



Monitorowanie osiadań wyrobiska pod autostradą między Ostrawą i Frydkiem – Mistkiem, CZECHY

Mining Subsidence Monitoring of Highway between Ostrava and Frýdek-Místek, CZE

Jitka MUČKOVÁ¹⁾, Pavel ČERNOTA²⁾, Pavel BARTÁK³⁾, Marek MIKOLÁŠ⁴⁾

¹⁾ Ing., Ph.D.; Institute of Geodesy and Mine Surveying, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava 17.listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic; e-mail: jitka.muckova@vsb.cz, tel.: (+420) 597 323 303

²⁾ Ing., Ph.D.; Institute of Geodesy and Mine Surveying, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava 17.listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic; e-mail: pavel.cernota@vsb.cz, tel.: (+420) 597 321 234

³⁾ Ing., Ph.D.; Kámen Ostroměř, s.r.o., Nádražní 414, 507 52 Ostroměř, Czech Republic; tel.: (+420) 603 219 912

⁴⁾ Ing.; Institute of Geodesy and Mine Surveying, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava 17.listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic; e-mail: marek.mikolas@vsb.cz, tel.: (+420) 597 325 271

Streszczenie

Artykuł został poświęcony ocenie wpływu ruchu nadkładu wydobytych złóż mineralnych użytkowych na obiekty budowlane znajdujące się na powierzchni ziemi, konkretnie wpływ wydobycia przodku wybierkowego Nr. 063 541 w obszarze górniczym „Staříč” na czteropasmową autostradę R 56 z Ostrawy do Frýdku-Místku. W celu monitorowania tych efektów została wybudowana stacja obserwacyjna, przy pomocy której wykonywano pomiary. Do stworzenia takiej stacji oraz do oceny uzyskanych pomiarów został zastosowany program SUBSCH, który pozwala na obliczenie osiadań (pionowego i poziomego), upadu, promienia krzywizny i poziomych przekształceń, w określonych przedziałach czasowych.

Słowa kluczowe: wpływ eksploatacji powierzchni, plastyczna niecka osiadania, dynamiczne wpływy eksploatacji, osiadanie, współczynnik skuteczności

Wprowadzenie

Podczas podziemnej eksploatacji złóż, po wybraniu części złoża pod powierzchnią powstaje pusty obszar (zroby), który się od razu, lub po jakimś czasie pod wpływem naprężeń w okolicznych górotworach na nowo zapełni większymi lub mniejszymi odłamkami skał, albo drogą elastycznego zbliżenia się nadkładu i spągu. Przekształcenia mają miejsce zazwyczaj po pewnym czasie, kiedy skoncentrowane naprężenie skał pokona odporność skał przeciw deformacjom lub złamaniu. Ruchy nadkładu, czyli również powierzchni, są zależne od wielu czynników. Jednymi z wielu podstawowych czynników, które mają wpływ na ten właśnie ruch, mogą zostać na przykład: mechaniczne właściwości nadkładów i okolicznych skał, geologiczne warunki zalegania, grubość urabianego złoża, graniczny kąt wpływu, pole powierzchni prac wydobywczych, głębokość złoża pod powierzchnią, sposób eksploatacji kopaliny użytecznej, przebieg czasowy i długość trwania ruchu [2, 5].

Summary

The paper deals with effect of hanging wall movement of over mined deposits of economic minerals upon the Earth surface objects, specially the mining effect of the face 063 541 in mining area “Staříč” upon R 56 four-lane highway between Ostrava and Frýdek-Místek, CZE. The observation station has been established and measurement for monitoring the effect upon it was done. SUBSCH software was used to establish the observation station and to evaluate results. Subsidence, horizontal movement, denivelation, curvature radius and horizontal deformation for given instant time can be calculated in this software.

Keywords: mining surface effect, mining subsidence basin, dynamic mining effect, mining subsidence, effect factor

Introduction

During underground mining of deposits after exploitation of a part of deposit, an mining excavation were mined, which can be filled up with bigger or smaller fragments of rock as a result of concentrated stress within surrounding rocks or elastic approach of hanging wall and footwall, either immediately or after some time period. Movement usually starts when concentrated pressure of rocks overcomes resistance against deformation or break. Hanging wall movement, i.e. also surface movement, depend on various factors. Main factors affecting this movements are mechanical properties of hanging wall and surrounding rocks, geological conditions of position, thickness of deposit, critical angle of mining effects, size of area of mining works, underground depth of deposit, method of deposit exploitation, time course and length of duration of movements [2, 5].

O ile wystąpi rozszerzenie wpływu wydobycia na samą powierzchnię ziemi, powstanie niecka osiadania, której pole jest większe od rzutu prostopadłego złoza wydobytego na powierzchnię. Obszar przekraczający granicę rzutu prostopadłego złoza wydobytego nazywamy zasięgiem wpływu, który równa się promieniowi pełnego pola efektywnego. Promień pełnego pola efektywnego zależy od głębokości złoza h i limitowego kąta nachylenia μ , i jest określony stosunkiem (1) [6]:

$$r_{i\ddot{e}} = h \cdot \cotg \mu \quad (1)$$

Kąt graniczny μ jest kątem zawartym między linią łączącą krawędź zawaliska i punkt znajdujący się na powierzchni, w którym pojawiają się ruchy pewnej amplitudy, nie prowadzące do uszkodzenia obiektów budowlanych lokalizowanych na powierzchni, albo takie, które są z punktu widzenia praktycznego nieznaczne.

