

JACEK SZEWCZYK*

Kopalnia Soli „Wieliczka” – 80 lat obserwacji deformacji pogórnich

Wprowadzenie

W 1926 r. rozpoczęto pierwsze systematyczne pomiary przemieszczeń powierzchni terenu w rejonie zakończonej w 1993 r. eksploatacji soli kamiennej w Wieliczce. W 2006 r. minęło więc 80 lat od podjęcia tych obserwacji. Zebrany bogaty materiał obserwacyjny był przedmiotem kilku opracowań, wykonywanych w różnych okresach czasu (m.in. Maciaszek i in. 1993; Maciaszek 1995; Kortas i in. 2005; Kortas 2007). Przedstawiano w nich zarówno metodykę pomiaru, rozwój sieci obserwacyjnej, wielkości deformacji powierzchni i górotworu, jak i interpretację przemieszczeń łącznie z próbami modelowania ich rozkładów (Kortas 2007). Opracowania te dotyczyły wcześniejszych okresów obserwacji lub ograniczały się do omówienia części ich rezultatów (np. tylko przemieszczeń powierzchni, Kortas 2007). Niżej przedstawiono wyniki badań deformacji zarówno powierzchni, jak i górotworu (choć ze względu na szczupłość miejsca pominięto niektóre rezultaty).

Wskutek wielowiekowego wydobycia soli powstało w górotworze wielickim około 2300 komór (Kortas 2007) i około 300 km wyrobisk korytarzowych, o łącznej objętości około 7,5 mln m³. Samozaciskanie się tych pustek jest przyczyną występowania na powierzchni terenu deformacji, przejawiających się przede wszystkim w postaci niecki obniżeniowej o znacznych rozmiarach przestrzennych. Deformacje powierzchni terenu oraz górotworu stwarzają zagrożenie zarówno dla obiektów powierzchniowych (zabudowy miejskiej), jak i dla obiektów kopalnianych, zwłaszcza dla zabytkowej części kopalni. Szczególne niebezpieczeństwo stanowią zapadliska powierzchni terenu, powstałe wskutek zawalenia się komór poeksploatacyjnych lub wskutek sufozji wodnej. Stwarza to konieczność – pomimo zakończenia

* Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH, Kraków; e-mail: jszewczy@agh.edu.pl

eksploatacji – stałego prowadzenia obserwacji nad zachowaniem się górotworu i powierzchni w celu ochrony tej najsłynniejszej z polskich kopalń. Dodatkowe zagrożenia mogą wiązać się z istnieniem na zachodnim krańcu obszaru górniczego kopalni (w rejonie otworowego wydobycia soli przez kopalnię „Barycz”) wysypiska śmieci komunalnych miasta Krakowa, umiejscowionego w poeksploatacyjnej niecce obniżeniowej o nieznanym, lecz z pewnością bardzo dużym, rozmiarach. Wysypisko to wywiera niedostatecznie zbadany wpływ na morfologię terenu oraz na stosunki wodne.

W rejonie Wieliczki przejawiają się następujące procesy, powodujące zmiany morfologii powierzchni terenu:

- długookresowe ruchy tektoniczne, związane z tektoniką płyt, dekompresją postglacjalną, lokalną tektoniką Karpat oraz ze szczególnym usytuowaniem złoża solnego na obrzeżu gór; wielkość tych niewielkich ruchów była przedmiotem badań (Kortas i in. 2005),
- ruchy technogenne, związane z eksploatacją górniczą i procesem zaciskania wyrobisk kopalnianych,
- ruchy osuwiskowe o charakterze naturalnym, częściowo inspirowane zmianami technogennymi,
- ruchy zachodzące wskutek zmian stosunków wodnych w górotworze, w tym wskutek sufozji wodnej.

Skomplikowany układ wyrobisk i różnorodność budowy geologicznej utrudniają stosowanie standardowych metod analizy procesu deformacji, dokonywanej w celu opracowania sposobów prognozowania przemieszczeń i odkształceń w górotworze i na powierzchni. W związku z tym zachodziła konieczność wypracowania metod, możliwych do zastosowania w rozpatrywanym przypadku. Skala zagrożeń stanowiła inspirację do podjęcia szeregu badań, prowadzonych w różnych zakresach. Należą do nich przede wszystkim badania górnicze, geologiczne, geofizyczne i geodezyjne, a także badania z zakresu ochrony i inżynierii środowiska.

