmian nachyleń budynku oraz podłoża w bezpośrednim jego sąsiedztwie. Najbliższy obiekt znajduje się odcinek terenowy RP5-RP6 (rys. 2). Nachylenia terenu i budynku są praktycznie identyczne w całym okresie objętym monitoringiem. Świadczyć to może o tym, że lokalizacja punktów terenowych w stosunku do budynku została dobrana poprawnie, a wyniki z reperów terenowych odzwierciedlają ruchy powierzchni w bezpośrednim sąsiedztwie budynku. Na rys. 11 zestawiono również wykresy nachyleń dla sąsiednich odcinków linii terenowej, aby pokazać w nieco szerszym zakresie ruchy powierzchni terenu w otoczeniu budynku. Wraz ze zbliżaniem się frontu eksploatacyjnego następowało zwiększanie się nachyleń zarówno budynku, jak i odcinków linii terenowej. Największą ich wartość zaobserwowano na przełomie listopada i grudnia 2015 roku - nieco ponad 4mm/m. Front eksploatacyjny znajdował się wówczas na wysokości monitorowanego obiektu. Najważniejszą z punktu widzenia prowadzonych pomiarów szukaną wielkością była tutaj ewentualna deformacja budynku (krzywizna). Dlatego na



Rys. 4. Rzut piętra monitorowanego budynku

Fig. 4. The plan of the floor of the monitored building

dwóch prostokątnych ścianach zewnętrznych zainstalowano po min. trzy repery, tak aby dzięki uzyskanym wynikom móc ocenić wielkość ewentualnej krzywizny budynku (rys. 8). W przypadku, gdy obiekt nie odkształci się, wówczas wszystkie repery ściennie nie zmieniają swojej pozycji pionowej (rys. 12). W przeciwnym wypadku, gdy wystąpi krzywizna budynku pojawią się wówczas różnice w nachyleniach odcinków łączących sąsiednie repery ściennie (rys. 12)

Tym samym, dla omawianego budynku w przypadku braku jego krzywizny, zmiany nachyleń L1 i L2 (rys. 11)

nie występowałyby przez cały okres trwania pomiarów. W analizowanym wypadku jest inaczej. Można tutaj zauważyć najpierw wzrosty, a później spadki wartości nachyleń linii L1 i L2 łączących repery ściennie odpowiednio RP161-R163 i RP163-R183 (rys. 10). Ujawnia się tu zatem efekt dopasowywania się budynku do podłoża i jego krzywizna. Wraz z zanikiem nachyleń, któremu towarzyszyło oddalanie się frontu eksploatacyjnego na zachód od budynku, następowało również zmniejszanie się różnic pomiędzy nachyleniami odcinków L1 i L2. Wyniki wskazują zatem na zmniejszanie



Rys. 5. Strefy osłabione w przeszłości, obecnie przemurowane, bez zarysowań na zewnętrznej, podłużnej ścianie południowej (stan na październik 2014)

Fig. 5. Areas weakened in the past, re-bricked at present, without cracks on the outer, oblong, southern wall (as in October 2014)



Rys. 6. Strefy osłabione w przeszłości, obecnie przemurowane, bez zarysowań na zewnętrznej, podłużnej ścianie północnej

Fig. 6. Areas weakened in the past, re-bricked at present, without cracks on the outer, oblong, northern wall