W środku rzutu przestrzeni wyeksploatowanej nie pojawi się na powierzchni całkowite osiadanie terenu odpowiadające grubości pokładu, lecz wystąpi dopiero na odległości $r_{i\ddot{e}}$ od zawaliska w kierunku dośrodkowym. Ilość osiadań wzrasta w kierunku od krawędzi niecki osiadania do środka powierzchni wyeksploatowanej aż na odległość $2 \cdot r_{i\ddot{e}}$. Obszar, w którym nastąpi całkowite obniżenie terenu określany jest jako dno niecki osiadania i zakłada się w nim tylko pionowy ruch punktów. Na zboczu niecki osiadania punkty poruszają się w kierunku do środka zawaliska. Ruch ten możemy rozłożyć na dwie części: pionową i poziomą (Rys 1).

Przy pomocy wartości osiadań dla poszczególnych punktów znajdujących się na zboczu niecki osiadania możemy określić krzywą osiadań i z niej przez pierwszą derywację krzywą nachylenia przez drugą derywację krzywą zakrzywienia. Za pomocą wartości przesunięć poziomych poszczególnych punktów na zboczu niecki osiadania określimy krzywą przesunięć poziomych i przez jej pierwszą

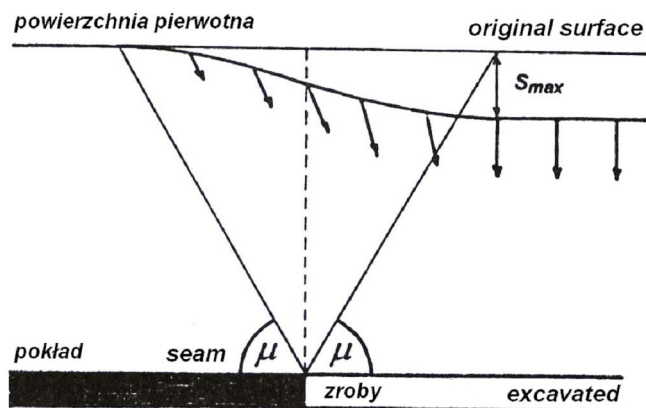
If mining influence are extended up to the Earth surface, mining subsidence basin is formed, the size of which is larger than projection of extracted area of seam to the surface. Overlap over the extracted area is called effect range which equals radius of the full effective area. Radius of full effective area depends on depth of deposit h and critical angle of mining effects μ and it is expressed in relation (1) [6]:

$$r_{i\ddot{e}} = h \cdot \cotg \mu \quad (1)$$

Critical angle μ represents angle which is formed by the connection of extracted area border with point on the surface with movements of given size, when the damage of surface objects is insignificant for the practical reason.

Full subsidence which corresponds to thickness of seam is created as far as distance $r_{i\ddot{e}}$ from border of extracted area towards to centre of extracted area. Subsidence increases from border of mining subsidence basin to its centre as far as distance $2 r_{i\ddot{e}}$. Area of full subsidence is called bottom of basin and points move only in vertical direction. At the slope of a subsidence basin the points move towards the centre of extracted area and movement of the points can be divided on vertical and horizontal part (Fig.1).

By means of subsidence values of individual points of a subsidence basin slope we can determine the subsidence curve and from it, applying the first derivation – the denivelation curve, while applying the second derivation – the curve of curvature. By means of horizontal movement values of individual points of the slope of mining subsidence basin can be determined the curve of horizontal movements and



Rys. 1
Ruch punktów na zboczu niecki osiadania [3]

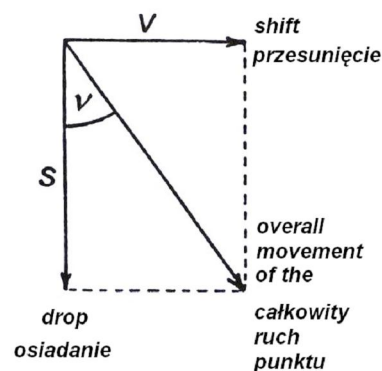


Fig. 1
Point movement at the slope of mining subsidence basin [3]

derywację krzywą względnych poziomych przekształceń (kompresji i dekompresji) [6].

Nie tylko dla zidentyfikowania powyżej wymienionych przekształceń i deformacji w zbroczu niecki osiadania, ale również dla przewidywania powstania szkód górniczych jest konieczne wykonywanie pomiaru ruchu w podebranych obszarze przy zastosowaniu różnych metod i instrumentów. Badane ruchy i odkształcenia mają wpływ na obiekty budowlane, mianowicie na nachylenie, krzywiznę, oraz przekształcenie poziome. Do obiektów budowlanych na powierzchni, które są zagrożone przez powstanie szkód górniczych należą też budowle transportowe. Do nich należą też drogi, które znajdują się nad niecką osiadania, na których mogą powstawać zmiany nachylenia, wytworzenia się naderwań powierzchni, lub pofałdowania powierzchni. Skutki tych negatywnych zmian mogą doprowadzić do sytuacji, kiedy drogi nie będzie można stosować [4]. Z powyżej przytoczonych przyczyn monitorowano również czteropasmową autostradę R 56, łączącą Ostrawę i Frýdek-Místek (Rys. 2) w odcinku 48,250 – 49,000 km. Badany został wpływ wybierania przodku 063 541, pokład 063(17b) i osiadanie w obszarze górniczym „Staříč”.