Omówione w artykule badania geodezyjne prowadzono dla realizacji kilku celów, wśród których należy przede wszystkim wymienić:

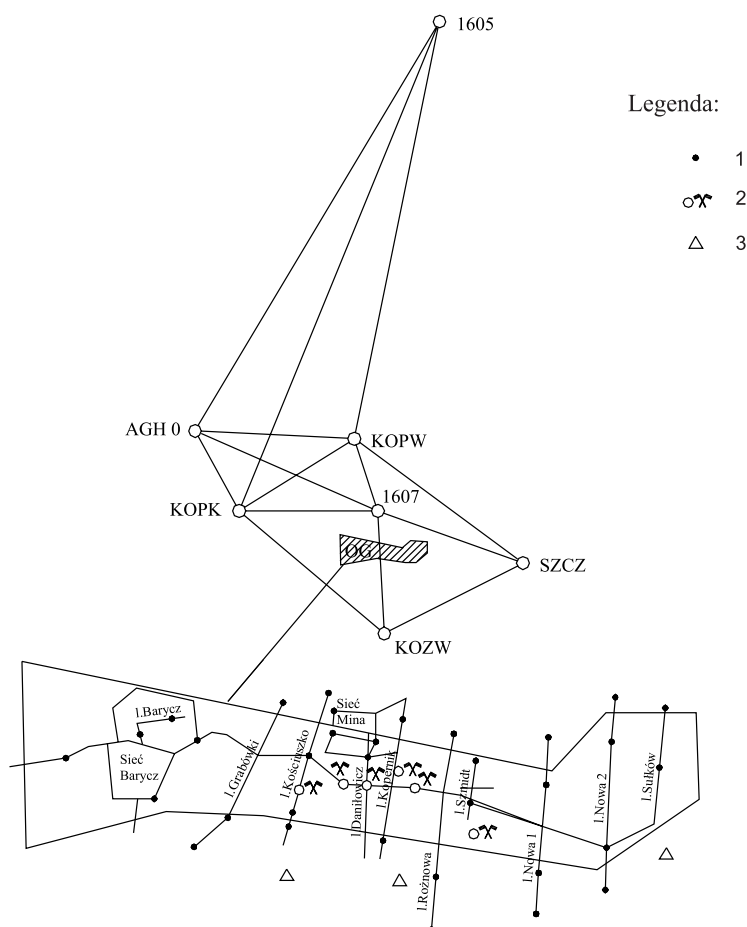
- określenie wielkości deformacji powierzchni terenu i rozkładu tych deformacji w zależności od położenia zaciskanych wyrobisk,
- wykonanie klasyfikacji terenu górniczego pod względem wielkości deformacji, co stanowi podstawę do opracowywania planów zagospodarowania,
- określenie stanu deformacji wyrobisk kopalni, w tym wyrobisk zabytkowych, dla stwierdzenia stanu ich bezpieczeństwa oraz zaplanowania działań profilaktycznych i zabezpieczających,
- kontrolę i weryfikację rezultatów działań profilaktycznych i zabezpieczających (zwłaszcza wpływu podsadzania wyrobisk na stan deformacji górotworu i powierzchni terenu),
- postawienie hipotez i konstrukcję modeli procesów, zachodzących w górotworze wskutek zaciskania wyrobisk, a także weryfikację tych modeli,

- rozdzielenie wpływu poszczególnych procesów deformacyjnych na powierzchni terenu (zaciskania wyrobisk, osuwisk, wycieków wodnych i sufozji),
- określenie wpływu wycieków wodnych na stan deformacji powierzchni i opracowanie modelu procesów, zachodzących w trakcie wycieków (w tym procesów sufozyjnych),
- określenie stanu zboczy wzgórz wokół doliny wielickiej pod kątem zagrożenia osuwiskowego i stwierdzenie istnienia lub braku związku między działalnością górniczą a osuwiskami,
- opracowanie podkładów kartograficznych dla oceny stanu środowiska (ze szczególnym uwzględnieniem rejonu Baryczy) i zebranie podstawowych danych dla tej oceny,
- określenie wielkości i rozkładu ruchów geodynamicznych, związanych z orogenezą karpacką i ich wpływu na procesy geologiczno-górnice górotworu wielickiego.

1. Dotychczasowe obserwacje deformacji powierzchni terenu Wieliczki

Jak wspomniano, pierwszą sieć znaków wysokościowych (zastabilizowanych jako punkty ziemne i ścienne), przeznaczoną do obserwacji ruchów powierzchni terenu, założono na terenie Wieliczki w drugiej połowie lat dwudziestych minionego stulecia (poczynając od 1926 r.). Wówczas także podjęto okresowe obserwacje geodezyjne, mające na celu określenie wielkości obniżeń powierzchni terenu, a nieco później – także obniżeń w wyrobiskach kopalnianych. Ograniczoną początkowo do kilkudziesięciu punktów sieć rozbudowywano stopniowo, rozszerzając jej zasięg i zarazem zagęszczając ją, szczególnie w latach pięćdziesiątych, sześćdziesiątych i osiemdziesiątych, aż do pokrycia całego obszaru górniczego wraz z terenami przyległymi.

