

Wpływ ustalonego zbocza niecki górniczej na zabudowę powierzchni

IZABELA BRYT-NITARSKA

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

Streszczenie

Realizacja wydobycia zalegających pod powierzchnią ziemi surowców mineralnych ma wpływ na przeobrażenie powierzchni terenu. Najbardziej charakterystyczną zmianą jest wytworzenie się niecki obniżeniowej nad wybraną częścią złoża. Nieckę tworzy ciągła przestrzenna deformacja powierzchni, której wielkość i zasięg zależą od ilości wybranego urobku. Dla elementów zagospodarowania powierzchni wytworzenie się zbocza niecki obniżeniowej stanowi dodatkowe długotrwałe oddziaływanie, które zmienia warunki obciążeniowe i użytkowe dla elementów konstrukcji. Dla obiektów budowlanych szczególnie niekorzystna jest zmiana nachylenia powierzchni terenu w obrębie zbocza niecki. W obiektach kubaturowych zmiana ta powoduje trwałe nachylenie konstrukcji. W artykule omówiono skutki nadmiernego wychylenia się konstrukcji obiektów kubaturowych usytuowanych na nachylonym zboczu niecki górniczej. Na przykładzie omówiono problem przekroczenia stanów granicznych nośności w elementach konstrukcji układu słupowo-ryglowego budynku przemysłowego.

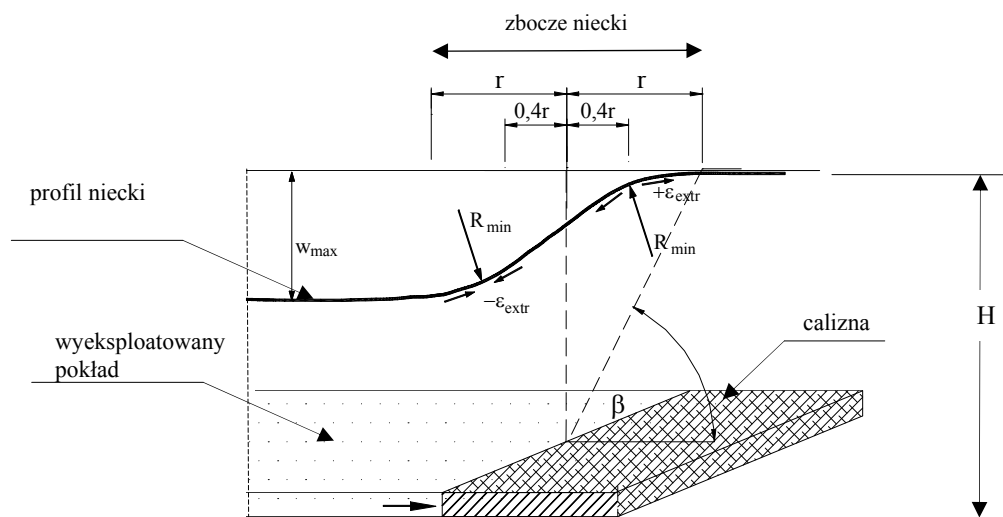
Słowa kluczowe: niecka górnicza, oddziaływania górnicze, ochrona powierzchni, nachylenie terenu

1. Ustalone zbocze niecki górniczej

Podziemną eksploatację kopalni realizuje się systemem ścianowym poprzez sukcesywne wybieranie złoża pasmami w obrębie przewidzianej do eksploatacji parceli. Wybranie złoża w pokładzie powoduje obniżenie się zalegających ponad nim warstw geologicznych. Na powierzchni terenu powstaje wówczas rozległa deformacja nazywana niecką obniżeniową. W otoczeniu krawędzi wyeksploatowanego pokładu wykształca się zbocze niecki górniczej o szerokości oznaczonej $2r$, (Rys. 1) [Knothe, 1980; Kwiatek, 2007; Ledwoń, 1983; Kwiatek i in., 1997; Popiołek 2009]. Obejmuje ono strefę zbocza wklęsłego w kierunku nad wybraną częścią złoża i obrzeża wypukłego nad pozostałą, niewybraną calizną [Knothe 1980].