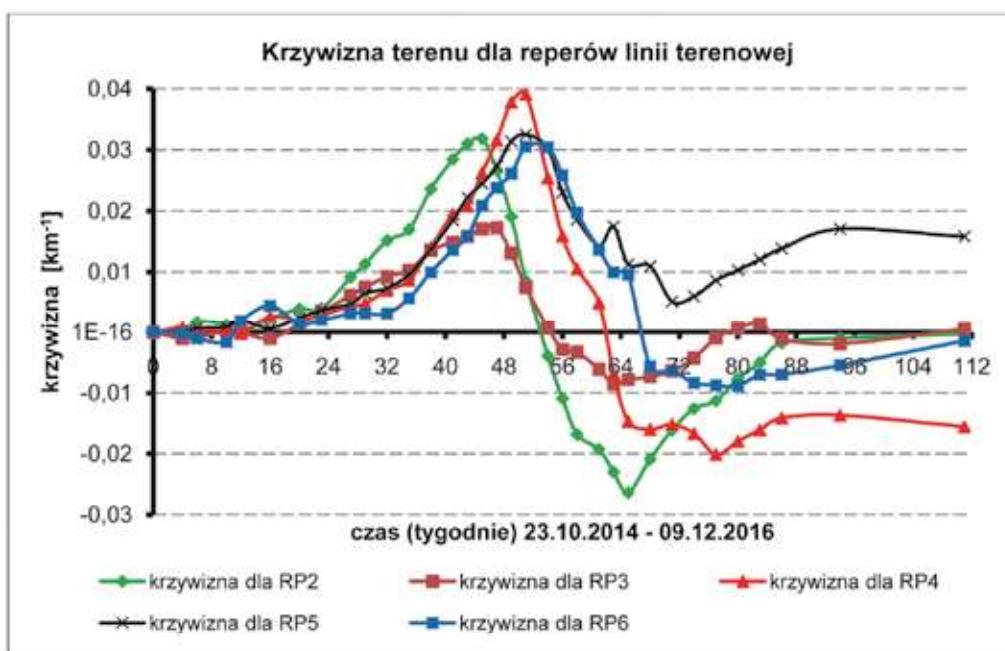


Rys. 7. Reper ścienny nr 165 na budynku  
Fig. 7. Benchmark no. 165 on the building