W związku z narastaniem problemu deformacji powierzchni terenu nad wyrobiskami kopalni oraz z wystąpieniem szybkich zmian morfologicznych nad miejscem wycieku wody do poprzeczni „Mina” przystąpiono na początku lat dziewięćdziesiątych (1991–1992) do kolejnej rozbudowy sieci. W miejsce zniszczonych w dużym stopniu starych linii obserwacyjnych założono osiem nowych linii o przebiegu zbliżonym do południkowego, sięgających krańcowymi punktami poza zasięg wpływów eksploatacji; były to linie (w kolejności od zachodu na wschód): „Barycz”, „Grabówki”, „Kościeszko”, „Daniłowicz”, „Kopernik”, „Rożnowa”, „Szmidt” i „Sułków” (rys. 1). Linie te liczyły ogółem 350 punktów ziemnych. W 1995 r. założono linię równoleżnikową, łączącą dotychczasowe linie południkowe w ich części środkowej, a także dwie dodatkowe linie południkowe na wschodzie obszaru górniczego. Nadto w 1992 r. specjalną siecią punktów, liczącą 320 reperów ziemnych, objęto rejon wydobywania otworowego soli „Barycz” wraz z wysypiskiem śmieci komunalnych. W latach 1992–1993, w związku z katastrofalnym w skutkach wypływem wody do poprzeczni „Mina” założono sieć punktów ziemnych i ściennych, obejmującą cały obszar deformacji powstałych wskutek sufozji wodnej (towarzyszącej wypływowi). Sieć „Mina”,



Rys. 1. Schemat położenia sieci i linii obserwacyjnych na terenie Wieliczki
 1 – punkty GPS dla nawiązania linii obserwacyjnych, 2 – punkty GPS przy szybach kopalnianych,
 3 – punkty wiekowe

Fig. 1. Sketch of the network and observation lines in the area of Wieliczka
 1 – GPS resistance points, 2 – GPS points near the mine shafts; 3 – age points

liczącą początkowo 60 punktów, rozbudowano do 500 reperów, położonych w centrum zabudowy miejskiej (Maciaszek 1996; Maciaszek i in. 1994). Obecnie w skład sieci wysokościowej wchodzi blisko 1000 reperów ziemnych i ściennych (Maciaszek 1996).

Sieć reperów powierzchniowych obserwowano od lat sześćdziesiątych w odstępach dwu- lub trzyletnich, wyznaczając ich wysokości w układzie kronsztadzkiem; umożliwia to określanie obniżenia punktów w stosunkowo długim okresie czasu. Jednak wskutek zniszczeń punktów tylko dla kilkunastu z nich istnieje ciągłość pomiarów od 1926 r. Od 1992 r. obserwowano systematycznie także wysokości punktów linii obserwacyjnych oraz sieci „Barycz” (w odstępach jedno- lub dwurocznych, potem pięciorocznych). Wysokości punktów sieci „Mina” wyznaczano z dużą częstotliwością w latach 1992–1993 (w odstępach

początkowo kilkudniowych, potem jedno- lub dwumiesięcznych), a w miarę zanikania ruchów powierzchni terenu – w odstępach rocznych. Pomiary niwelacyjne wykonywano metodą niwelacji precyzyjnej przy użyciu precyzyjnych łąt z taśmą inwarową i niwelatorów samopoziomujących (KoNi 007), a od 1994 r. – także niwelatora kodowego NA2000. Metoda ta zapewnia duże dokładności (średni błąd pomiaru na stanowisku w granicach od $\pm 0,15$ do $\pm 0,30$ mm, średni błąd określenia wysokości punktu od $\pm 0,5$ mm do $\pm 2,0$ mm). Wszystkie obserwacje wysokościowe nawiązywano do 1996 r. wyłącznie jednopunktowo, do reperu AA7190 położonego w Krakowie-Prokocimiu, w odległości 3,5 km na zachód od obszaru badań. Nie stosowano dowiązania wielopunktowego ze względu na znaczne błędy sieci niwelacji państwowej, zniekształcające wyrównanie sieci obserwacyjnej. Od 1996 r. oprócz nawiązania do wymienionego reperu wykorzystuje się nawiązanie do punktów sieci GPS.

Wielkość błędu średniego wysokości z wyrównania sieci wynosi przeciętnie $\pm 1,9$ mm i maksymalnie $\pm 2,1$ mm. Zgodnie z teorią błędów obserwacyjnych można przyjąć, że znaczące wielkości obniżeń wynoszą 2,5–3 wielokrotności błędu średniego, czyli w danym przypadku ± 5 mm. Mniejsze wartości obniżeń mogą wynikać z błędów pomiarowych, bądź też mogą być rezultatem wyrównania lub dokonanych zaokrągleń. W większości opracowań teoretycznych, dotyczących zasięgu obniżeń, przyjmuje się – w przypadku wykonywania niwelacji precyzyjnej – osiadania wynoszące właśnie 5 mm.

Poziomą osnowę geodezyjną oparto na punktach, założonych jeszcze na przełomie XIX i XX wieku. W 1928 r. zastabilizowano punkty triangulacji lokalnej, służące do orientacji wyrobisk górniczych kopalni; powstała wówczas sieć rozbudowano przez dodanie w 1935 r. osnowy poligonizacyjnej. Na początku lat pięćdziesiątych ponownie rozbudowano sieć triangulacyjną i poligonizacyjną; stabilizację i pomiary nowej sieci prowadziło Państwowe Przedsiębiorstwo Miernicze w Krakowie, Okręgowe Przedsiębiorstwo Miernicze w Poznaniu oraz Akademia Górniczo-Hutnicza. W latach sześćdziesiątych i osiemdziesiątych Krakowskie Okręgowe Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Kartograficzne założyło następne punkty sieci triangulacyjnej i poligonizacyjnej, obejmując osnową poziomą cały obszar górniczy kopalni soli oraz rejony przyległe. W ramach tej sieci zastabilizowano i wyznaczono współrzędne stu punktów o podwyższonej dokładności.

