

Analiza wpływu nachylenia powierzchni terenu na wychylenie budynków znajdujących się na terenie górnym

Analysis of the impact of slope of land surface on the deflection of buildings located in the mining area



Dr hab. inż. Krzysztof Gromysz ^{)},
prof. PŚ*



Mgr inż. Magdalena Wróblewska^{)}*

Treść: Wychylenie budynku znajdującego się w rejonie oddziaływania niecki górniczej jest utożsamiane w praktyce ze zmianą nachylenia terenu górnego. W artykule wykazano, że w przypadku 34 budynków posadowionych na pofałdowanym terenie, którego powierzchnia jest nachylona do 110 mm/m, założenie to nie jest prawdziwe. W przypadku analizowanych 34 budynków występuje składowa ich wychylenia w kierunku prostopadłym do kierunku prognozowanej zmiany nachylenia terenu górnego. Wartość tej składowej jest większa w przypadku budynków posadowionych na terenie o większym nachyleniu. Ponadto jej kierunek jest zgodny z kierunkiem nachylenia terenu. W odniesieniu do analizowanego rejonu zaproponowano sposób wyznaczania wartości i kierunku tej składowej. Poprawne przewidywanie zmian wychylenia budynków jest istotne ze względu na podejmowanie decyzji o postępowaniu z takimi budynkami.

Abstract: The deflection of a building located in the mining area is identified in practice with the change of the slope of mining area. The article considers 34 deflected buildings located on undulating terrain with inclination up to 110 mm/m. It was shown that in this case the above assumption is not true. In the case of 34 analyzed buildings there is a component of their deflection perpendicular to the direction of the predicted change in the slope of mining area. The value of this component is higher in the case of buildings located on a terrain with a higher slope. In addition, its direction is consistent with the slope of the terrain. In relation to the analyzed region, a method of determining the value and direction of this component was proposed. Correct prediction of changes in building deflections is important due to making proper decisions on the treatment of buildings that are deflected.

Słowa kluczowe:

wychylenie budynków, nachylenie terenu górnego, nachylenie powierzchni terenu

Keywords:

deflection of buildings, slope of the mining area, slope of terrain

1. Wprowadzenie

Jednym z efektów podziemnej eksploatacji złoża pokładowego jest niecka obniżenia. Niecka ta jest opisywana wskaźnikami deformacji terenu górnego, do których należą między innymi: obniżenie, odkształcenie, krzywizna oraz nachylenie. Stosując teorie wpływów można wyznaczać w sposób obliczeniowy (prognozować) rozkłady wskaźników tych deformacji. Najczęściej do ich wyznaczania stosowana jest teoria Budryka-Knothe'go, która znalazła swoją implementację w procedurach obliczeniowych (Białek 2003). Wiodącym

w tej teorii jest przebieg wskaźnika obniżenia, stąd parametry teorii najczęściej ustalane są na podstawie pomiarów niwelacyjnych. Z drugiej strony oznacza to, że właśnie obniżenia terenu górnego są prognozowane z największą dokładnością (Kowalski 2015). Wpływ na wartości wskaźników mają: grubość, powierzchnia i nachylenie wybranego pokładu, system i głębokość eksploatacji oraz rodzaj górotworu.

Wskaźniki deformacji obserwowane na powierzchni terenu wykazują rozproszenie losowe względem wartości obliczanych za pomocą teorii. Problem ten był analizowany w wielu pracach. Na przykład w (Kowalski 2015) na podstawie analizy odchylek prognozy przeprowadzonej dla 40 różnych eksploatacji stwierdzono, że prognozowane nachy-

^{*)} Politechnika Śląska, Gliwice

lenia są mniejsze o 16% od średnich wartości stwierdzonych na podstawie pomiarów. Z kolei według (Popiołek 2009) pomierzone średnie wartości wskaźników nie przekraczają wartości prognozowanych o więcej niż 10 - 15%.

Niekaż obniżenie oddziałuje na obiekty znajdujące się na powierzchni terenu. Stąd ze względów praktycznych przedziałom wartości wskaźników przypisane są kategorie terenu górniczego (Kwiątek 2007). Zmiana nachylenia terenu górniczego jest główną przyczyną występowania wychyleń obiektów znajdujących się na terenie górniczym. Wychylenie powoduje zmianę rozkładu sił wewnętrznych w elementach konstrukcji budynków (Słowik 2017), na co nie wszystkie obiekty są przygotowane. Ocenę dopuszczalnych wychyleń budynków o różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych z uwagi na warunki stanów granicznych nośności analizowano szczególnie w (Mika, Muszyński 2011). Ponadto wychylenie obniża wartości użytkowe obiektów (Kawulok 2000). Za obiekty, których wychylenie jest znaczne, wypłacane jest odszkodowanie (Kowal 2014) lub są one poddawane remontom polegającym na usuwaniu wychylenia (Gromysz 2006). Z przeprowadzonych badań wynika, że wzrost uciążliwości użytkowania obiektu następuje już od wychylenia o wartości od 10‰ (Kawulok 2000).

W praktyce wychylenie obiektu znajdującego się na terenie górniczym utożsamia się z prognozowaną zmianą nachylenia terenu górniczego. Tymczasem takie założenie jest zbyt mocnym uproszczeniem, ponieważ na wychylenia mogą mieć wpływ także odkształcenia poziome, co wykazano w (Gil-Kleczewska, Zawora 1999). Ponadto wpływ na zachowanie obiektu znajdującego się na terenie górniczym mają wpływ również czynniki niezwiązane z podziemną eksploatacją. Należą do nich: szywność gruntu zalegającego pod budynkiem (Słowik 2015), sposób posadowienia budynku (Wróblewska, Gromysz 2018) oraz jego rozwiązania konstrukcyjne. Oznacza to, że obliczona zmiana nachylenia terenu górniczego $T_{gór}$ i wychylenie budynku T_{bud} są różnymi wielkościami wektorowymi, które mogą cechować się niejednakowymi wartościami ($T_{gór}$ i T_{bud}), kierunkami i zwrotami.

Celem analiz przeprowadzonych w niniejszym artykule jest sprawdzenie, czy w rejonie będącym przedmiotem analizy na wychylenie obiektów może mieć także wpływ nachylenie powierzchni terenu T_{ter} . Nachylenie to wynika zarówno z morfologii, jak i niecki obniżień.