Stacja Obserwacyjna

Dla niżej opisywanych terenów można podać następującą charakterystykę geologiczną. Obszar eksploatacji kopalni „Staříč” znajduje się w przyborskiej części niecki górnośląskiej, w centrum pozytywnej morfostruktury – grzbiecie przyborsko-cieszyńskim. W nadkładzie karbonu

its derivation – the curve of horizontal relative deformations [6].

To be able not only to determine the above mentioned movements and deformations in mining subsidence basin, but also to predict from the point of view of subsidence damage, it is necessary to realize measurements of movements on the undermined area applying different methods and measuring apparatuses. Measured movements and deformations have an influence to objects on the surface (building, road, railway etc.) especially denivelation, curvature and horizontal deformations. Among the surface building objects, being endangered by subsidence damage we can include transport structures. Construction of road belong them too, where the change of declivity conditions may take on the roadway in subsidence basin and cracks of roadway surface are created or surface corrugation, which may result even to disabling of road utilization [4]. Also R 56 four-lane highway between Ostrava and Frýdek-Místek (fig. 2) was monitored due to above mentioned reasons. The influence of mining face marked 063 541 in a seam 063(17b) in the mining area “Staříč” was surveyed. Task was monitoring of roadway subsidences in road space 48,250 – 49,000 km.

Observation station

Depositing and geological situation in this area are featured as follows. Mining area “Staříč” is situated in Příbor area of the part of Upper Silesian Basin, in central part of positive morphostructure – Příbor – Těšín Ridge. Covering formations are



Rys. 2
Sytuacja R56

Fig. 2
Layout of R 56

ułożone są formację pokrywne. W ich skład wchodzi skały ilaste dolnokarpackie, ewentualnie również niezawodnione piaski ze żwirem oraz fragmenty płaszczowin zaliczanych do warstw karpackich zewnętrznych, które są dominujące. Warstwy ostrawskie są w obszarze eksploatacji kopalni Staříč zastąpione praktycznie tylko warstwami pietrkowickimi i gruszowskimi, wyjątkowo występują jeszcze dolne części warstw jakłowieckich. Mianowany przodek znajduje się w zachodniej części brachysynkliny starzickiej.

Parametry przodku 063 541:

- Pokład: 17b
- Grubość pokładu: 1,4 m
- Nachylenie pokładu: 12° na PZ
- Wysokość powierzchni: + 270 m
- Wysokość karbonu: - 170 m
- Wysokość pokładu: - 420 m
- Graniczny kąt wpływu: 58,6° (średni)
- Zasięg wpływu: 421 m
- Sposób urabiania: system wybierania ścianowego z kontrolowanym zawalem
- Koficjent urabiania: 0,9

Dla ustanowienia stacji obserwacyjnej jest istotne uzyskanie oczekiwanych ruchów w obszarze dotkniętym uszkodzeniami górnictwymi. Dla obliczenia przewidywanych osiadań został zastosowany program SUBSCH. Program pozwala nam obliczyć osiadanie, wychylenie pionowe, nachylenie, promień krzywizny deformacji oraz odkształceń poziomych dla określonego momentu czasu. Ogólnie można osiadanie obliczyć na czas po odebraniu według formuły [3]:

$$s = m \cdot a \cdot e \cdot z \quad (2)$$

gdzie:

- s – obniżenie punktu
- m – urabiana grubość pokładu
- a – koficjent urabiania
- e – koficjent efektywności
- z – współczynnik czasowy

Rozmiar osiadania w przypadku jednakowych warunków geometrycznych i geomechanicznych urabiania jest zależna od lokacji danej miejscowości na powierzchni wobec przestrzeni eksploatowanej, to znaczy od wielkości współczynnika efektywności. Dla obliczenia współczynnika efektywności w programie SUBSCH stosuje się prosta funkcja Knothe'go [7]:

$$s = m \cdot a \cdot z \cdot \left(1 - e^{-\pi \left(\frac{x}{r} \right)^2} \right) \cdot \Delta \sigma \quad (3)$$

gdzie formułka w nawiasie jest tzw. Knothe'go rozdzielcza funkcja wpływu z możliwością zastosować metodę Pfläginga i Neuhaus.

deposited in carbon hanging wall, in structure of which participate basal Carpatien clay, possibly also water free gravel-sand as well as bodies of Outer Carpathian Nappes, which are dominating. Ostrava series of strata of Staříč mining area is represented in practice only with Petřkovice and Hrušov strata featured with sporadic presence of basal part of Jaklovec strata. Appropriate working face is situated in western wing of Staříč brachysyncline.