Współrzędne wszystkich punktów sieci wyznaczano w lokalnym układzie wielickim. Elementy tego układu, powstałego jeszcze w okresie zaboru austriackiego, nie są dokładnie znane; przypuszczalnie był to układ płaski, z odwzorowaniem na płaszczyznę. Układ ten różnił się od sąsiedniego układu współrzędnych lokalnych dla miasta Krakowa zmianą znaków osi współrzędnych, pewnym przesunięciem środka układu oraz niewielkim (zapewne przypadkowym) skróceniem osi (Banasik, Szewczyk 1996). Przeliczenie obu układów (szczególnie w miejscach ich zachodzenia na siebie w okolicach Baryczy) było możliwe przez transformację współrzędnych na podstawie punktów dostosowania.

Etapowa rozbudowa sieci, brak znajomości elementów układu współrzędnych oraz przyrost deformacji pogórnicych (nie zawsze uwzględniany przy zakładaniu kolejnego fragmentu sieci) nie pozostały bez wpływu na jakość sieci. Jak wykazały doświadczenia

praktyczne (zwłaszcza podczas pomiarów reambulacyjnych obszaru górniczego w 1994 r.), fragmenty sieci zakładane w różnych latach nie były całkowicie komplementarne ze sobą. Różnice między współrzędnymi punktów, zakładanych w różnych okresach, wynosiły do $\pm 0,2$ m, co wiązało się prawdopodobnie z błędami nawiązania lub wspomnianym wpływem przemieszczeń poziomych, powodujących zmianę położenia punktu.

Obserwacje sieci wykonywano nieregularnie, zwykle podczas zakładania nowych punktów. Do 1996 r. jedynie raz (w 1992 r.) wyznaczono współrzędne punktów linii obserwacyjnych dzięki wykonaniu pomiaru liniowo-kątowego z zastosowaniem precyzyjnych instrumentów geodezyjnych (teodolitu T2002 i dalmierza Di2002). Bardziej systematycznie wykonywano tylko obserwacje części punktów sieci „Mina” (ogółem od 1992 r. wykonano 40 serii pomiarowych). Należy mieć przy tym na uwadze, że pewna część punktów osnowy poziomej – wskutek przebudowy sieci komunikacyjnej i rozbudowy miasta – uległa dewastacji. Brak systematycznych obserwacji sieci poziomej nie pozwolił też na określenie wielkości przemieszczeń poziomych i wprowadzenie koniecznych korekt do współrzędnych punktów. Niedostatek sieci poziomej spowodował znaczne trudności z dowiązaniem pomiarów kątowo-liniowych linii obserwacyjnych, co przyczyniło się do znacznej błędności wyznaczenia współrzędnych punktów linii obserwacyjnych. Przy dużych błędach położenia sens określenia deformacji na podstawie przemieszczeń poziomych – a także celowość prowadzenia pomiarów precyzyjnych – stał pod znakiem zapytania. Rozwiązanie tego problemu stało się możliwe przez zastosowanie technologii obserwacji satelitarnych, a więc przez założenie sieci punktów GPS i przeprowadzenie ich obserwacji.

Na założoną w 1995–1996 sieć punktów oporowych GPS składają się dwa pierścienie, rozłożone wokół terenu pogórniczego kopalni (rys. 1). Punkty pierwszego pierścienia znajdują się w odległości kilku–kilkunastu kilometrów od granic obszaru pogórniczego kopalni; są to punkty I i II klasy sieci państwowej. W odległości kilkunastu km od obszaru badań założono drugi (zewnętrzny) pierścień punktów oporowych. W celu monitorowania ewentualności długoletnich zmian, wywołanych ruchami tektonicznymi lub orogenicznymi Karpat, na wzgórzach okalających dolinę wielicką od południa założono trzy tzw. punkty wiekowe, zastabilizowane w słupach betonowych o głębokości posadowienia około 10 m i chronione przed zniszczeniem specjalnymi pokrywami. Pomiar techniką satelitarną wykorzystuje się od 1995 r. do nawiązania sieci kątowo-liniowej.

2. Deformacje powierzchni terenu

Na podstawie rezultatów pomiarowych można stwierdzić, że na terenie górniczym Wieliczki zaznaczają się dwie niecki obniżeniowe. Pierwsza z nich obejmuje swym zasięgiem centralną część miasta Wieliczka, sięgając na północy ul. Brata A. Kosiby i Parku im. A. Mickiewicza, na zachodzie dochodząc do Podlesia i Grabówek, na południu – Sierczy, a na wschodzie – rejonu szybu „Wilson”. Powierzchnia niecki wynosi około $3,5 \text{ km}^2$; tworzy ona prostokąt o boku równoleżnikowym około 3,5 km oraz boku południkowym 1 km.