2. Obszar badań

Obserwacje zostały przeprowadzone w miejscowości, gdzie powierzchnia terenu jest pofałdowana przy wysokościach bezwzględnych mieszczących się w przedziale od około +240,0 m n.p.m. do około +290,0 m n.p.m.

Czwartorzędowe podłoże gruntowe stanowią w przeważającej części pyły i gliny pylaste z miejscowym występowaniem piasków, żwirów i namulów pochodzenia rzeczno-łowczego oraz mułowce. Poniżej, bezpośrednio nad utworami trzeciorzędowymi, zalegają warstwy karbońskie składające się z piaskowców i łupków z licznie występującymi pokładami węgla kamiennego. Pokłady te dały początek prowadzonej od 1975 r. podziemnej eksploatacji górniczej. Złoże węgla kamiennego w analizowanym polu jest obecnie eksploatawalne bardzo intensywnie przez dwie kopalnie, które umownie oznaczono jako „A” i „B”. Kopalnia „A” eksploatuje w części południowej, natomiast kopalnia „B” w części północnej. W części środkowej jest prowadzona eksploatacja skoordynowana przez obie kopalnie. Obecnie eksploatacja odbywa się w siedmiu pokładach o grubości od 2,2 m do 4,0 m systemem na zawał na głębokości od 250 m do 770 m.

Tak intensywnie prowadzona eksploatacja spowodowała obniżenie terenu o wartości do 32 m. Wartości wskaźników deformacji na znacznej części obszaru przekraczają wartości odpowiadające IV kategorii terenu górniczego. Ponadto efektem eksploatacji jest powstawanie bezodpływowych zalewisk, deformacji nieciągłych oraz wstrząsów terenu górniczego o przyspieszeniach do 450 mm/s². Na powierzchni terenu założone są linie obserwacyjne, których niwelacja pozwala wyznaczać parametry geometryczno-całkowych teorii wpływów, co umożliwia dokładne prognozowanie deformacji powierzchni terenu.

Zabudowę miejscowości stanowią głównie budynki mieszkalne jednorodzinne wraz z zabudowaniami gospodarczymi oraz nieliczne obiekty użyteczności publicznej i obiekty o charakterze przemysłowym. Budynki mieszkalne są częściowo lub całkowicie podpiwniczone i wykonane w technologii tradycyjnej bądź tradycyjnej - ulepszonej. Większość z nich została wybudowana bez zabezpieczeń na wpływy eksploatacji górniczej. Profilaktyczne zabezpieczenia obiektów wykonano w późniejszych latach. Elementami zabezpieczeń są głównie kotwy stalowe poprowadzone w poziomie stropów i mocowane w narożach ścian za pomocą krótkich lub długich kątowników oraz opaski żelbetowe poprowadzone w poziomie fundamentów. Działania te zabezpieczają budynki na oddziaływania krzywizn i odkształceń terenu górniczego. Dużym problemem pozostaje wychylenie budynków. Wynika to między innymi z tego, że część budynków, których wychylenie zostało usunięte przez nierównomierne podnoszenie wychyliły się ponownie (Wróblewska 2018a), a wartości wychyleń budynków różnią się istotnie od prognozowanych zmian nachyleń terenu górniczego. Zatem istotne jest jak najbardziej dokładne przewidywanie wychylenia, ponieważ umożliwia to podejmowanie uzasadnionych decyzji dotyczących usuwania szkód górniczych.

3. Wyniki badań

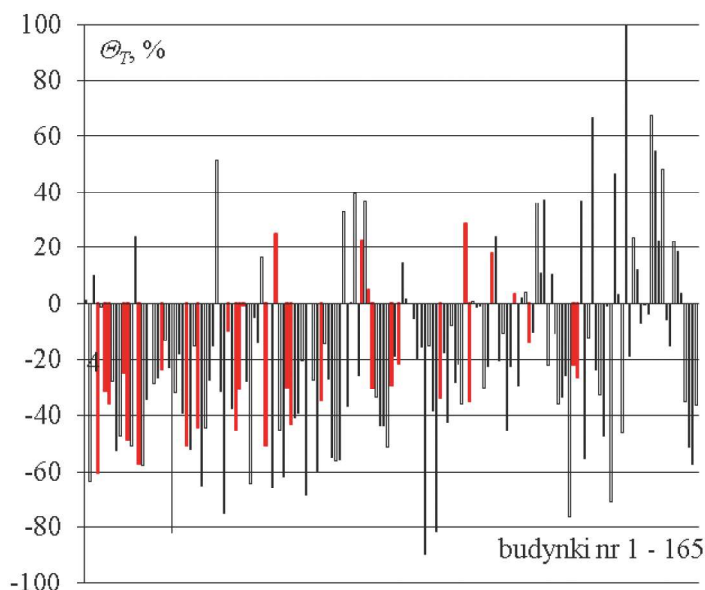
W miejscowości znajduje się około 1600 budynków, z czego 165 jest wychylonych powyżej 15 mm/m. Wykonywane są cyklicznie geodezyjne pomiary wychyleń tych 165 budynków polegające na wyznaczaniu wychyleń w dwóch kierunkach pokrywających się z kierunkami ścian zewnętrznych. Składowe wychyleń ustalane są na podstawie rzutowania naroży budynku na poziomo ułożoną łatę pomiarową lub na podstawie niwelacji geometrycznej (Wróblewska, 2018b). Ponadto prowadzone są obserwacje wybranych obiektów podczas ujawniania się wpływów w czasie eksploatacji górniczej wyrobiskiem ścianowym (Wróblewska, 2019). Wypadkowy wektor T_{bud} wychylenia obiektu, którego wartość wynosi T_{bud} , uzyskiwano przez wektorowe dodawanie składowych wychyleń. Z kolei prognozowane zmiany nachylenia $T_{gór}$ o wartości $T_{gór}$ wywołane eksploatacją górniczą zostały wyznaczone programami prof. J. Białka (Białek, 2003). W rezultacie w przypadku wszystkich 165 budynków uzyskano odchyłkę Θ_T obliczonej zmiany wartości wektora $T_{gór}$ względem pomierzonej wartości T_{bud} zgodnie ze wzorem (1).

$$\Theta_T = \frac{T_{gór} - T_{bud}}{T_{bud}} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

- $T_{gór}$ – obliczona zmiana wartości nachylenia terenu w wyniku przeprowadzonej eksploatacji górniczej,
- T_{bud} – pomierzona wartość wychylenia budynku.