Working face 063 541 parameters :

- Seam : 17b
- Thickness of seam : 1,4 m
- Incline of seam : 12° to NW
- Surface altitude : + 270 m
- Carbon altitude : - 170 m
- Seam altitude : - 420 m
- Critical effect angle : 58,6° (average)
- Effect range : 421 m
- Mining method : longwall with controlled caving of the roof
- Mining method factor: 0,9

For establishing of the observation station it is important to determine expected movements in the area affected with mining activities. To calculate expected subsidence we have applied SUBSCH software calculations. The software enables calculation of subsidence, denivelation, curvature radius and horizontal deformation for given time period. Generally the subsidence may be calculated on certain time period from undermining applying the formula [3]:

$$s = m \cdot a \cdot e \cdot z \quad (2)$$

where:

- s – point subsidence
- m – workable thickness
- a – mining method factor
- e – effect coefficient
- z – time coefficient

Subsidence size under the same geometric and geomechanic mining conditions depends on the position of given site on the surface against extracted space, i.e. on the size of the effect coefficient. To calculate effect coefficient applying SUBSCH software we use a simple Knothe's function [7]:

$$s = m \cdot a \cdot z \cdot \left(1 - e^{-\pi \left(\frac{x}{r} \right)^2} \right) \cdot \Delta \sigma \quad (3)$$

where term in parentheses represents so called Knothe's distribution function of the influence enabling to apply the procedure as per Pfläging and Neuhaus.

Dla obliczenia wpływów dynamicznych stosuje się funkcja wg. Schenka. W środowiskach zawieszisto – elastycznych aż plastycznych jest czynnik czasowy zależny od trwania odkształcenia i wielkości działających sił, od szybkości ich zmian, kierunku i od trwania ich działania. Z tego można wnioskować, że szybkość i kierunek posunięcia przodku wybierkowego mają wpływ na dynamiczny i definitywny kształt niecki osiadania. Derywacja funkcji czasowej wg. Schenka opiera się na metodzie najmniejszych kwadratów.

$$s = {}_i s_{\max} \left[1 - \exp\left(-5 \frac{\Delta t_k - Re}{T}\right) \right] \quad (4)$$

gdzie ${}_i s_{\max}$ jest maksymalne osiadanie częściowego obszaru P_i , eksploatację którego rozpoczęto w czasie t_i i Δt_k jest czas od rozpoczęcia eksploatacji częściowego obszaru do czasu t_k obliczenia osiadania, to jest $\Delta t_k = t_k - t_i$. Re jest czas od rozpoczęcia eksploatacji do czasu powstania pierwszych osiadań, T jest całkowity czas działalności przodku wybierkowego [8].

Pliki wstępne dla obliczeń w programie SUBSCH zawierają dane górotworu (średni graniczny kąt wpływu), dane przodku wybierkowego (grubość pokładu, układ współrzędnych punktów przelomowych granicy obszaru przodku wybierkowego, wysokość przodku wybierkowego, nachylenie pokładu, współczynnik urabiania) i dane powierzchni (sieci kwadratowej punktów znajdujących się ponad projektowanym przodkiem wybierkowym z odstępem 50 m).

W programie przeprowadzono statystyczne obliczenie osiadań punktów sieci kwadratowej, dla którego zastosowano następujące współczynniki: współczynnik urabiania $a = 0,9$ (system wybierania ścianowego z kontrolowanym zawałem) oraz współczynnik czasowy $z = 1$ (kompletne wygaśnięcie). Poprzez owe obliczenia otrzymano wartości sumaryczne ostatecznych ruchów punktów i skompilowano przestrzenny model kształtu i wielkości niecki osiadania, która powstanie przy eksploatacji przodku wybierkowego 063 541 w programie SURFER (Rys. 3).

Na podstawie poprzednich obliczeń osiadań została w odcinku 48.250 do 49.000 km drogi szybkiego ruchu R 56 zrealizowana stacja obserwacyjna. W tym odcinku wyniki pomiarów osiadania były większe niż 40 mm. Stacja obserwacyjna składa się z przekrojów poprzecznych na dystansie 50 m. Przekrój poprzeczny składa się ze 4 punktów na krawędzi drogi przy pomocy ustabilizowanych gwoździów (szpilek) geodezyjnych o długości 6 cm. (Rys. 4).

Wykonanie pomiarów na stacji obserwacyjnej

Przy wyborze metody pomiarowej dla ustalenia osiadań na stacji obserwacyjnej rozpatrywano rozważania

To calculate dynamic effects we are applying the function as per Schenk. Taking into account viscoelastic up to plastic environments the time coefficient depends on the duration of deforming as well as size of acting forces, on rapidity of their modifications, direction and duration of their exposure. Based on the above mentioned, we may presume, that rapidity and direction of coal face advance affect both dynamic and final shape of subsidence basin. Time function derivation as per Schenk is based on the method of least squares.

$$s = {}_i s_{\max} \left[1 - \exp\left(-5 \frac{\Delta t_k - Re}{T}\right) \right] \quad (4)$$

where ${}_i s_{\max}$ is maximum subsidence of a partial area P_i , the mining of which has started at time t_i and Δt_k is a time since starting the mining of partial area within the time t_k involving the subsidence calculation, i.e. $\Delta t_k = t_k - t_i$. Re is the time since starting the mining up, within occurring the first subsidence cases; T is total period of working unit exposure [8].