Na wielkość deformacji powierzchni występujących w obrębie zbocza wpływ mają: głębokość eksploatacji (H), kształt i wielkość pola eksploatacyjnego, budowa geologiczna górotworu oraz stopień naruszenia górotworu eksploatacją już zrealizowaną i sposób likwidacji przestrzeni wybieranej. Czynniki te mają również wpływ na określony promieniem wpływów głównych (r) zasięg deformacji. W sposób bezpośredni promień ten wyrażony jest, jako stosunek głębokości prowadzenia eksploatacji H i $\operatorname{tg}\beta$. Określany doświadczalnie kąt β charakteryzuje własności górotworu położonego nad eksploatacją. Wskaźniki opisujące deformację na powierzchni to w szczególności (Rys. 1, opracowany na podstawie [Szpetkowski i in., 1980]):

- obniżenie terenu (ozn. w [mm]), wyrażające pionowe przemieszczenia cząstek gruntu,
- krzywizna profilu niecki ($K = 1/R$; gdzie R [km] – promień wygięcia odkształconej powierzchni terenu,
- odkształcenie poziome ośrodka gruntowego (ε [mm/m]), wyrażające odkształcenie gruntu o charakterze zagęszczeń nad wybranym pokładem ($-\varepsilon$) lub rozluźnień nad calizną ($+\varepsilon$),
- nachylenie terenu (T [mm/m]), opisujące lokalne nachylenie krzywej profilu niecki obniżeniowej w punkcie,
- przemieszczenie poziome (u [mm]), wyrażające przesunięcie poziome cząstek gruntu w kierunku do dna niecki.



Rys. 1. Ustalone zbocze niecki górniczej

W warunkach polskich, wybierane w utworach czwartorzędowych pokłady węgla kamiennego zalegają warstwowo do głębokości ok. 1000 m ÷ 1200 m. W granicach obszarów górniczych eksploatowanych jest zatem kilka pokładów węgla na coraz większych głębokościach. Powoduje to sumowanie się obniżen powierzchni terenu pochodzących od eksploatacji kolejnych pokładów i wzrost wartości wszystkich wskaźników opisujących deformację na ustalonym zboczach niecki. Dla obiektów budowlanych usytuowanych w obszarze oddziaływania zbocza oznacza to zwiększanie się wielkości oddziaływań pochodzących od deformacji podłoża. W wielu przypadkach najbardziej niekorzystne jest występowanie i zwiększanie się nachyleń elementów ich konstrukcji. Największa wartość nachyleń profilu niecki wg teorii Budryka-Knothe [Knothe 1980] to stosunek maksymalnej wartości obniżenia dna niecki do promienia zasięgu wpływów, tj. w_{max}/r . W niektórych przypadkach w obszarach wielokrotnego wybierania pokładów, gdzie suma obniżen powierzchni terenu dna niecki przekracza wartość 7 m, nachylenie zbocza wynosi więcej niż 30 mm/m. Nachylenie obiektów budowlanych przekraczające tę wartość ma wpływ na warunki nośności elementów konstrukcji i w przypadku niektórych typów konstrukcji powoduje poważne utrudnienia w ich użytkowaniu [Ledwoń, 1983; Kwiatek i in., 1997].