Poniżej na rysunku 1 przedstawiono zestawienie wartości odchyłki Θ_T dla wszystkich 165 budynków, których wychy-



Rys. 1. Wartości odchyłki Θ_T obliczone według (1) dla 165 budynków, których wychylenie wynosi więcej niż 15 mm/m (kolorem czerwonym oznaczono wartości odpowiadające 34 wybranym budynkom)

Fig. 1. Values of deviation Θ_T calculated according to (1) for 165 buildings that the deflection from vertical is more than 15 mm/m (the red color indicates the values corresponding to 34 selected buildings)

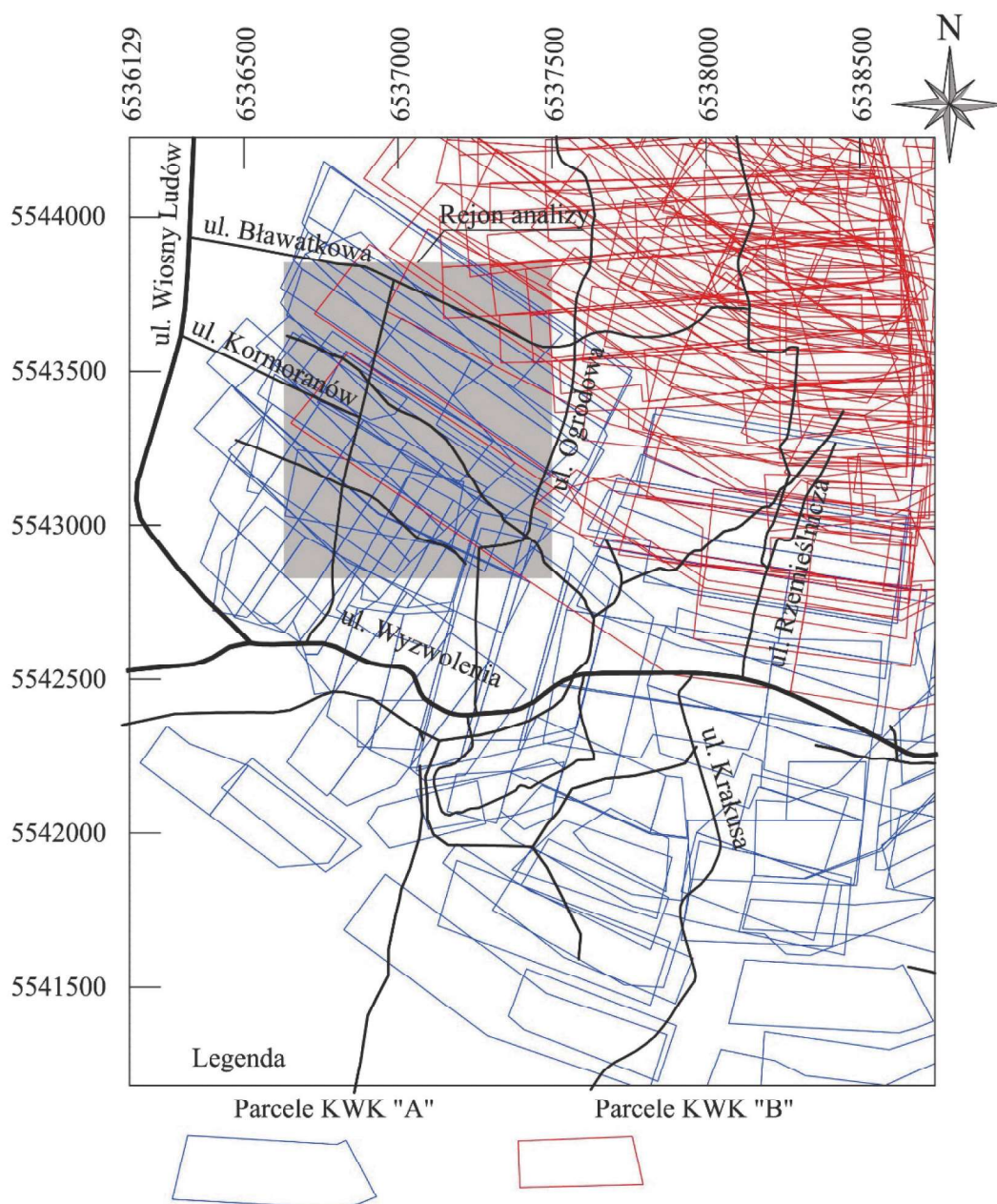
lenie jest większe niż 15 mm/m. Średnia wartość odchyłki (1) dla całego zbioru 165 obiektów wynosi - 20%. Oznacza to, że średnia wartość wychylenia wszystkich budynków jest większa od średniej wartości nachylenia terenu górniczego wyznaczonej w rejonie tych budynków. Należy zauważyć, że wartość ta jest również większa od odchyłki między prognozowaną zmianą nachylenia terenu górniczego a pomierzonymi średnimi wartościami nachylenia (Popiołek, 2009) – do - 15% oraz (Kowalski, 2015) – do - 16 %.

Jak wspomniano, morfologia terenu miejscowości jest mocno urozmaicona. Występują naturalne jary i zalewiska oraz deformacje nieciągłe. Wstępnie przeprowadzona ocena wskazuje, że w rejonie tych utworów występują wychylenia budynków cechujące się największymi wartościami odchyłki Θ_T , które wyznaczone z równania (1) wynoszą do 146%. W niniejszej analizie pominięto jednak te szczególne przypadki.

Do dokładniejszej analizy wybrano rejon znajdujący w północno-zachodniej części miejscowości, który wyróżniono na szkicu zamieszczonym na rysunku 2. W rejonie tym nie występują jary ani zalewiska, natomiast rzędne terenu wynoszą od 260 do 280 m n.p.m. Wartości nachylenia powierzchni terenu (T_{ter}) w rejonie analizowanych budynków są zmienne i wynoszą do 110 mm/m (tablica 1). Wynikają one z naturalnego ukształtowania powierzchni terenu oraz ze zmian nachylenia terenu górniczego. W analizowanym rejonie znajdują się 34 budynki, których wychylenie przekracza 15 mm/m. Wartości prognozowanych zmian nachyleń terenu górniczego T_{gor} oraz pomierzonych wychyleń T_{bud} budynków zestawiono w odpowiednich kolumnach tablicy 1. Dla tych wartości na podstawie wzoru (1) wyznaczono Θ_T dla każdego obiektu i zamieszczono na rysunku 3. Wartości Θ_T wynoszą od - 60% do +29%, przy czym znak minus oznacza, że wartość prognozowanej zmiany nachylenia terenu T_{gor} jest mniejsza od wartości wychylenia budynku T_{bud} .