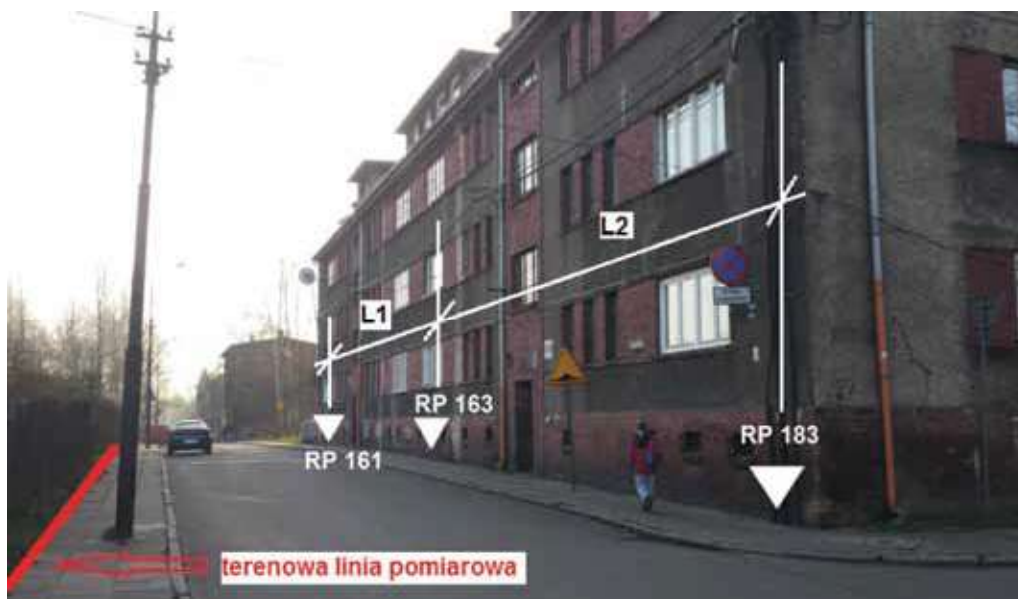




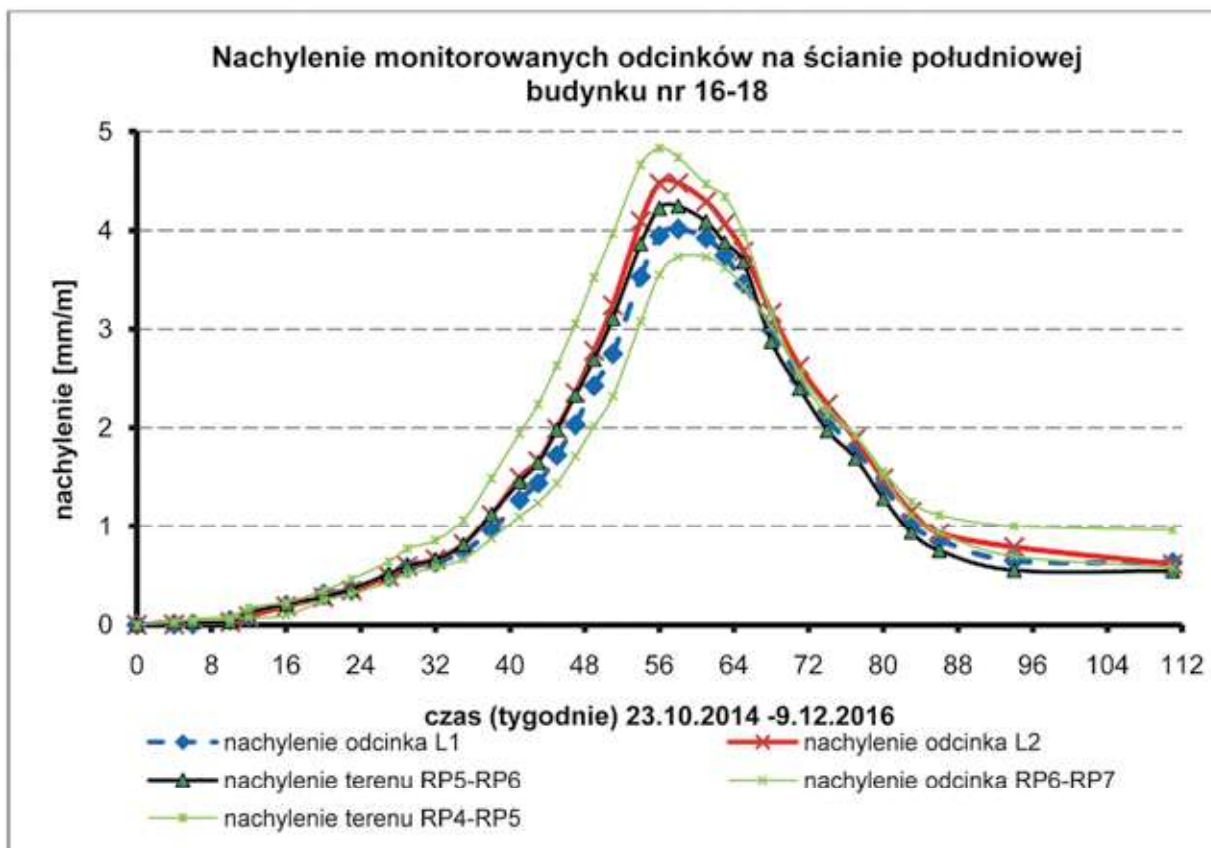
Rys. 8. Schemat rozmieszczenia reperów ściennych na ścianach budynku  
 Fig. 8. The layout of the arrangement of benchmarks on the walls of the building



Rys. 9. Wykres lokalnych krzywizn dla poszczególnych punktów terenowej linii pomiarowej  
 Fig. 9. The graph of the local curvatures for the respective points of the ground measurement line