Jej centrum znajduje się w rejonie szybu „Kościszko”; maksymalne obniżenie w okresie lat 1970–2005 wynosi 1543 mm i występuje w odległości około 100 m na zachód od szybu; według Kortasa (2007) maksymalne obniżenie od 1960 r. wyniosło 1,95 m. Druga niecka, o znacznie mniejszych rozmiarach (1,5 km w kierunku równoleżnikowym i 0,7 km w kierunku południkowym) ma swoje centrum w Lednicy Górnej, przy ul. Gdowskiej; na zachodzie niecka ta styka się z pierwszą niecką, na wschodzie osiąga Tomaszkowice. Centrum niecki w Lednicy Górnej wykazało w latach 1970–2005 obniżenie, wynoszące maksymalnie 408 mm. Powstanie pierwszej niecki wiąże się z zaciskaniem wyrobisk centralnej części kopalni, druga niecka związana jest z zaciskaniem wyrobisk peryferyjnych, eksploatowanych metodą mokrą na poziomach IV–VI we wschodniej części kopalni.

Kształtowanie się niecek w ostatnim okresie można scharakteryzować na podstawie okresowych obniżeń (w latach 2000–2005) oraz analizy prędkości osiadań w poszczególnych rejonach powierzchni terenu. W pierwszej niecce wielkości znaczących (do 5 mm) obniżeń okresowych nie wykraczają nigdzie poza dotychczasowy jej obręb, sięgając od centrum przy szybie „Kościszko” do 1300 m na zachód, 2200 m na wschód, 300 m na północ i 500 m na południe. W dalszym ciągu ma miejsce pogłębianie niecki (pięcioletnie przyrosty obniżeń w centrum wynoszą maksymalnie 135 mm), przy czym wielkości obniżeń okresowych szybko maleją na zewnątrz tego centrum. Wokół centrum obniżeniowego zaznacza się kilka lokalnych centrów z wielkościami obniżeń do 70 mm. W rejonie Lednicy Górnej druga z niecek obniżeniowych pogłębia się z nieco mniejszą intensywnością (do 69 mm w ciągu pięciu lat, co wskazuje na zmniejszenie prędkości w porównaniu z okresem poprzednim); również i tu znaczące osiadania okresowe mieszczą się w granicach dotychczasowej niecki, a ich wielkość szybko maleje na jej brzegach.

Na podstawie prędkości obniżeń można stwierdzić, że proces obniżeń w obrębie pierwszej niecki ulega pewnemu hamowaniu (szczególnie w rejonie szybu „Kościszko”) lub pozostaje stały (w rejonie szybu „Kinga”). Wskazują na to porównania szybkości obniżeń w trzech przekrojach czasowych: 1970–2005, 1984–2005, 1996–2005 oraz 2000–2005. Dla rejonu szybu „Kościszko” odpowiednie wartości wynoszą: 44 mm/rok, 37 mm/rok, 30 mm/rok i 27 mm/rok. Odpowiednie wielkości dla szybów „Kinga” i „Daniłowicz” kształtują się następująco:

- szyb „Kinga”: 16 mm/rok, 16 mm/rok, 15 mm/rok i 18 mm/rok,
- szyb Daniłowicz: 20 mm/rok, 19 mm/rok, 17 mm/rok i 15 mm/rok.

Należy także zauważyć, że prędkość osiadania maleje w rejonie osuwiska w Sierczy, a także na północy. Można stwierdzić, że stopień zmniejszenia intensywności obniżeń jest większy na peryferiach niecki, co dowodzi zmniejszania się zasięgu oddziaływania wyrobisk na powierzchnię terenu.

Powierzchnia terenu w rejonach szybów „Regis” i „Boża Wola” obniża się wyraźnie wolniej niż rejon głównych szybów kopalnianych. Prędkość obniżeń wynosi tu około 10 mm/rok i jest w zasadzie stała. Rejon szybu „Wilson”, peryferyjnego w stosunku do centralnych wyrobisk kopalnianych, pozostaje stabilny; obniżenia powierzchni wynoszą około 1 mm/rok.

W przypadku drugiej niecki proces ten nie jest już zauważalny; prędkość obniżeń pozostaje stała (odpowiednie prędkości obniżeń wynoszą: 12 mm/rok, 13 mm/rok, 14 mm/rok, 14 mm/rok).

Rezultaty obserwacji deformacji powierzchni terenu w rejonie głównych szybów kopalnianych wskazują więc na stałe jej obniżenie (z tendencją do hamowania w rejonie szybu „Kościuszko” oraz w rejonach osuwiskowych), wynoszące w latach ostatnich poniżej 20 mm/rok wokół szybów „Kinga” i „Daniłowicz” oraz około 25 mm/rok wokół szybu „Kościuszko”.

Od 1984 r. obserwacjami obniżeń objęto również rejon składowiska śmieci komunalnych „Barycz”, pod którym prowadzono eksploatację soli metodą otworową. Obserwacje te dotyczyły w 1984 r. północnej części składowiska (nad eksploatacją); w latach 1996, 2000 i 2005 pomiarami objęto również część południową i zachodnią. Odpowiednie porównania dotyczą zatem lat 1984–2005, 1996–2005 i 2000–2005 dla północnej części rejonu oraz 1996–2005 i 2000–2005 dla pozostałych części.