Tablica 1. Wartości opisujące wektory T_{bud} , T_{gor} oraz T_{ter}
Table 1. Values describing vectors T_{bud} , T_{gor} and T_{ter}

Numer budynku	T_{bud} [mm/m]	φ_{bud} [°]	T_{gor} [mm/m]	φ_{gor} [°]	T_{ter} [mm/m]	φ_{ter} [°]
4	48	107	19	83	77	103
6	45	341	31	2	26	25
7	43	37	22	26	49	123
11	37	351	28	10	20	250
12	38	94	20	72	62	106
15	38	40	16	37	34	72
21	35	38	27	25	57	100
28	33	75	16	64	56	230
31	32	20	17	38	34	72
39	29	88	27	99	45	68
41	29	50	16	43	77	95
42	28	14	20	348	62	32
43	29	353	29	5	90	128
49	27	281	13	301	110	255
52	27	335	34	355	30	7
55	27	60	19	49	93	81
56	27	84	17	93	23	225
64	27	282	17	298	100	228
75	24	347	29	4	30	7
77	24	34	25	20	53	130
78	24	42	17	38	34	72
83	23	271	16	311	47	237
85	23	81	18	59	62	105
87	23	91	23	100	10	94
96	22	85	15	62	99	55
103	21	119	27	102	43	67
104	21	91	14	65	48	29
110	19	26	22	22	39	106
113	20	97	17	53	78	81
120	25	31	22	26	12	12
130	19	91	14	63	56	200
132	18	31	14	28	23	68
133	18	62	13	43	4	122
151	16	280	16	304	100	208



Rys. 2. Obszar, na którym znajduje się 165 budynków poddanych obserwacjom oraz rejon analizy, na którym znajdują się 34 budynki i który został przedstawiony na rysunku 5

Fig. 2. The area where there are 165 buildings under observation and the highlighted analyzed area, which is shown in Figure 5, where 34 analyzed buildings are located

Obliczona średnia $\theta_{T,\text{mean}}$ odchyłka

$$\theta_{T,\text{mean}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta_{T,i} \quad (2)$$

jest równa - 22,99%. Jak wspomniano powyżej, powszechnie przyjmuje się, że wychylenie obiektu budowlanego wynika z nachylenia terenu górniczego. Uwzględniając obszerne wyniki badań (Kowalski, 2015) oraz (Popiołek, 2009) założono wstępnie, że wartość średniego wychylenia zbioru 34 budynków jest w przybliżeniu równa wartości nachylenia terenu górniczego powiększonego o 16%. Tyle bowiem wynosi statystyczna odchyłka między pomierzoną a obliczoną zmianą nachylenia terenu górniczego (16 % według (Kowalski, 2015) oraz do 15% według (Popiołek, 2009)). W celu weryfikacji tego założenia w odniesieniu do analizowanych 34 budynków

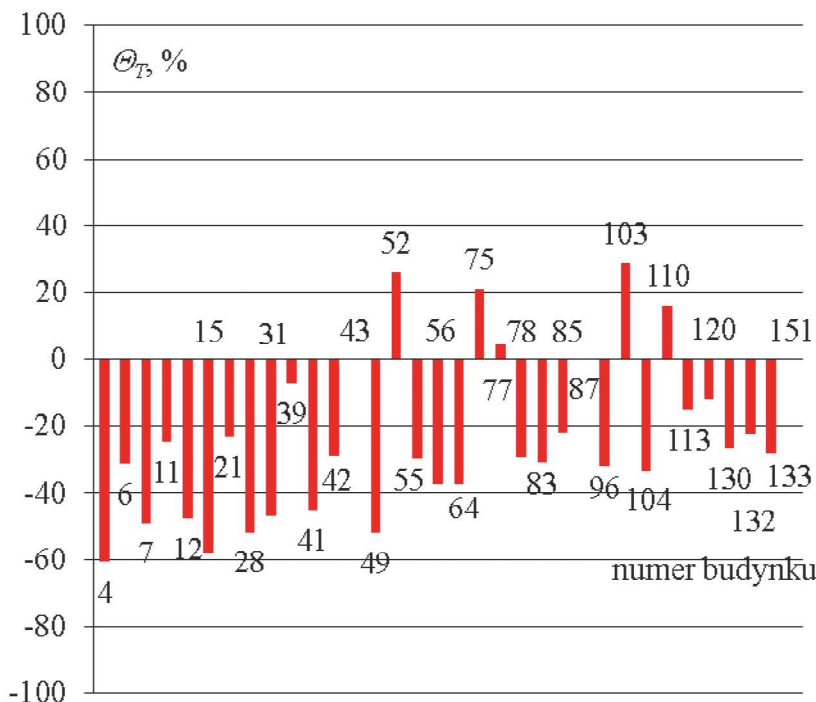
posłużono się hipotezą statystyczną. W tym celu przyjęto hipotezę H_0 zakładającą, że wartość średnia zbioru odchyłek (1) wynosi 16% (Volk, 1973). Następnie wyznaczono odchylenie standardowe S wartości θ_T według wzoru (3) dla 34 obiektów.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\theta_{T,\text{mean}} - \theta_{T,i})^2} \quad (3)$$

Wartość ta wynosi $S = 23,79$. Następnie obliczono statystykę

$$t = \frac{|\theta_{T,\text{mean}} - \theta_{T,0}|}{S} \sqrt{n-1}, \quad (4)$$

której wartość jest równa 2,45. Przyjmując prawdopodobieństwo popelnienia błędu 0,05 (poziom istotności 0,05) dla $n =$



Rys. 3. Wartości odchyłki Θ_T wyznaczone według (1) dla 34 budynków znajdujących się na wyróżnionym na rysunku 2 rejonie analizy