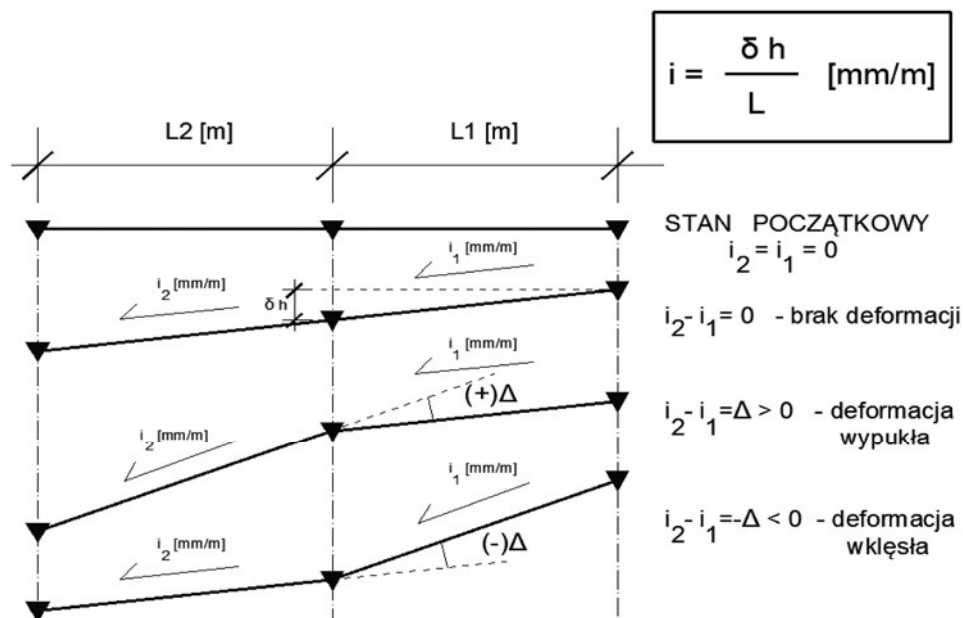


Rys. 10. Południowa ściana budynku ze wskazaniem lokalizacji reperów ściennych oraz linii terenowej  
 Fig. 10. Southern wall of the building with the indication of the benchmarks as well as the ground line



Rys. 11. Zmiany nachylenia monitorowanych odcinków ściany południowej budynku w czasie wraz ze zmianami nachylenia terenu w bezpośrednim sąsiedztwie budynku

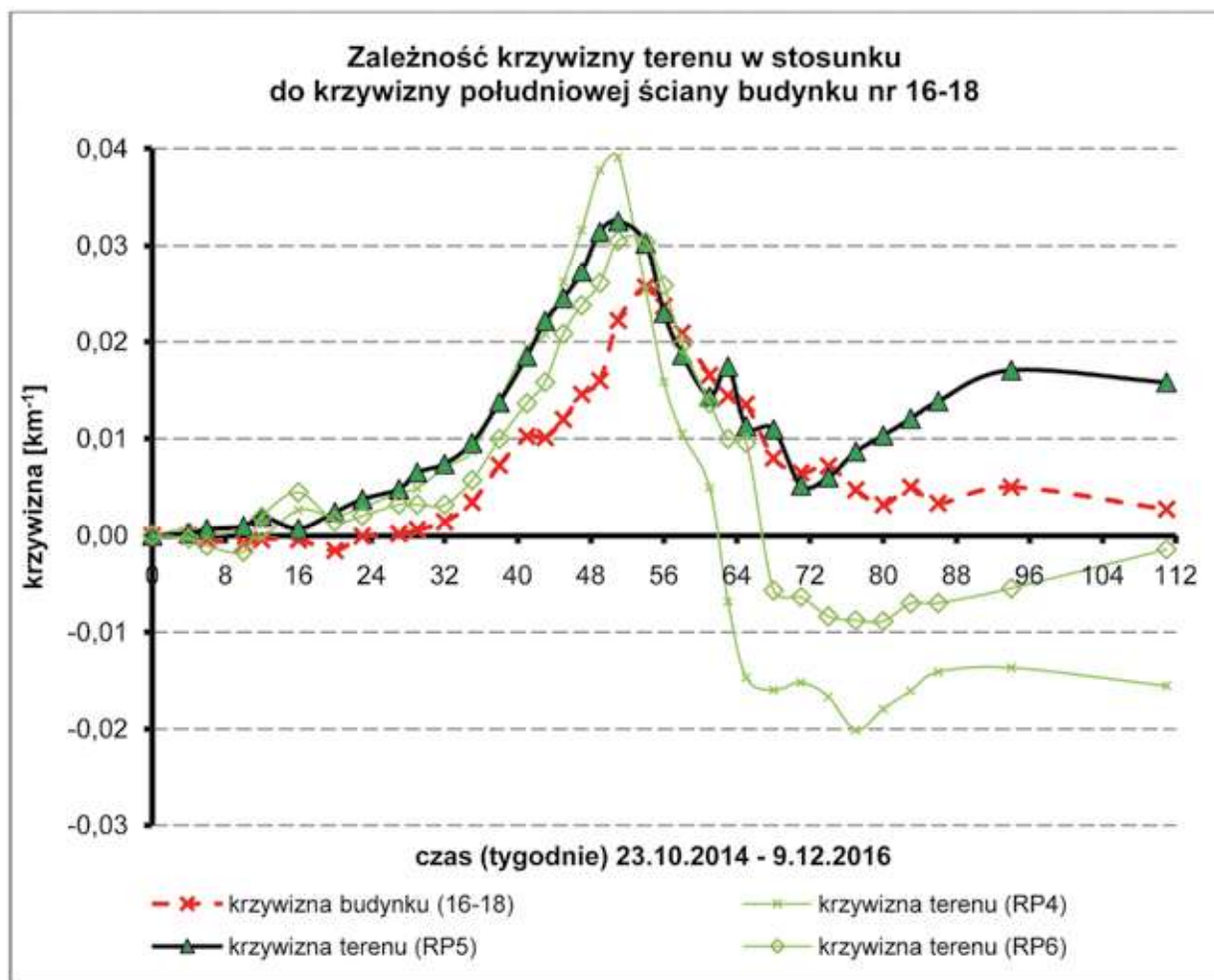
Fig. 11. Changes of the gradient of the monitored sections of the southern wall of the building