Wskutek procesu zaciskania pustek poeksploatacyjnych oraz komprymacji warstw składowiska zaznaczyła się tu niecka obniżeniowa o powierzchni około 2,1 km² i wymiarach 1900 m w kierunku równoleżnikowym oraz 1600 m w kierunku południkowym (w najszerszym miejscu). W niecce zaznaczają się dwa wyraźne centra obniżeniowe: północne w rejonie eksploatacji otworowej (maksymalne obniżenie w latach 1984–2005: 1344 mm) oraz południowe w rejonie zrehabilitowanej części składowiska (obniżenie w latach 1996–2005 do 275 mm), a także dwa niewielkie centra na zachodzie, z obniżeniami dochodzącymi do 150 mm i 68 mm (dla okresu 1996–2005). Średnia prędkość obniżeń dla rejonu północnego, obliczona dla lat 1984–2005 jest znaczna i dochodzi do 64 mm/rok; w następnych okresach czasowych wyraźnie maleje – do 28 mm/rok w latach 1996–2005 i 26 mm/rok w latach 2000–2005. W rejonie południowym prędkość ta (dla okresów 1996–2005 i 2000–2005) jest zbliżona i wynosi odpowiednio 31 mm/rok oraz 35 mm/rok. W części zachodniej obserwuje się mniejsze prędkości obniżeń, w dodatku wyraźnie zmniejszające się (z 17 mm/rok w okresie lat 1996–2005 do 10 mm/rok w okresie 2000–2005). Proces obniżeń, chociaż wywołany bardziej złożonymi przyczynami, jest więc zbliżony pod względem rezultatów do obniżeń spowodowanych przede wszystkim zaciskaniem się wyrobisk podziemnych i postępuje z maksymalną prędkością wynoszącą około 30 mm/rok.

Wyniki pomiarów wysokości punktów w rejonie sieci „Mina” wykonanych w latach 2002–2005 wskazują, że obniżenia występują w rejonie torów kolejowych oraz na południe od nich; średnie roczne wielkości tych obniżeń dochodziły w okresie 2002–2004 do 32 mm rocznie (punkt S-44). Pozostałe punkty rejonu wykazywały w latach 2002–2004 obniżenia w granicach 10–25 mm. Obszar położony na południe od ul. Dembowskiego charakteryzuje zauważalny wpływ procesu zaciskania wyrobisk kopalni wokół szybów „Kinga” i „Daniłowicz”. Obniżenia okresowe (roczne) osiągają 10–18 mm w rejonie szybu „Daniłowicz”, co stanowi wielkość zbliżoną do średniorocznego osiadania tego szybu w ostatnim okresie. Na północ od rejonu szybów obniżenia okresowe reperów stopniowo maleją, do 3–17 mm w rejonie ulicy Dembowskiego i na północ od niej. Natomiast w rejonie wycieku wody do

poprzeczni „Mina” i na północ od niego do linii torów utrzymuje się niecka obniżeń okresowych; na północy niecka ta sięga pierwszej linii punktów poza torami. Centrum niecki wykazuje obniżenia okresowe do 79 mm. Okresowe obniżenia i wypiętrzenia, zanotowane w punktach położonych na północ od torów są w granicach błędów obserwacji, a rejon ten nie wykazuje praktycznie żadnych deformacji.

W chwili obecnej niecka sufozyjna objęła swym zasięgiem obszar około 7 ha. Kształt niecki jest nieregularny: jest ona wydłużona z północy na południe w kierunku miejsca wycieku w chodniku „Mina”. Maksymalne obniżenia całkowite występują, jak dotychczas, w punkcie S-5 (obecnie zniszczony) i wynoszą około 2420 mm (wielkość tę, wobec zniszczenia punktu otrzymano drogą ekstrapolacji). Punkty wykazujące znaczne obniżenia znajdują się w ogrodzie przyklasztornym (na południe od zabudowań klasztornych), na pobliskim odcinku torów kolejowych oraz na łące, położonej na południe od torów kolejowych. Obszar znacznych deformacji obejmuje wspomnianą łąkę aż do miejsca wystąpienia wycieku do chodnika „Mina” (blisko ul. Dembowskiego), łąkę na wschód od klasztoru oraz południowy skraj zabudowań klasztornych. Wpływy deformacji sięgają dalej na wschód i południe, łącząc się z wpływami zaciskania wyrobisk górniczych kopalni.

Nie zaobserwowano dotychczas negatywnych skutków remontu torowiska oraz ruchu pociągów na trasie Wieliczka – Wieliczka Rynek.