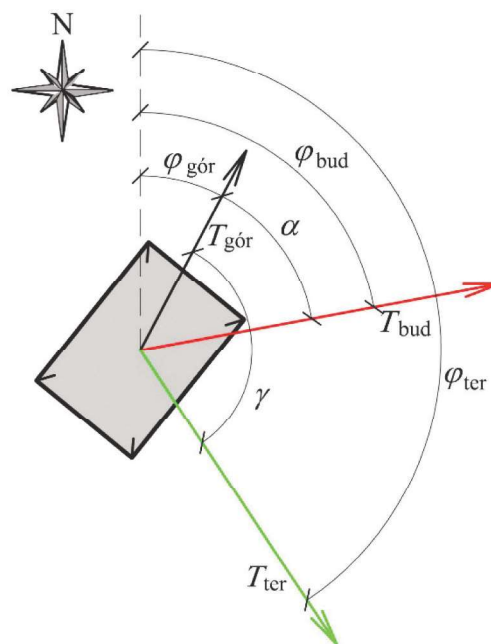
Rys. 3. Deviation ΘT values determined according to (1) for 34 buildings located on the analyzed area highlighted in Figure 2

34 – 1 stopni swobody wartość graniczna statystyki (4) wynosi $t_{0,05;33} = 2,006$ (Volk 1973). Ponieważ $t > t_{0,05;33}$ hipotezę H_0 należy odrzucić. Odrzucenie H_0 oznacza, że wychylenie 34 analizowanych obiektów nie można utożsamiać z obliczoną zmianą nachylenia terenu górniczego. Wynika z tego, że na wychylenie budynków znajdujących się w miejscowości wpływają, poza zmianą nachylenia terenu górniczego, także inne pozagórniczne czynniki.

4. Analiza wyników badań

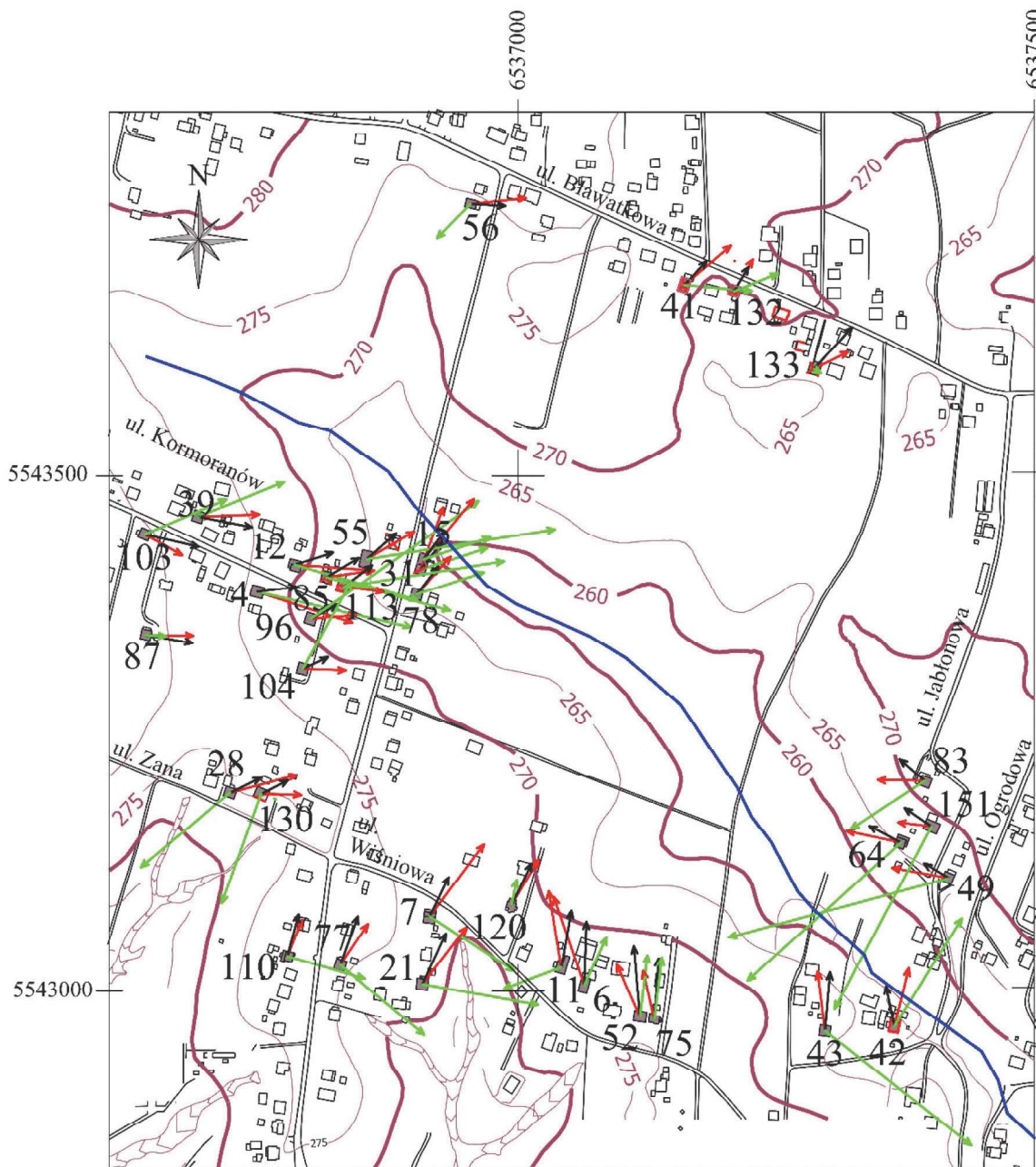
Przeprowadzona w poprzednim punkcie wstępna analiza uzyskanych wyników potwierdziła, że prognozowana zmiana nachylenia terenu górniczego oraz wychylenie budynku są różnymi wielkościami. W celu przeprowadzenia bardziej szczegółowej analizy tych wielkości odpowiadających 34 budynkom znajdującym się na obszarze wyróżnionym na rysunku 2, zdefiniowano wektory: T_{bud} (wychylenie budynku), $T_{gór}$ (obliczona zmiana nachylenia terenu górniczego w wyniku dokonanej eksploatacji górnicznej) oraz T_{ter} (nachylenie powierzchni terenu). Wektory te cechują się wartościami T_{bud} , $T_{gór}$, T_{ter} oraz azymutami ϕ_{bud} , $\phi_{gór}$, ϕ_{ter} , co przedstawiono na rysunku 4. Na rysunku 5 opracowanym na podstawie mapy sytuacyjno-wysokościowej przedstawiono te wektory w postaci graficznej dla wszystkich 34 wybranych budynków. Ponadto wartości T_{bud} , $T_{gór}$, T_{ter} oraz ϕ_{bud} , $\phi_{gór}$, ϕ_{ter} zestawiono w tabelicy 1. Informacje o rzeczywistym nachyleniu terenu (T_{ter}) w rejonie posadowienia obiektu uzyskano z numerycznego modelu terenu utworzonego na podstawie rzędnych punktów udostępnionych przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej.