Rys. 12. Schemat wyznaczania krzywizny budynków na podstawie różnic nachyleń poszczególnych ich sekcji

Fig. 12. The scheme of determining the curvature of buildings based on the differences between the gradients of the respective sections of the buildings





Rys. 13. Zależność krzywizny podłoża w stosunku do krzywizny południowej ściany budynku nr 16-18

Fig. 13. The relationship between the curvature of the ground and the curvature of the southern wall of the building no. 16-18

się krzywizny budynku w tej fazie i powrót do pierwotnego kształtu.

Wszystkie trzy repery (RP 4, 5, 6) bezpośrednio sąsiadujące z monitorowaną ścianą budynku (rys. 2) wykazują większą niż budynek krzywizny wypukłe. Wykres (rys. 13) przedstawia zmiany zakrzywienia terenu oraz konstrukcji w czasie prowadzonych prac pomiarowych.

Wraz ze zbliżaniem się frontu eksploatacyjnego krzywizna wypukła terenu zaczynała narastać. Maksymalną wartość zanotowano wcześniej niż w przypadku nachyleń. Przesunięcie w czasie wynosi ok. 1 miesiąca. Na deformujące się podłoże zareagował również budynek. Zaczął się on ugiąć, ale w mniejszym niż podłoże stopniu. Maksymalna krzywizna powierzchni terenu na reperach nr 5 i 6 bezpośrednio sąsiadujących z budynkiem (rys. 2) wywołała również maksymalne jego krzywizny. Do momentu narastania krzywizny terenowej obiekt tylko częściowo dopasowywał się do kształtu powierzchni terenu. Deformacje budynku stanowiły wówczas ok. 50-80% w stosunku do odkształceń podłoża. W momencie zmniejszania się krzywizny terenu, po tym jak osiągnęła ona już maksymalną wartość wypukłą, deformacje budynku również zaczęły zanikać, ale tempo tych zmian było wolniejsze. W rezultacie spowodowało to, że krzywizna podłoża i budynku osiągnęły zbliżone wartości. Następnie wraz z oddalaniem się frontu zaobserwowano ponowny wzrost krzywizny wypukłej w terenie dla punktu terenowego nr 5. Sąsiednie repery linii

terenowej wykazały krzywiznę wklęsłą, jednak w bezpośrednim sąsiedztwie budynku takiej nie zarejestrowano. Wskazuje to, że lokalna krzywizna terenu jest bardzo zmiennym wskaźnikiem i trudno prognozowaną wielkością. Na drugiej, krótszej ścianie budynku prostopadłej do ulicy Raclawickiej nie zanotowano deformacji w płaszczyźnie ściany (RP 164, 165, 166 – rys. 8). Świadczy to o tym, że krzywizna terenu występowała tylko w jednym kierunku, wzdłuż dłuższej ściany. Po przejściu frontu eksploatacyjnego zarówno powierzchnia terenu, jak i sama konstrukcja pozostała lekko zakrzywiona.