Dla określenia warunków zachowania obiektów na powierzchni terenu istotną rolę – obok obniżeń – odgrywają ich pochodne: nachylenia brzegów niecki oraz krzywizny. W celu określenia wielkości tych wskaźników deformacji dokonano analizy dwóch przekrojów niecki, w kierunkach największych deformacji, zbliżonych do linii północ-południe i wschód-zachód. W przekrojach tych obliczono wartości nachyleń i krzywizn pomiędzy poszczególnymi punktami sieci obserwacyjnej. Na terenie niecki sufozyjnej wystąpiły znaczne deformacje powierzchni, charakteryzowane przez nachylenia, sięgające 36,7 mm/m i 34,8 mm/m oraz krzywizny, wynoszące do $0,57 \text{ km}^{-1}$ (promień krzywizny 1,75 km) w kierunku równoleżnikowym i $0,46 \text{ km}^{-1}$ (promień krzywizny 2,17 km) w kierunku południkowym. Deformacje powierzchni terenu, wywołane sufozją w rejonie wycieku wody do chodnika „Mina”, były więc równoznaczne z deformacjami dla V kategorii zagrożenia terenu. Zmiana nachylenia zbocza dochodziła do 31,7–36,7 mm/m, co stanowi przeszło jedną trzecią wartości naturalnego nachylenia terenu. Tak duża i szybka zmiana nachylenia zbocza, posiadającego przy tym tendencje osuwiskowe, musiała uruchomić proces osuwiskowy. Jego przejawem były szczeliny i obrywy gruntu, występujące zwłaszcza w górnej partii zbocza. Na końcowy obraz ruchu powierzchni złożyło się więc skokowe tworzenie niecki zapadliskowej oraz skokowa zmiana nachylenia zbocza, uruchamiająca proces osuwiskowy, z wystąpieniem szczelin i obrywów gruntu o znacznej głębokości i rozwarciu. Przedstawiony obraz ruchu punktów powierzchni – porównany z ruchem, wynikającym z zaciskania wyrobisk górniczych – pozwala na zakwalifikowanie deformacji powierzchni wywołanych sufozją do kategorii deformacji nieciągłych, których wielkości oraz przebiegu nie można prognozować. Należy wszakże zauważyć, że od 1996 r. następują już tylko niewielkie ruchy powierzchni i odkształcenia poziome o wielkości do około 1‰ (uwzględ-

niając w tym także okresowe osiadania i odkształcenia po likwidacji otworów), co wskazuje na uspokojenie się procesu sufozji.

Dotychczasowe badania potwierdziły w całości hipotezę sufozji jako przyczyny deformacji w rejonie klasztoru. Przesłanki, określane jako niezbędne dla określenia procesu mianem sufozji (sufozyjność gruntów, wysokie spadki hydrauliczne i ciśnienie wody, istnienie zagłębień bezodpływowych), zostały spełnione. Potwierdzeniem decydującego wpływu tego procesu na powstanie deformacji powierzchni terenu jest porównanie objętości niecki obniżeniowej z objętością części stałych, stwierdzonych w wodzie wypływającej do poprzeczni „Mina”. Na podstawie kształtu niecki obniżeniowej można określić dość wyraźnie drogę przepływu wody od północnego stoku doliny wielickiej (doliny Serafy) w stronę południowo-zachodnią (ze skruceniem na zachód) aż do ogrodu przyklasztornego, następnie skręcającą w kierunku południowym i po niewielkim odchyleniu w stronę wschodnią kierującą się do miejsca wycieku wody do chodnika „Mina”. Z kształtu niecki można również wnioskować o wielkości obszaru, z którego nastąpiło najbardziej intensywne wymywanie części stałych. Jest to rejon o kształcie, zbliżonym do prostokąta i rozmiarach około 60×110 m; jego miąższość przekracza 2 m. Głębokość tego obszaru, określona na podstawie analizy niecki i parametrów jej kształtowania się, wynosi około 50 m. W obszarze tym pojawia się okresowo podciśnienie, które staje się jednym z czynników, powodujących sufozję. Załamywanie się stropu nad pustkami, powstałymi z wymycia materiału skalnego doprowadziło do powstania niecki zapadliskowej, czemu towarzyszyły zmiany nachylenia zbocza. Istnieje przy tym bardzo dobra korelacja czasowa między intensywnością wycieku a wystąpieniem obniżeń powierzchni.

Należy podkreślić, że deformacje wynikające z sufozji mają, jak zaznaczono wyżej, gwałtowny charakter, odznaczając się bardzo szybkim przebiegiem, dużą wielkością i ograniczonym zasięgiem, a więc zaliczyć je można do deformacji nieciągłych. Nieciągły charakter deformacji powierzchni dodatkowo uzasadnia stwierdzenie o płytkim zaleganiu ich przyczyny pod powierzchnią ziemi. Stwierdzenie to nie zostało jednak zweryfikowane przez prowadzone tu wiercenia, które okazały się zbyt płytkie dla rozstrzygnięcia tego problemu.