Analizując wektory naniesione na rysunku 5 należy zauważyć, że kierunki wektorów $T_{gór}$ oraz T_{bud} nie pokrywają się ze sobą. Między kierunkiem prognozowanej zmiany nachylenia terenu górniczego a kierunkiem wychylenia bu-



Rys. 4. Wektory T_{bud} , $T_{gór}$ oraz T_{ter} cechujące się wartościami T_{bud} , $T_{gór}$, T_{ter} oraz azymutami ϕ_{bud} , $\phi_{gór}$, ϕ_{ter}
 Fig. 4. Vectors T_{bud} , $T_{gór}$ and T_{ter} characterized by values T_{bud} , $T_{gór}$, T_{ter} and azimuths ϕ_{bud} , $\phi_{gór}$, ϕ_{ter}

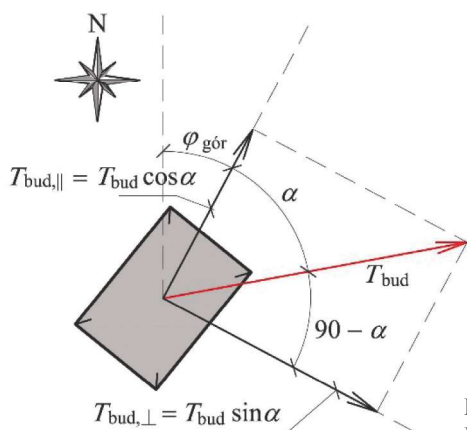
dynku występuje kąt α . Obliczone na podstawie azymutów $\phi_{gór}$ i ϕ_{bud} bezwzględne wartości tych kątów zestawiono w tabelicy 2. Wartości tych kątów w większości przypadków znacznie różnią się od zera i wynoszą do 44 stopni. Jedynie w przypadku ośmiu obiektów wartość α jest mniejsza od dziesięciu stopni. W związku z tym wektor T_{bud} wychylenia budynku rozłożono na dwa: wektor $T_{bud,||}$ w kierunku obliczonej zmiany nachylenia terenu i wektor do niego prostopadły $T_{bud,\perp}$ (rys. 6).



Legenda

- 52 ■ budynek, numer budynku
- wektor wychylenia budynku (T_{bud})
- obliczona zmiana nachylenia terenu górniczego ($T_{gór}$)
- nachylenie powierzchni terenu (T_{ter})

Rys. 5. Wektory: T_{bud} , $T_{gór}$ oraz T_{ter} odpowiadające 34 analizowanym budynkom
 Rys. 5. Vectors: T_{bud} (building deflection) $T_{gór}$ (calculated change of slope of mining area) and T_{ter} (slope of terrain) corresponding to 34 analyzed buildings



Rys. 6. Przyjęte oznaczenia wartości $T_{bud,||}$ i $T_{bud,\perp}$ według (5) i (6)
 Rys. 6. Adopted designations $T_{bud,||}$ and $T_{bud,\perp}$ according (5) and (6)

Wartości tych wektorów obliczono z zależności

$$T_{bud,||} = T_{bud} \cdot \cos \alpha \tag{5}$$

$$T_{bud,\perp} = T_{bud} \cdot \sin \alpha \tag{6}$$

i zestawiono w tabelicy 2. W tabelicy tej zestawiono także obliczone według zależności (7) odchyłki między wartościami $T_{bud,||}$ i $T_{gór}$. Ponadto w sposób graficzny odchyłki te naniesiono na rysunku 7.

$$\Theta_{T,||} = \frac{T_{gór} - T_{bud,||}}{T_{bud,||}} \cdot 100\% \tag{7}$$

Obliczona średnia $\Theta_{T,||,mean}$ wartość odchyłki

$$\Theta_{T,||,mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Theta_{T,||,i} \tag{8}$$

jest równa - 18,10%. Wartość ta odbiega mniej od wartości podawanych w literaturze.

W przypadku 34 analizowanych obiektów zauważono ponadto zgodność polegającą na tym, że kierunek wektora T_{bud} znajduje się między kierunkami wektorów $T_{gór}$ a T_{ter} . Oznacza to, że wpływ na kierunek i wartość wychylenia budynku na terenie górniczym może mieć nachylenie powierzchni terenu. W związku z tym na rysunku 8 dla 34 obiektów zestawiono pary punktów ($T_{bud,\perp}$; T_{ter}). Układ punktów wskazuje, że wraz ze wzrostem nachylenia terenu rozproszenie wartości $T_{bud,\perp}$ rośnie względem wartości oczekiwanej, która jest tu równa zero. Daje to podstawę do wnioskowania, że wartość $T_{bud,\perp}$ jest większa dla większych wartości T_{ter} .