## 6. Wpływ zmiennej krzywizny terenu na stan techniczny budynku

Na skutek powstałej krzywizny terenu w bezpośrednim sąsiedztwie monitorowanego budynku doszło do uszkodzeń jego konstrukcji w postaci pionowych zarysowań na monitorowanej ścianie (rys. 14) w jednej z przemurowywanej poprzednio stref – przemurowanie widoczne na fotografii (rys. 5) po prawej stronie.

Deformacje podłoża spowodowały zatem ponowne uszkodzenie budynku w osłabionym na skutek poprzednich eksploatacji fragmencie konstrukcji. Rysa pojawiła się na konstrukcji budynku w listopadzie 2015 roku, w momencie maksymalnego wygięcia powierzchni terenu w monitorowanej



**Rys. 14. Zarysowania monitorowanej południowej ściany budynku powstałe w trakcie prowadzonej w tym miejscu eksploatacji**

**Fig. 14. Cracks on the southern wall of the building developed during the exploitation process**

strefie – bezpośrednio przy budynku. Promień krzywizny terenu wynosił wówczas  $R \sim 30$  km. Po ujawnieniu się zarysowania w listopadzie 2015 roku rysę ponownie usunięto przez przemurzenie fragmentu ściany. Do końca prowadzonych badań nie zaobserwowano już ponownych uszkodzeń konstrukcji budynku. Zmiana kształtu tynku w strefie między kondygnacyjnej (dobrze widoczna w górnej strefie budynku) pokazuje, że były w tym miejscu prowadzone prace renowacyjne w okresie objętym badaniami pomiarowymi (rys. 15, 16).

Pozostałe trzy przemurzenia na podłużnych ścianach zewnętrznych (rys. 5, 6) nie wykazały zauważalnych uszkodzeń w trakcie prowadzonych prac pomiarowych. Podłużna ściana środkowa – najmniej perforowana (o największej sztywności) również nie została w tym czasie uszkodzona.

## 7. Podsumowanie

Przeprowadzone badania terenowe pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- Lokalna krzywizna terenu pochodzenia górniczego jest parametrem o dużej zmienności, szczególnie na krótkim odcinku odpowiadającym długości budynków. Potwierdzają to przedstawione wyniki monitoringu powierzchni terenu. Pomiaru prowadzono tutaj wewnątrz eksploatowanego pola, a stabilizacja linii terenowej pozwalała na zaobserwowanie pełnego przejścia frontu eksploatacyjnego. Analizując rezultaty pomiarów zaobserwowano, że w momencie narastania krzywizny wypukłej, teren zachowuje się stabilniej niż w przypadku przejścia do krzywizny wklęsłej. Co więcej, ostateczny stan powierzchni terenu jest pofalowany, a krzywizny uzyskane na poszczególnych

reperach linii terenowej są w skrajnych przypadkach różne co do znaku. Należy w tym miejscu zwrócić uwagę na problematykę zagadnienia uwzględnienia wpływu krzywizny terenu na budynek. Projektanci przygotowujący budynki do przeniesienia dodatkowych obciążeń konstrukcji wywołanych deformacjami podłoża potrzebują jak najbardziej precyzyjnych prognoz. Krzywizna, obok poziomych odkształceń terenu, jest głównym wskaźnikiem deformacji podłoża, który wywołuje zmianę odkształceń konstrukcji, znacząco wpływając na zmianę sił wewnętrznych ustroju. Z drugiej strony krzywizna terenu jest najmniej wiarygodnym wynikiem prognoz deformacji powierzchni (Ostrowski 2006) i w celu ograniczenia niepewności prognoz przyporządkowano jej duże współczynniki obliczeniowe. Potwierdzeniem faktu znacznych rozrzutów wielkości krzywizn są liczne wyniki obserwacji powierzchni terenu górniczego – łącznie z tymi przedstawionymi w niniejszym opracowaniu.