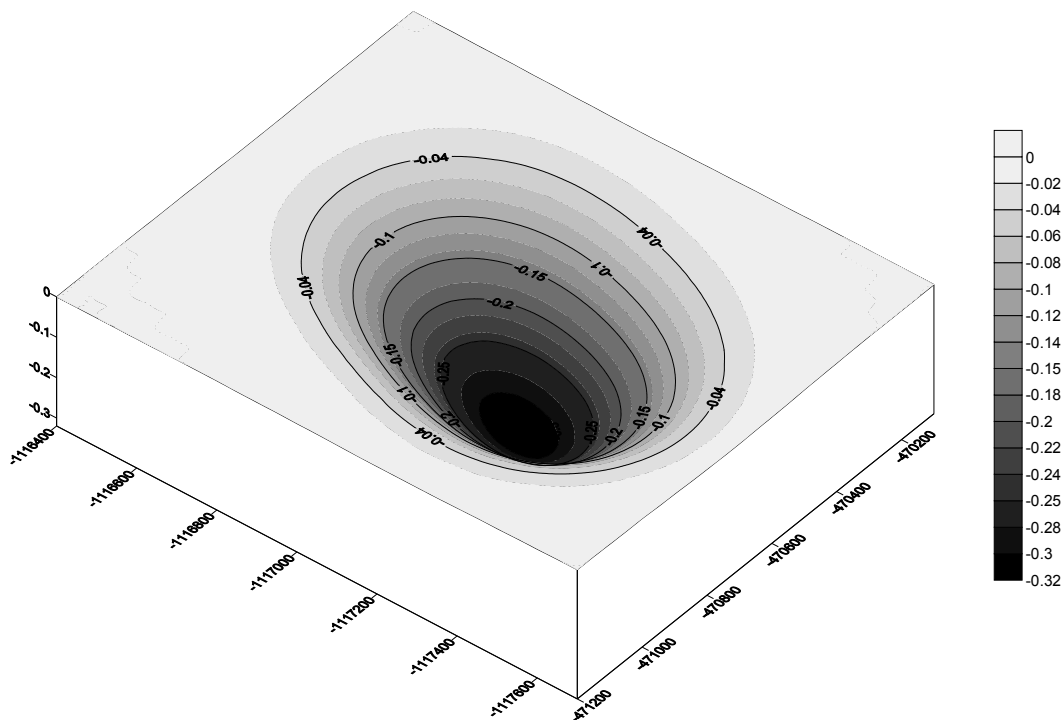
Input files for calculation applying SUBSCH software involves next rock surroundings data (critical effect angle), working unit data (thickness of seam, working face boundary coordinates, working face height, seam inclination, mining method coefficient), and surface data (point grid over designed working face, featured with a step of 50 m).

Static calculation of grid of subsidence points has been executed in the software, for which following factors were applied: mining method coefficient $a = 0.9$ (longwall mining with controlled caving fall), and time coefficient $z = 1$ (full completion). This calculation provided summary values for final point shifts and has been generated a spatial model of the subsidence basin shape and size, which occurs after undermining the 063 541 working face in SURFER software (Fig.3).

Based on previous calculations of subsidence an observation station has been established in road space 48.250 – 49.000 km of the R 56 highway. In this road space were calculated subsidence values over 40 mm and they were important for establishing of observation station. Observation station is created by cross sections at the distance of 50 m. A cross section is created by 4 points situated at the roadway edges using stabilized survey pins of 6 cm length. (Fig.4).

Measuring at the Observation Station

Selecting the measuring method to determine the subsidence at the observation station was based on



Rys. 3
3D model niecki osiadania

Fig. 3
3D Model of a subsidence trough



Rys. 4
Wybór stacji obserwacyjnej

Fig. 4
Selection of the observation station

o dokładności pomiarów przesunięć obiektów budowlanych. Precyzja została określona wartością odchylenia granicznego, powstałego przy ustaleniu długości wynikowego wektora przesunięcia lub jego składowej. Wartość odchylenia granicznego δ_l w mm, o ile nie zostało ustalone inaczej, określi się wartością [1]:

consideration the accuracy in measuring the shifts of buildings objects. This is featured with limit deviation value in determining the length of resulting shift vector or of its component. Limit deviation value δ_l in mm, if not quoted otherwise, would be determined by following value [1]:

$$\delta_1 \leq \frac{2}{15} p_p \quad (5)$$

p_p – przewidywana wartość przesunięcia, lub:

$$\delta \leq \frac{2}{5} p_k \quad (6)$$

p_k – wartość krytyczna przesunięcia w mm, przy osiągnięciu której powstanie zagrożenie obiektu budowlanego.

Według przepowiedni osiadań oraz prawidłowości w niecce osiadania jest widoczne, że osiadania punktów nie są jednakowe, lecz różnią się ze względu na wielkość wybierania swej efektywnej powierzchni. Dla tego precyzyjność pomiarów wpływów eksploatacji na punktach stacji obserwacyjnej nie można określić na podstawie wartości przewidywanych osiadań. Dla obliczenia dokładności pomiaru wybierze się formuła wychodząca z krytycznej wartości przesunięcia. Relacja dla maksymalne możliwe odchylenie średnie dla obliczenia osiadań więc będzie:

$$m_p \leq \pm \frac{1}{5} p_k \quad (7)$$

W zamian za krytyczną wartość osiadania zastosowano wartość 40 mm (ostrzeżenie OBÚ – Okręgowy urząd górniczy – w Ostrawie Nr porządkowy 5273/1996), które określa granicę wymienionego obszaru wpływem eksploatacji górniczej:

$$m_p \leq \pm 8 \text{ mm}$$

Dla wykonania pomiarów na stacji obserwacyjnej wybrano metodę niwelacji dokładnej przyłączona na punkt niwelacyjny *Gde 9.1*, który znajduje się na obszarze nie podebrany na dystansie 3 km od stacji obserwacyjnej. Przy analizie dokładności pomiaru zostało obliczone średnie kilometrowe odchylenie $m_0 = \pm 2,5 \text{ mm}$ i zastosowano go dla obliczenia odchylenia średniego w wysokości punktu stacji obserwacyjnej:

$$\begin{aligned} m_{v_{PS}} &= \pm m_0 \cdot \sqrt{R} \\ m_{v_{PS}} &= \pm 4,3 \text{ mm} \end{aligned} \quad (8)$$

i obliczenie uchybu średniego dla określenia osiadania:

$$\begin{aligned} m_p &= \pm m_{v_{PS}} \cdot \sqrt{2} \\ m_p &= \pm 6,1 \text{ mm} < 8 \text{ mm} \end{aligned} \quad (9)$$