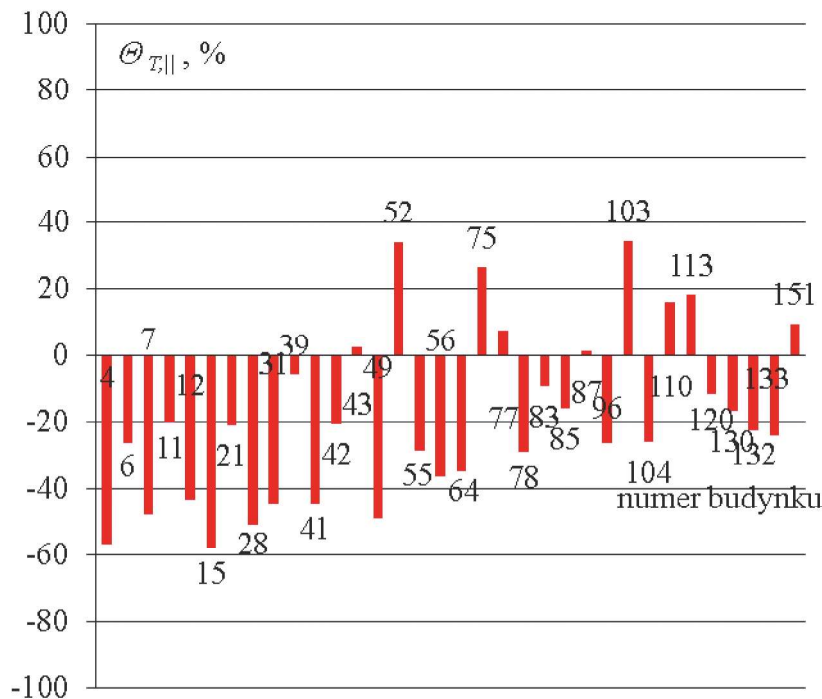
Przeprowadzone analizy są istotne ze względu na przyjęcie poprawnego sposobu postępowania z wychylonymi budynkami. Prawidłowa prognoza daje podstawy do podjęcia uzasadnionej decyzji odnośnie wypłaty budynku lub jego rektyfikacji.

Chcąc wykorzystywać obliczoną wartość zmiany nachylenia terenu górniczego do prognozowania wartości wychylenia budynków na analizowanym obszarze, naturalnym jest poszukiwanie współczynnika S_T , który zwiększałby średnią wartość wychylenia. Wówczas wartość wychylenia można by obliczać według zależności

Tabela 2. Wartości kąta zawartego między T_{bud} i $T_{gór}$ oraz wartości $T_{bud,||}$, $T_{bud,\perp}$ i $\Theta_{T,||}$ wyznaczone na podstawie (5) i (6)

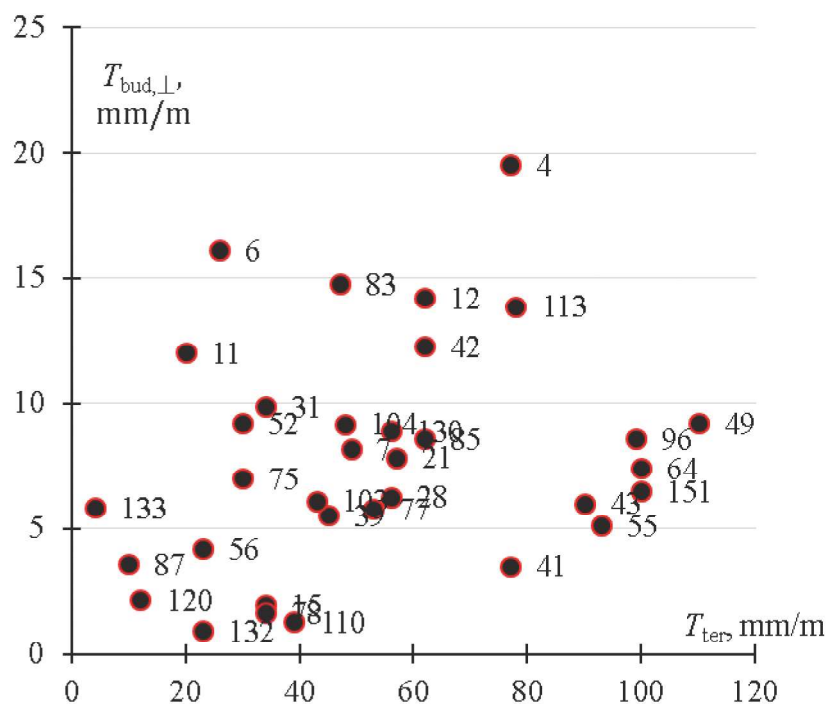
Table 2. Values of a angle between T_{bud} and $T_{gór}$ and values $T_{bud,||}$, $T_{bud,\perp}$ and $\Theta_{T,||}$ determined on the basis of (5) and (6)

Numer budynku	α [°]	$T_{bud, } = T_{bud} \cdot \cos \alpha$ [mm/m]	$T_{bud,\perp} = T_{bud} \cdot \sin \alpha$ [mm/m]	$\Theta_{T, }$ [%]
4	24	43,85	19,52	-56,67
6	21	42,01	16,13	-26,21
7	11	42,21	8,20	-47,88
11	19	34,98	12,05	-19,96
12	22	35,23	14,23	-43,24
15	3	37,95	1,99	-57,84
21	13	34,10	7,87	-20,83
28	11	32,39	6,30	-50,61
31	18	30,43	9,89	-44,14
39	11	28,47	5,53	-5,15
41	7	28,78	3,53	-44,41
42	26	25,17	12,27	-20,53
43	12	28,37	6,03	2,23
49	20	25,37	9,23	-48,76
52	20	25,37	9,23	34,01
55	11	26,50	5,15	-28,31
56	9	26,67	4,22	-36,25
64	16	25,95	7,44	-34,50
75	17	22,95	7,02	26,35
77	14	23,29	5,81	7,36
78	4	23,94	1,67	-28,99
83	40	17,62	14,78	-9,19
85	22	21,33	8,62	-15,59
87	9	22,72	3,60	1,25
96	23	20,25	8,60	-25,93
103	17	20,08	6,14	34,45
104	26	18,87	9,21	-25,83
110	4	18,95	1,33	16,07
113	44	14,39	13,89	18,16
120	5	24,90	2,18	-11,66
130	28	16,78	8,92	-16,55
132	3	17,98	0,94	-22,12
133	19	17,02	5,86	-23,62
151	24	14,62	6,51	9,46



Rys. 7. Wartości odchyłki $\Theta_{T,II}$ wyznaczone według (7) dla 34 budynków znajdujących się na wyróżnionym na rysunku 2 rejonie analizy

Rys. 7. Deviation $\Theta_{T,II}$ values determined according to (7) for 34 buildings located on the analyzed area highlighted in Figure 2



Rys. 8. Wartości składowej $T_{bud,\perp} = T_{bud} \cdot \sin \alpha$ wychylenia budynków

Rys. 8. Component values $T_{bud,\perp} = T_{bud} \cdot \sin \alpha$ of building's deflection

$$T_{bud} = S_T T_{gór} \quad (9)$$

Wartość tę na podstawie (1) można wyznaczać jako

$$S_T = \frac{1}{1 + \frac{\Theta_{r,mean}}{100}} \quad (10)$$

W przypadku analizowanej grupy 34 budynków średnia wartość $S_T = 1,30$. Zatem najbardziej prawdopodobna wartość wychylenia obiektu znajdującego się na obszarze przedstawionym na rysunku 5 wynosi $1,30 T_{gór}$.