- Budynki mieszkalne wielorodzinne, wykonane w technologii tradycyjnej współpracują z deformującym się podłożem, częściowo do niego się dopasowując. Krzywizna terenu może stanowić zagrożenie dla tego typu budynków. Szczególnie dla obiektów tradycyjnych, murowanych o drewnianych stropach, długich w rzucie na kilkadziesiąt metrów, gdy kierunek eksploatacji równoległy jest do dłuższego boku obiektu. Potwierdzają to zaprezentowane wyniki pomiarów. Analizowany w pracy budynek, o długości 44,3 metra uległ uszkodzeniom już na skutek wystąpienia stosunkowo niewielkiej krzywizny terenu - o promieniu  $R$  na poziomie ok. 30 km. Wystąpiły w nim zarysowania w środkowej części jednej ze ścian podłużnych (rys. 14). Można stwierdzić, że są one efektem przekroczenia nośno-



Rys. 15. Przemurowanie nr 1 (stan na grudzień 2016)  
Fig. 15. Re-bricking no. 1 (as for December 2016)



Rys. 16. Przemurowanie nr 1 (stan na październik 2014)  
Fig. 16. Re-bricking no. 1 (as for October 2014)



ści elementu murowego stanowiącego ścianę zewnętrzną budynku. Przedmiotowy obiekt jest szczególnie narażony na oddziaływanie krzywizny terenowej ze względu na fakt, że brak jest w jego strukturze elementów żelbetowych w postaci wieńców i tarcz usztywniających cały ustrój. Elementy drewniane nie stanowią dla całej konstrukcji dodatkowych stężeń. Wprawdzie z dokumentacji budynku (*Dokumentacja ...*) wynika, że w przedmiotowym budynku na poziomach stropów zastosowano wzmocnienia w postaci biernych ściągów stalowych, jednak te zabezpieczenia nie uchroniły budynku przed zarysowaniem. Dodatkowo, obiekt był poddawany już remontom uszkodzeń wywołanych deformacjami o podobnym charakterze i nie można stwierdzić, czy udało się odtworzyć pełną sztywność konstrukcji w miejscach napraw.

- Krzywizna budynku nie jest jednakowa z krzywizną terenu i zmienia się w trakcie przejścia frontu eksploatacyjnego. Potwierdzają to wyniki badań terenowych. Zauważono, że w momencie narastania krzywizny terenowej budynek odkształca się w pewnym określonym zakresie, a krzywizna budynku narasta. Natomiast w momencie zaniku krzywizny podłoża krzywizna budynku przestaje wzrastać i następuje zrównanie się deformacji podłoża z deformacją budynku (rys. 12). Na maksymalną wielkość deformacji konstrukcji (rys. 11, 12) może mieć wpływ fakt, że w jednym z osłabionych na skutek poprzednich eksploatacji fragmentów konstrukcji ściany pojawiło się zarysowanie. Jednak do momentu ujawnienia się zarysowania obiekt

pozostawał nieuszkodzony. Poza tym również pozostałe przemurowania nie wykazały uszkodzeń podczas prowadzonych prac pomiarowych. Podłużna ściana wewnętrzna budynku (najmniej perforowana – o największej sztywności) również nie uległa zarysowaniom.

## Literatura

- BACA-POGORZELSKA K., 2012 - Kopalnie psują więcej? To zapłaca. „Rzeczpospolita” z dn. 07.12.2012.
- Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2013 r. Państwowy Instytut Geologiczny. Państwowy Instytut Badawczy. Warszawa 2014.
- Dokumentacja budynku przy ul. Raclawickiej nr 16, 18 w Bytomiu, KWK Bobrek-Centrum.
- KULCZYCKI Z., PIĄTKOWSKI W. 2010 - Naprawa szkód powodowanych ruchem zakładów górniczych w 2009 roku. „Bezpieczeństwo pracy i ochrona środowiska w górnictwie” nr 9.
- OSTROWSKI J. 2006 - Deformacje powierzchni a zagrożenie uszkodzeniami budynków na terenach górniczych w ujęciu probabilistycznym. Rozprawy Monografie nr 160, Wydawnictwo AGH, Kraków.
- SZOJDAL. 2009 - Analiza numeryczna wpływu nieciągłych deformacji podłoża na budynki ścianowe. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.

Artykuł wpłynął do redakcji – październik 2017  
Artykuł akceptowano do druku 10.11.2017