Z obliczeń wynika, że precyzyjne poziomowanie z zachowaniem kryteriów dokładności spełnia wymagania [5].

Prace geodezyjne przebiegały w zależności od eksploatacji przodku wybierkowego 063541, która rozpoczęła się w marcu 2008 i została zakończona

$$\delta_1 \leq \frac{2}{15} p_p \quad (5)$$

p_p is expected shift value, or:

$$\delta \leq \frac{2}{5} p_k \quad (6)$$

p_k is critical shift value in mm, upon reaching of which the endangering of building object would take place.

As per the subsidence prognosis and patterns in a subsidence basin it is obvious, that subsidence of points is not the same, but differs with regard to size of undermining its effective area. That is why accuracy in measurements of undermining influence at the points of observation station may not be determined based on values for expected subsidence. To calculate measurement accuracy we would choose a formula, being based on critical value of the shift. Relation for maximum possible average error in determining subsidence would be:

$$m_p \leq \pm \frac{1}{5} p_k \quad (7)$$

As critical subsidence value was entered 40 mm (notice of the District mining Office board in Ostrava, reference No. 5273/1996), which designates the boundaries of the area affected with undermining:

$$m_p \leq \pm 8 \text{ mm}$$

For measuring at the observation station has been chosen the precise leveling method, connected with the leveling point *Gde 9.1*, situated at the area not undermined, situated at the distance of 3 km from observation station. Analyzing the measurement accuracy the average kilometric error we calculated $m_0 = \pm 2.5 \text{ mm}$ and it was applied for calculating the average error at the spot level of the observation station:

$$\begin{aligned} m_{v_{PS}} &= \pm m_0 \cdot \sqrt{R} \\ m_{v_{PS}} &= \pm 4,3 \text{ mm} \end{aligned} \quad (8)$$

And calculation of the average error in determining the subsidence:

$$\begin{aligned} m_p &= \pm m_{v_{PS}} \cdot \sqrt{2} \\ m_p &= \pm 6,1 \text{ mm} < 8 \text{ mm} \end{aligned} \quad (9)$$

From the calculation ensues, that precise leveling with keeping the criteria of accuracy as per meets requirements [5].

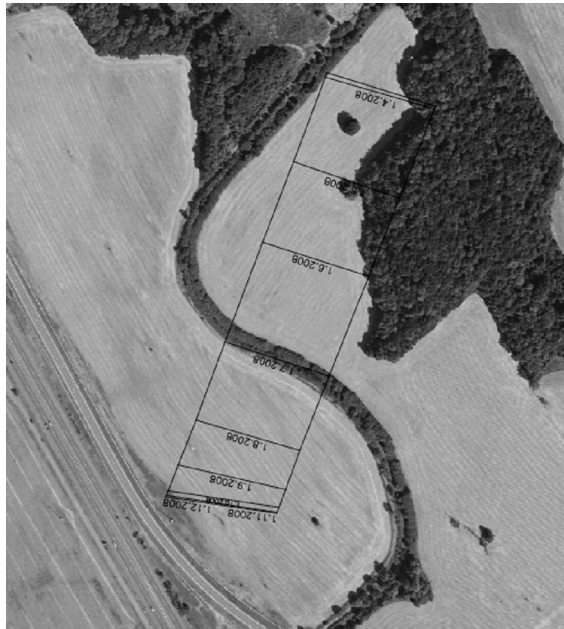
Survey works took place depending on mining the working face 063 541, which started in March 2008 and was completed in November 2008. Due to

w listopadzie 2008 roku. Ze względu na zaburzenia tektoniczne nie został eksploatowany cały obszar zaprojektowanego przodku wybierkowego (Rys. 5).

Pomiary zostały wykonane przed rozpoczęciem wybierania, które miało miejsce 03.02.2008, podczas wydobywania 27.07.2008 i 06.12.2008, jak też po zakończeniu 05.07.2009.

a fault the whole area of designed working face was not undermined (Fig. 5).

Measurement took place before start of mining on 03.02.2008, during the mining on 27.07.2008, and on 06.12.2008. and after completion on 05.07.2009.



Rys. 5
Postęp przodku wybierkowego

Fig. 5
Coal face step

Rezultaty pomiarów

Wartości namierzone na niwelatorze Na 3003 zostały przetworzone w programach NIVEL i MS Office Excel. W celu obliczenia osiadania punktów stacji obserwacyjnej został zastosowany program SUBSCH. Z tym celem przeprowadzono także położeniowe pomiary stacji obserwacyjnej przy pomocy tachimetru elektronicznego TCR 307 firmy Leica, z przetwarzaniem danych w programie GROMA.