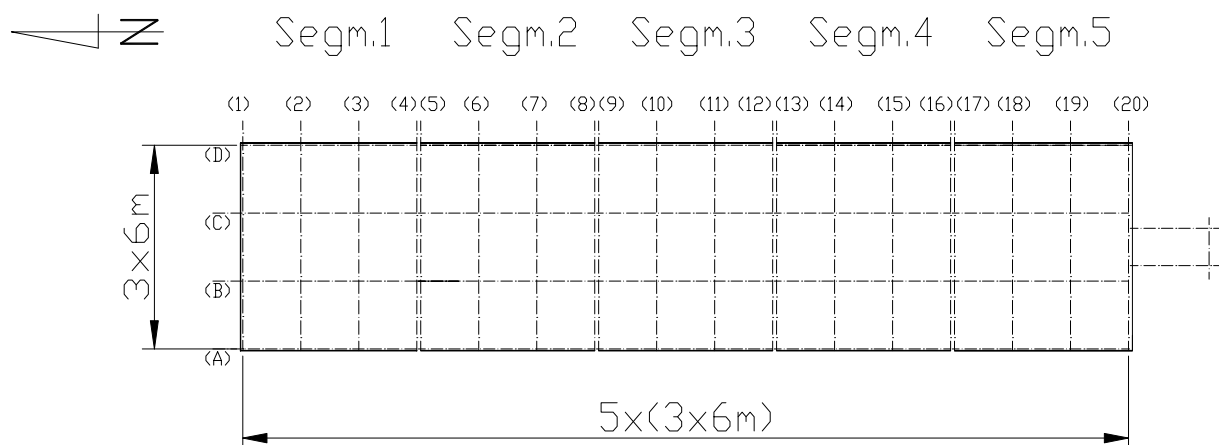
2. Przekroczenie stanów granicznych nośności jako skutek nachyleń konstrukcji

Wielosegmentowy budynek przemysłowy wzniesiono z początkiem lat 1970-tych w terenie, gdzie eksploatację złóż węgla kamiennego prowadzono już od ok. 1814 r. Od początku lat 2000-tych podlega on oddziaływaniu ustalonego zbocza niecki obniżeniowej, która wykształcała się wskutek wybrania wielu parcel w pokładach grup 400, 500 i 600 usytuowanych po jego południowej stronie. Ujawniające się nachylenie zbocza niecki powodowało nachylanie się segmentów budynku. Początkowo podstawowy problem stanowiło użytkowanie posadzek i ciągów technologicznych. W następnej kolejności wskutek nachyleń układów nośnych wystąpiły uszkodzenia elementów konstrukcji wynikające z przekroczenia dopuszczalnych naprężeń w przekrojach słupów i belek nośnych.

2.1. Charakterystyka obiektu

Budynek tworzy pięć segmentów, czterokondygnacyjnych o konstrukcji szkieletowej, słupowo-rygłowej. Wymiary ogólne rzutu poziomego obiektu to ok. 92,36 m × 18,76 m (Rys. 2). Wymiary pojedynczego segmentu w osiach słupów to (3 × 6 m) × (3 × 6 m).

Zasadniczą konstrukcją nośną segmentów budynku tworzą układy ramowe trzynawowe, o rozstawach w kierunku podłużnym 6,0 m (4 układy w każdym segmencie). Rozstaw słupów w ramie poprzecznej wynosi 6,0 m. Układy te składają się ze słupów i rygli żelbetonowych, wykonywanych jako prefabrykowane, łączone na miejscu przeznaczenia za pomocą połączeń spawanych, stalowych łączników pozostawionych w trakcie betonowania elementów. Tego typu układy cechuje przenoszenie obciążeń pionowych prawie wyłącznie



Rys. 2. Budynek produkcyjny, rzut poziomy

przez słupy, zaś obciążenia poziome przenoszone są przez szkielet pracujący jak rama wielokondygnacyjna. Rygły ram stanowią belki, na których opierają się płyty stropowe i dachowe.

Słupy nośne o wymiarach w przekroju 40 cm × 30 cm utwierdzone są w wykonywanych na miejscu budowy stopach kielichowych, schodkowych ($h = 95$ cm), posadowionych ok. 2,14 m poniżej poziomu posadzki parteru (poziom $\pm 0,00$ m, por. Rys. 3). Dla zabezpieczenia obiektu na wpływ oddziaływań górniczych w obrębie segmentów stopy słupów połączone ściągamami podłużnymi, poprzecznymi i ukośnym. Stropy międzykondygnacyjne i dach wykonano z płyt prefabrykowanych żebrowych lub/i panwiowych.

Pomiędzy segmentami zachowano przestrzenie dylatacyjne o szerokości wynoszącej 10 cm, w świetle przydylatacyjnych elementów układów ramowych.