Podejście takie nie uwzględnia jednak informacji o prognozowanym kierunku zmiany wychylenia budynku. W związku z tym, uwzględniając założenie, że na wychylenie

budynku składa się zmiana nachylenia terenu górniczego i wychylenie prostopadłe do tej zmiany, a wynikające z nachylenia powierzchni terenu, można zapisać

$$T_{\text{bud}} = \sqrt{T_{\text{gór}}^2 + T_{\text{bud},\perp}^2} \quad (11)$$

Uwzględniając (9) i (11), zależność na wartość wektora $T_{\text{bud},\perp}$, dla $S_T > 1$, ma postać

$$T_{\text{bud},\perp} = T_{\text{gór}} \sqrt{S_T^2 - 1} \quad (12)$$

W przypadku analizowanej grupy 34 budynków wartość (12) wynosi $0,83 T_{\text{gór}}$, a kierunek $T_{\text{gór}}$ jest zgodny z kierunkiem nachylenia powierzchni terenu.

5. Podsumowanie

Jednym z efektów podziemnej eksploatacji złóż węgla kamiennego jest nachylenie powierzchni terenu górniczego wynikające z niecki obniżen. Nachylenie to jest prognozowane na podstawie powszechnie znanych teorii wpływów. Dokonany przegląd literatury wskazuje, że rzeczywista średnia wartość nachylenia terenu górniczego może być do 16 % większa niż średnie wartości prognozowane. W praktyce wychylenie budynku znajdującego się w rejonie oddziaływań niecki górniczej utożsamiane jest ze zmianą nachylenia terenu górniczego. W artykule wykazano, że w przypadku zbioru 34 budynków posadowionych na pofałdowanym terenie o nachyleniu do 110 mm/m wartość wychylenia nie może być utożsamiana ze zmianą nachylenia terenu górniczego. Wpływ na obserwowane wychylenia budynków ma również nachylenie terenu.

W celu uzyskania najbardziej prawdopodobnego średniego wychylenia grupy 34 analizowanych budynków, należy do prognozowanej zmiany nachylenia terenu górniczego dodać składową wychylenia wynikającą z nachylenia powierzchni terenu. Wartość tej składowej wynosi 0,83 obliczonej zmiany nachylenia terenu górniczego. Kierunek tej składowej jest zgodny z kierunkiem nachylenia terenu. Poprawne przewidywanie zmian wychylenia budynków jest istotne ze względu na podejmowanie decyzji o postępowaniu z wychylonymi budynkami.

Literatura

BIALEK, J. 2003 - Algorytmy i programy komputerowe do prognozowania deformacji terenu górniczego, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.

GIL-KLECZEŃSKA B., ZAWORA J. 1999 - Wchylenia budynków na terenach górniczych. Mater. Konf. Nauk.-Tech. V Dni Miernictwa Gór. Ochr. Teren. Gór. Szczyrk, 203–208.

GROMYSZ K. 2006 - O metodach eliminowania wchylen obiektów budowlanych. Inz. Bud. 62, 302–307.

KAWULOK M. 2000 - Ocena właściwości użytkowych budynków z uwagi na oddziaływanie górnicze, Rozprawy. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.

KOWAL T. 2014 - Propozycja ustalania wartości szkody w postaci trwałego wychylenia bryły budynku od pionu „Przeгляд Górnicy”, 164–169.

KOWALSKI A. 2015 - Deformacje powierzchni w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.

KWIATEK J. 2007 - Obiekty budowlane na terenach górniczych, 2nd ed. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.

KWIATEK J. inni 1997 - Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.

MIKA W., MUSZYŃSKI L. 2011 - Ocena dopuszczalnych wchylen budynków mieszkalnych na terenach górniczych z uwagi na bezpieczeństwo konstrukcji. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie”, 10–15.

POPIOLEK E. 2009 - Ochrona terenów górniczych. Wydawnictwa AGH, Kraków.

SŁOWIK L. 2017 - Wpływ wychylenia budynku na wyteżenie konstrukcji w warunkach eksploatacji górniczej. ACTA Sci. Pol. - Archit. Bud. 16, 155–164. <https://doi.org/10.22630/ASPA.2017.16.3.16>

SŁOWIK L. 2015 - Wpływ nachylenia terenu spowodowanego podziemną eksploatacją górniczą na wychylenie obiektów budowlanych. Praca doktorska, Instytut Techniki Budowlanej.

VOLK W. 1973 - Statystyka stosowana dla inżynierów. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.

WRÓBLEWSKA M. 2019 - Obserwacje zmiany wychylenia obiektu budowlanego w czasie przejścia górniczej niecki obniżeniowej. W: Ujęcie Aktualnych Problemów Inżynierii Ładowej. Prace Naukowe Doktorantów. Praca Zbiorowa. Pod Red. Karoliny Knapik-Jajkiewicz i Krzysztofa Gromysza, Monografia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.

WRÓBLEWSKA M. 2018a - Obserwacja zmian wchylen budynków zlokalizowanych na terenie górniczym jako podstawa do podejmowania decyzji o ich rektyfikacji. W: Ujęcie Aktualnych Problemów Budownictwa. Prace Naukowe Doktorantów. Praca Zbiorowa. Pod Red. Karoliny Knapik i Krzysztofa Gromysza., Monografie Nr 715. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, pp. 361–370.

WRÓBLEWSKA M. 2018b - Measurement methods of building structures deflections. E3S Web Conf. 36, 02010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183602010>

WRÓBLEWSKA M., GROMYSZ K. 2018 - Analiza stanu i wchylen budynków poddanych wpływom intensywnej eksploatacji górniczej. „Przeгляд Górnicy” 74, 9–16.

Artykuł wpłynął do redakcji – listopad 2019
Artykuł akceptowano do druku – 25.01.2020