Wstępne pliki dla programu przedstawiły dane górotworu (średni kąt graniczny wpływu: $\mu = 58,6^\circ$, parametry funkcji czasowej: trwanie częściowego osiadania 12 miesięcy), dane eksploatowanego przodku wybierkowego (grubość pokładu, układ współrzędnych punktów łamania, postęp przodku wybierkowego, wysokość przodku wybierkowego, nachylenie pokładu, współczynnik urabiania) i dane powierzchni (układ współrzędnych stacji obserwacyjnej).

W programie SUBSCH przeprowadzono dynamiczne obliczenie osiadań punktów stacji obserwacyjnej na dzień 05.07.2009 (na dzień ostatniego wykonywania pomiarów na stacji obserwacyjnej). Dla obliczeń zastosowano współczynnik urabiania 0,9 (system wybierania ścianowego z kontrolowanym zawalem).

Measurement Results

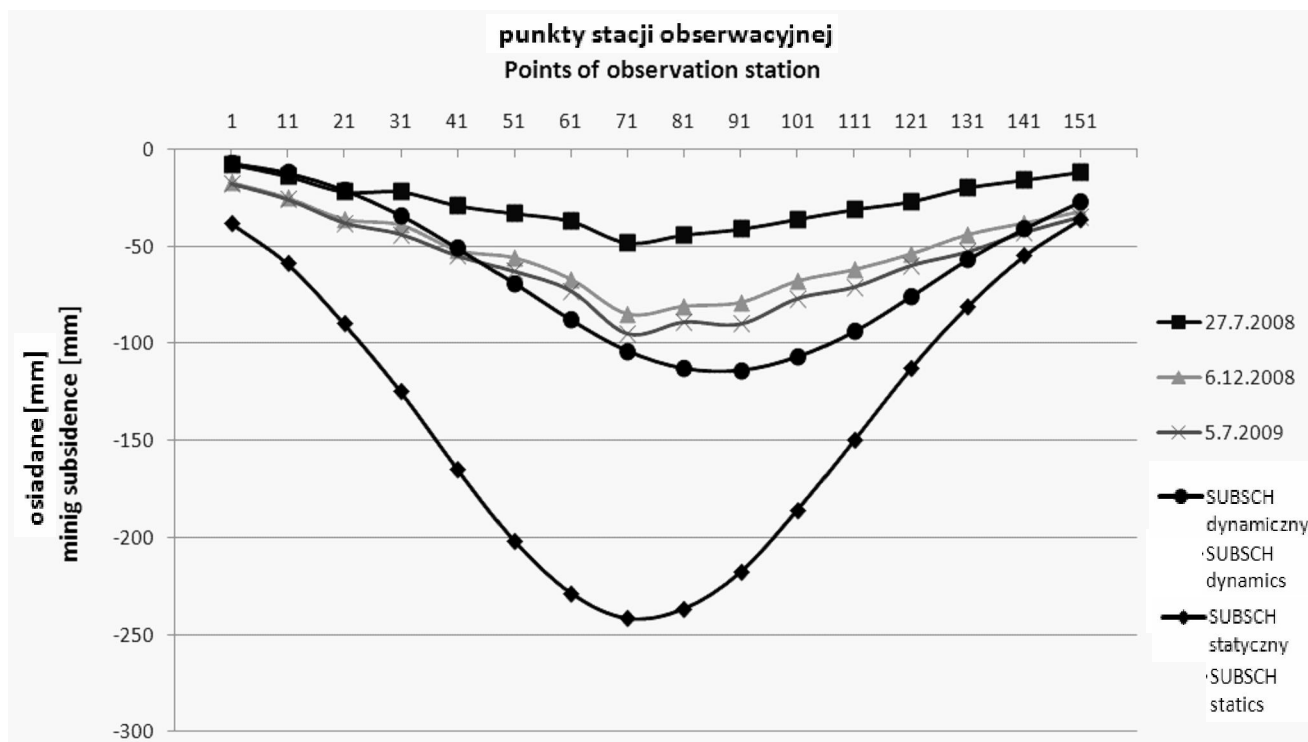
Values measured by level instrument Na 3003 were processed in software NIVEL and Excel of MS Office. To calculate subsidence points of the observation station were used a calculation executed in SUBSCH software. For this purpose also position measurement of the points of the observation station was done using TCR 307 total-station instrument made by Leica, data were processed in GROMA software.

Input files for the software SUBSCH were created by data of the next rock surroundings (average mining boundary angle: $\mu = 58,6^\circ$, parameters of time function: duration of a partial subsidence 12 months), data from undermined working face (thickness of seam, coordinates for fault points, coal face step, height of the working face, seam inclination, mining method coefficient), and surface data (coordinates of observation station points).

Dynamic calculation of the observation station subsidence points in SUBSCH software was done on the day of 05.07.2009 (date of last stage of measurements done at the observation station). Mining method coefficient of 0.9 (controlled caving fall) was used for the calculation.

Rzeczywisty rozwój osiadań został przetworzony do tabel i grafów dla poszczególnych profili wzdłużnych stacji obserwacyjnej. Rysunek 6 przedstawia przykład wzdłużnego profilu stacji obserwacyjnej.

Development of the subsidence has been processed in tables and depicted graphically for particular longitudinal sections of the observation station. Single longitudinal section of the observation station is shown on Fig. 6.