Ściany zewnętrzne są murowane na wysokości parteru, powyżej wykonano je w konstrukcji ryglowej stalowej dla przeszkleń, a mury podokienne są z prefabrykowanych, betonowych płyt osłonowych. Ściany wewnętrzne wymurowano z bloczków typu PGS, jako wypełniające konstrukcję szkieletową.

2.2. Wyniki pomiarów geodezyjnych – stan nachylenia konstrukcji

Pomiarami geodezyjnymi objęto wychylenie od pionu słupów nośnych konstrukcji oraz nachylenie posadzek. Wyniki pomiarów zestawiono w tablicach 1 do 4.

Tablice 1 i 2 zawierają zakres wartości wychyleń dla słupów w danym kierunku wraz z oznaczeniem kierunku wychylenia. Jeżeli w obrębie segmentu występowały słupy o wychyleniach przeciwnych na danym kierunku, podano wartość tego wychylenia w drugim wierszu.

Tabl. 1. Pomierzone wartości wychyleń słupów konstrukcji [mm/m], zakres – kierunek podłużny

	Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4	Segment 5
Parter	16-31 / S	14-33 / S	29-55 / S	26-36 / S 38 / N	31 / S
I piętro	30-44 / S	32-39 / S	19-37 / S	19-29 / S	30-41 / S
II piętro		25-38 / S	25-33 / S	19-42 / S	7-26 / S
III piętro	24-36 / S	22-39 / S	25-37 / S 30 / N	22-32 / S	26 / S15 / N

Tabl. 2. Pomierzone wartości wychyleń słupów konstrukcji [mm/m], zakres – kierunek poprzeczny

	Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4	Segment 5
Parter	17-26 / W 11 / E	10-26 / W 7-16 / E	2-20 / W 1-13 / E	1-25 / W 5-6 / E	7-11 / W
I piętro	12-21 / W	1-12 / W	3-15 / W 1-6 / E	1-13 / W	3 / W 5-13 / E
II piętro	11-14 / W	4-19 / W 2 / E	3-19 / W 1-10 / E	7-15 / W 2-6 / E	2-18 / W 31 / E
III piętro	16-17 / W	7-19 / W	5-16 / W	1-11 / W 3-5 / E	—

Pomierzone wartości wychyleń pojedynczych słupów wynoszą:

- w kierunku podłużnym obiektu: od ok. 7 mm/m do ok. 55 mm/m – na południe,
- w kierunku poprzecznym układów nośnych: od ok. 1 mm/m do ok. 26 mm/m – kierunek na zachód oraz od 1 mm/m do 31 mm/m – kierunek na wschód.

Na podstawie analizy pomiarów stwierdzić można, że w kierunku podłużnym występuje zgodność w wychyleniu na południe wszystkich pomierzonych słupów. Na kierunku poprzecznym do długości budynku, w płaszczyźnie układów nośnych, obserwowane jest natomiast występowanie wychyleń przeciwnych co do kierunku w obrębie słupów tych samych ram. Większość z pomierzonych słupów osi wewnętrznych i zewnętrznej zachodniej wykazuje wychylenie w kierunku na zachód. Wychylenia na kierunku przeciwnym wschodnim, dotyczą głównie słupów w osi skrajnej, wschodniej.

Pomiarem nachyleń objęto także posadzki w budynku. Pomierzone wartości nachyleń zestawiono w tablicach 3 i 4, odpowiednio dla kierunku podłużnego i poprzecznego.

Tabl. 3. Pomierzone wartości nachyleń posadzek [mm/m], zakres – kierunek podłużny

	Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4	Segment 5
Parter	25-35 / S	31-37 / S	25-27 / S	27 / S	—
I piętro	25-31 / S	31-37 / S	31-32 / S	34-36 / S	26-31 S/
II piętro	33-39 / S	34 / S	23-38 / S	31-32 / S	28 / S
III piętro	44 / S	28-40 / S	28 -40 / S	28-32 / S	24-25 / S

Tabl. 4. Pomierzone wartości nachyleń posadzek [mm/m], zakres – kierunek poprzeczny

	Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4	Segment 5
Parter	9-25 / W	5-11 / W	2-5 / W	3 / E	—
I piętro	13-14 / E	6-12 / E	5-6 / E	2-5 / W 4-5 / E	6 / W 2 / E
II piętro	11-17 / W	9-10 / W	43-8 / W	3-6 / W	3 / W
III piętro	13 / W	7-9 / W	6 / W	3-5 / W	3 / W

W tablicach 5 i 6 zestawiono średnie wartości nachyleń posadzek, obliczone na kierunku podłużnym budynku (z obliczeniem średnich wartości dla poszczególnych kondygnacji i segmentów) i w kierunku poprzecznym (z obliczeniem średnich wartości dla poszczególnych segmentów).

Tabl. 5. Średnie nachylenie posadzki [mm/m]– kierunek podłużny

	Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4	Segment 5	Dla kondygnacji
Parter	30	34	26	27	—	29
I piętro	28	34	32	35	28	31
II piętro	36	34	30	31	28	32
III piętro	44	28	34	34	26	33
Dla segmentu	34	32	30	32	27	

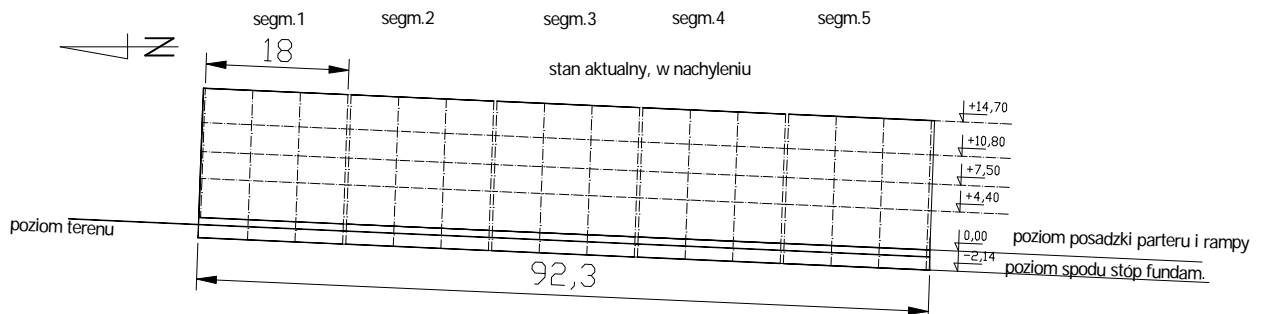
Tabl. 6. Średnie nachylenie posadzki [mm/m] – kierunek poprzeczny na zachód

	Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4	Segment 5
Parter	17	8	3,5	3	—
I piętro	—	—	—	3,5	6
II piętro	14	9,5	25,5	4,5	3
III piętro	13	8	6	4	3
Dla segmentu	13,5	8,75	10,5	4	4

Tabl. 7. Średnie nachylenie posadzki [mm/m]– kierunek poprzeczny na wschód

	Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4	Segment 5
Parter	—	—	—	—	—
I piętro	13,5	9	5,5	3,5	9
II piętro	—	—	—	—	—
III piętro	—	—	—	4	—

Na długości budynku bryły wszystkich segmentów nachylone są w kierunku na południe (Rys. 3). Średnie wartości nachylenia obliczone na podstawie wykonanych pomiarów wynoszą od 29 mm/m do 33 mm/m. Na kierunku poprzecznym odnotowano znacznie niższe średnie wartości nachyleń, do 13,5 mm/m. Oszacowane średnie wartości wychyleń posadzki są niższe od pomierzonych nachyleń słupów, co wynika z przeprowadzonych w przeszłości robót poziomujących ich powierzchnię.



Rys. 3.

Nachylenie segmentów budynku w kierunku na południe wynika z różnicy obniżenia części fundamentowej na długości budynku – wskutek przemieszczania się gruntu w kierunku wybranych parcel eksploatacyjnych znajdujących się pod obiektem lub na południe od obiektu.