Rys. 6
Obliczenie osiadań punktów na stacji obserwacyjnej

Fig. 6
Evaluated point subsidence at the observation station

Konkluzje

Na podstawie wykonanych pomiarów i ich obliczeń ustalono następujące doświadczenia:

Przewidywane osiadania obliczone przed rozpoczęciem prac wydobywczych nie zostały osiągnięte, bo prace w przodku wybierkowym zostały ze względu na zaburzenia geologiczne przedwcześnie zakończone. Na następnym rysunku 6 przedstawiono porównanie osiągniętych i przewidywanych osiadań i można zobaczyć, że osiągnięte osiadania, otrzymane na dzień 05.07.2009 tworzą około 40% przewidywanych osiadań.

W programie SUBSCH obliczono dynamiczny kształt niecki osiadania na dzień wykonania ostatnich pomiarów, które miały miejsce już po zakończeniu eksploatacji, lecz nie po całkowitym wygaśnięciu ruchów nadkładu. Przy porównaniu dynamicznego kształtu niecki osiadaniowej i faktycznego kształtu z pomiarów wykonanych na ten sam dzień widno różnicę w rozwoju niecki osiadania (Rys. 6). Na graficznym przetworzeniu jednego wzdłużnego profilu stacji obserwacyjnej można zobaczyć różnice w osiadaniach rzędu centymetrów (w procentach około

Conclusion

Based on performed measurements and their evaluation we have found following knowledge.

Expected subsidence as calculated before starting the undermining works were not achieved, since works within appropriate working face were terminated prematurely due to a geologic fault. Figure 6 shows comparison of achieved and expected subsidence values and we can see, that achieved subsidence values, acquired on 05.07.2009 represent ca. 40% of expected subsidence values.

In SUBSCH software was generated dynamic shape of the subsidence basin on the day of last measurement, which took place after termination of undermining works already, but not after full completion of hanging wall movements. If comparing dynamic shape of subsidence basin and actual one, measured on the same date, where we may find a difference in development of the subsidence basin (Fig.6). On graphic processing of a single longitudinal section of the observation station we can see differences in subsidence values order of centimeters (in percentage ca. 25%). Reason could be a fact, that

25%). Przyczyną może być, że przy obliczeniu dynamicznego kształtu niecki osiadaniowej nie uważano wpływu innych prac eksploatacyjnych.

Wartości osiadań na autostradzie R56 osiągnęły wielkości, które nie miały na nawierzchnię drogi żadnego znaczącego wpływu. Nawierzchnia obniżyła się w obu kierunkach równomiernie w przewidywanym kształcie bez widocznych anomalii i występowania na nawierzchni drogowej, ruch drogowy na nawierzchni nie został w żaden sposób zagrożony.

Publikacja jest częścią projektu dotację SGS SP2012/148 „Geodezyjne i geofizyczne monitorowanie zmian monitoring w fizycznych cech środowiska geologicznego w obszarach niecki osiadań”.

for calculation of subsidence basin dynamic shape, effect of other undermining works in this area was not taken into account.

Subsidence values for R56 highway achieved values, which had none considerable influence on the highway roadway. Roadway went down in both directions uniformly, achieving expected shape, without visible anomalies and manifestations on the roadway, roadway traffic was not endangered anyway.

The publication is part of the grant project SGS SP2012/148 “Geodetic and geophysical monitoring of monitoring changes in physical characteristics of the geological environment in the areas of subsidence troughs”.

Literatura – References

- 1 ČSN 760405 *Měření posunů stavebních objektů, Praha 1997 (Pomiar przesunięć obiektów budowlanych)*
- 2 Jiráňková E.: *Assessment of rigid overlying strata failure in face mining. Central European Journal of Geosciences, Volume 2, Issue 4, 1 December 2010, Pages 524-530, ISSN 1896-1517*
- 3 Kovanič L., Matouš J., Mučka A.: *Důlní měřictví. SNTL, Praha 1990, ISBN 80-03-00229-X (Miernictwo górnicze)*
- 4 Mesároš M.: *Riadenie bezpečnostných systémov. Vysoká škola bezpečnostného manažérstva v Košiciach, Košice 2009, ISBN 978-80-89282-37-1 (Sterowanie układów bezpieczeństwa)*
- 5 Neset K.: *Vlivy poddolování (Důlní měřictví IV). SNTL, Praha 1984 (Wpływy podebrania)*
- 6 Schenk J.: *Měření pohybů a deformací v poklesové kotlině. VŠB – TU Ostrava, 2006, ISBN 80-248-1059-X (Pomiar przesunięć i deformacji w niecce osiadania)*
- 7 Schenk J.: *Metodika výpočtů vlivů poddolování na počítači. VŠB – TU Ostrava, 2004, ISBN 80-248-0707-6 (Metodyka obliczeń wpływów podebrania na komputerze)*
- 8 Schenk J.: *Časový faktor důležitý prvek při zkoumání dynamiky vývoje poklesové kotliny. VŠB-TU Ostrava, 1997, ISBN 80-7078-507-1 (Factor czasowy – poważny element przy badaniu rozwoju niecki osiadania)*
- 9 Cała M., Kowalski M., Betlej M.: *Application of “automatic rezoning” in FLAC V 6.0 code for analysis of slope failure process, Górnictwo i Geoinżynieria, 2009, R 33, z. 1, str. 85–94*