Czynnikiem powodującym na kierunku poprzecznym konstrukcji przeciwstawne wychylenia słupów układów nośnych jest prawdopodobne oddziaływanie na tym kierunku krzywizn terenu o małych wartościach promienia wygięcia. Potwierdzają to również wyniki obserwacji geodezyjnej prowadzonej na terenowej linii oraz punktów rozproszonych w terenie sąsiadującym z obiektem.

2.3. Stan uszkodzenia

W obiekcie stwierdzono występowanie uszkodzeń związanych z występującym nachyleniem konstrukcji. W dylatacji pomiędzy segmentami ozn. 1 i 2 (Rys. 2), w przydylatacyjnych ramach parteru powstały (oś 4-5):

- spękania i ubytki tynków w miejscach łączenia elementów prefabrykowanych, słupów i rygli ram (Fot. 1),



Fot. 1



Fot. 2



Fot. 3

- zarysowania i spękania betonu na długości rygli (Fot. 2) i w węzłach nawy zewnętrznej (Fot. 3),
- zarysowania betonu prefabrykowanych słupów w strefie utwierdzenia w stopie (Fot. 4).

Występujące uszkodzenia świadczą o przekroczeniu lokalnej nośności w połączeniach węzłowych (Fot. 1 i 3) i w obrębie samych elementów prefabrykowanych (Fot. 2). W osiach 4 i 5 powstał stan zagrożenia lokalnej stateczności układów ramowych i zagrożenie stanem awaryjnym. Konieczne było wykonanie tymczasowego podstemplowania rygli parteru.



Fot. 4

Wchylenie konstrukcji obiektu miało wpływ na warunki pracy statyczno-wytrzymałościowej wszystkich elementów nośnych, szczególnie słupów i rygli stropowych oraz ich spawanych połączeń. Z analizy wychyleń słupów nośnych wynika, że:

- W obrębie tych samych ram poprzecznych występują różne co do wartości wychylenia słupów, powoduje to deformacje ram nośnych z płaszczyzny, w obrębie tych samych kondygnacji i na wysokości segmentów. Stan deformacji wywołuje powstawanie dodatkowych sił zginających w słupach konstrukcji oraz momentów zginających w strefach utwierdzenia słupów w fundamentach.
- W osiach 12 i 13 (Rys. 2) występują wychylenia słupów przeciwstawne, co do kierunku, na wysokości kondygnacji parteru i III piętra, co powoduje powstawanie dodatkowych sił ścinających w stalowych złączach słupów i w złączach rygli ram poprzecznych, oraz zginanie z płaszczyzny rygli poprzecznych.
- Na skutek różnych wartości i kierunków wychyleń słupów sąsiadujących ze sobą w dylatacjach, ich szerokości uległy zmniejszeniu lub zwiększeniu.

Biorąc pod uwagę fakt, że pomiarami objęto tylko dostępne elementy konstrukcji, a możliwy do analizy stan deformacji jest ograniczony uzyskanymi pomiarami, stan deformacji konstrukcji wskazuje na występowanie stref silnie wyteżonych. Są to przede wszystkim miejsca utwierdzenia słupów w fundamentach, stalowe połączenia elementów prefabrykowanych słupów na ich wysokościach oraz rygli ze słupami, a także silnie wychylonych słupów (powyżej 25 mm/m) lub skręcanych rygli ram zewnętrznych (łączyjących słupy o znacznie różnych lub/i przeciwstawnych wychyleniach).

Za decydujące o stanie technicznym i użytkowym budynku produkcyjnego uznać należy:

- nachylenie podłużne segmentów budynku produkcyjnego, określone nachyleniem posadzek na poziomie od 29 mm/m do 32 mm/m w kierunku na południe, por. Tabl. 5
- stan deformacji i deplanacji w płaszczyźnie poprzecznych układów nośnych, określony nachyleniami słupów,
- stan zarysowania rygli poprzecznych w sąsiedztwie węzłów konstrukcji,
- stan uszkodzenia, zarysowania słupów w strefach utwierdzenia w fundamentach, w tym również uszkodzenia posadzek, świadczące o możliwości obrotu niektórych słupów w kielichowych stopach fundamentowych,
- uszkodzenia ścian działowych wypełniających układ słupowo-ryglowy.

Dodatkowo w budynku uciążliwość w użytkowaniu determinowały ograniczenia w spełnianiu funkcji projektowej, w szczególności możliwość prowadzenia w sposób niezakłócony procesu technologicznego. Stwierdzone pomiarami nachylenie posadzek w segmentach budynku stwarza bardzo dużą uciążliwość w użytkowaniu, co potwierdzono podczas wizji obiektu. W zakresie uciążliwości należy wyróżnić nachylenie samych ciągów technologicznych, oraz utrudnienia w obsłudze stanowisk roboczych przez pracowników, transporcie wewnętrznym poziomym pomiędzy stanowiskami roboczymi oraz użytkowaniu instalacji wewnętrznych (przemysłowych).

3. Podsumowanie

Występujące nachylenie konstrukcji budynku szkieletowego wynika z jego usytuowania w obszarze oddziaływania zbrocza górniczej niecki obniżeniowej. Nieodłącznym elementem kształtowania się na powierzchni terenu niecki obniżeniowej jest występowanie ustalonego nachylonego zbrocza. W przestrzeni powstaje utrwalona deformacja przypowierzchniowej części górotworu, która w sposób ciągły oddziałuje na obiekty budowlane, położone w jej zasięgu. Jak wskazują obserwacje stałe nachylenie elementów konstrukcji przekraczające wartości 30 mm/m ma istotny wpływ na zmianę warunków przenoszenia obciążeń programowych. W obiektach o układach szkieletowych może to powodować wystąpienie przekroczenia możliwych do przeniesienia naprężeń i sił w elementach konstrukcji i ich połączeniach.

W omówionym w artykule przypadku obserwowany już obecnie na obiekcie stan nachylenia, uszkodzenia, deformacji i wzajemnych przemieszczeń zasadniczych elementów nośnych kwalifikuje konstrukcję do wykonania naprawy budynku poprzez rektyfikację konstrukcji wraz z lokalnymi wzmocnieniami i odtworzeniem elementów nośnych.

Bibliografia

- Knothe S., 1980: *Obliczanie wielkości deformacji powierzchni i górotworu*. Praca Zbiorowa. Ochrona powierzchni przed szkodami górniczymi. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice.
- Kwiatkiewicz J., 2007: *Obiekty budowlane na terenach górniczych*. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice.
- Kwiatkiewicz J. i in., 1997: *Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych*. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa. Katowice.
- Ledwoń J.A., 1983: *Budownictwo na terenach górniczych*. Arkady, Warszawa.
- Popiołek E., 2009: *Ochrona terenów górniczych*. Wydawnictwa AGH, Kraków.
- Szpetkowski S., 1980: *Charakterystyka wpływów robót górniczych na górotwór i na powierzchnię terenu*. Praca Zbiorowa. Ochrona powierzchni przed szkodami górniczymi. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice.

Influence of the established mining subsidence edge on surface development

Abstract

Extraction of underground mineral resources affects surface area transformation. The most characteristic change is the creation of mining subsidence over the selected deposit. The subsidence results from continuous deformation of the surface, which size and range depend on the amount of the selected mining. For surface development elements, formation of the mining subsidence edge is an additional long-term impact that changes the load and usable conditions for structural elements. For buildings, changing surface slope within the slope of the mining subsidence is particularly unfavourable. In cubature facilities, this change results in permanent inclination of the structure. The article discusses effects of excessive construction inclination of cubature facilities located on the inclined slope of a mining subsidence. Selected examples are used to present problems of exceeding the ultimate load limits in the structure elements in the post and beam façade of an industrial building as well as limitations in use resulting from permanent inclination of a public utility facility.

Keywords: mining subsidence, mining impact, surface protection, surface slope