Najmniej zbadany jest wpływ ruchów osuwiskowych na powstawanie i wielkość deformacji. Ruchy osuwiskowe można identyfikować po występujących okresowo wypiętrzaniach punktów; towarzyszące im osiadania (razem tworzące ruch undulacyjny) są trudne do wyodrębnienia z tła wpływu niecki sufozyjnej. Sprawą dyskusyjną pozostaje również związek ruchów osuwiskowych z pozostałymi procesami deformacyjnymi. Wzrost tendencji do ruchu osuwiskowego niewątpliwie można wiązać ze zmianą nachylenia powierzchni. Natomiast badania nad wpływem zmian stosunków wodnych, znaczeniem ruchów górotwórczych, występowaniem kurzawek, dają niejednoznaczne rezultaty. Intensywność i formy ruchów zboczowych zależą przy tym od lokalnych czynników morfologicznych, geologicznych i klimatycznych, nakładających się na siebie i zmiennych w czasie, co znacznie utrudnia ich prognozowanie i interpretację. Czynnikiem sprzyjającym powstawaniu osuwisk jest budowa geologiczna, stwarzająca możliwość powstawania płaszczyzn słabo przepusz-

czalnej zwietrzliny o niewielkim oporze tarcia wewnętrznego oraz zatrzymywania się wód opadowych na małej głębokości pod powierzchnią, na nieprzepuszczalnym podłożu ilastym. W związku z tym utwory zwietrzelinowe są przez długie okresy czasu (nawet stale) nasiąknięte wodą, co powiększa ich ciężar, pogarsza właściwości mechaniczne i umożliwia spływ lub pełzanie nawet przy niewielkich zmianach nachylenia zboczy. Należy przy tym zaznaczyć, że w ostatnim okresie nie obserwuje się zmian nachylenia zboczy na terenach zabudowanych.

3. Deformacje górotworu

Badania deformacji górotworu oparto na rezultatach obserwacji, w skład których wchodzi:

- przeniesienie rzędnych wysokościowych z reperów przyszybowych szybów „Daniłowicz” i „Kinga” (a do 1996 r. także szybów „Kościuszko”, „Regis”, „Boża Wola” i „Wilson”) na punkty utrwalone przy podszybiach poziomów kopalni przy zastosowaniu taśmy głębinowej,
- pomiary wysokościowe punktów, zastabilizowanych w wyrobiskach centralnej części wszystkich dostępnych poziomów kopalni, w rejonie sanatorium na poziomie V, w rejonach wycieków wody do komory „Przanowski” i do chodnika „Mina”,
- obserwacje wysokościowe punktów w komorze „Fornalska 2” dla scharakteryzowania ruchu komory i tamy zamykającej wyciek wodny,
- pomiar wysokości punktów na tamie, zamykającej wyciek wodny do chodnika „Mina” w celu określania ruchów tamy.

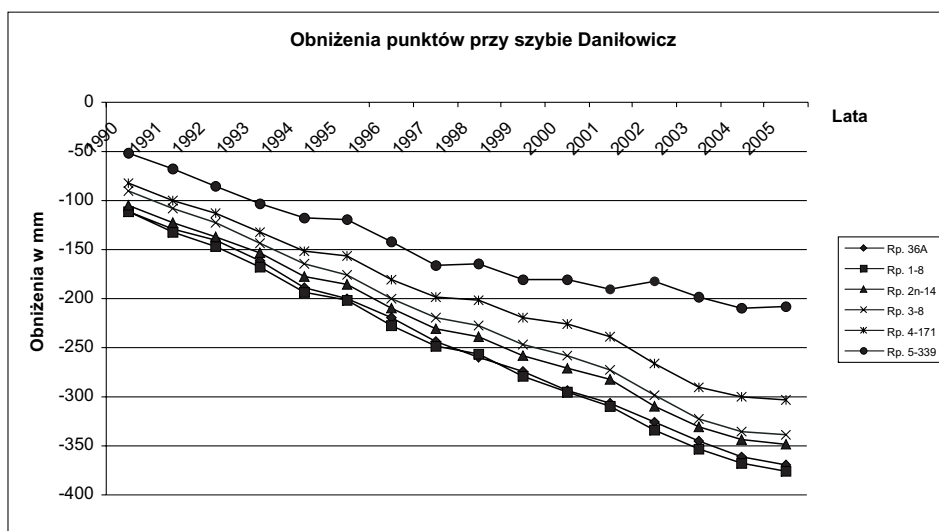
Na podstawie wyników obserwacji określono:

- przemieszczenia pionowe punktów w szybach „Daniłowicz” i „Kinga”,
- odkształcenia pionowe w szybach „Daniłowicz” i „Kinga”,
- obniżenia reperów na poziomach kopalni,
- odkształcenia tam w komorze „Fornalska” oraz w chodniku „Mina”.

Obserwacje pionowego ruchu punktów w strefie szybu „Daniłowicz” (rys. 2) wskazują, że:

- Ruch pionowy w tej strefie wykazuje stabilność w długim okresie czasu. Z jednakową, największą średnioroczną szybkością 17–19 mm/rok osiada powierzchnia i poziomy: pierwszy, drugi wyższy, drugi niższy i trzeci, a w ostatnim okresie także czwarty.
- Między poziomem czwartym i piątym następuje niewielkie zahamowanie osiadań strefy przyszybowej do wielkości około 10 mm/rok.
- W ostatnim czasie występuje przyspieszenie zaciskania górotworu między poziomem czwartym a piątym.
- Główną przyczyną osiadania punktów jest zaciskanie się komór rozległej obszarowo eksploatacji modularnej, rozciągającej się pod strefą szybu „Daniłowicz”.

Analizując dane, obejmujące ostatnie piętnaście lat obserwacji (tab. 1), należy stwierdzić, że ogólny stan deformacji wykazuje stabilność (z tendencją do stopniowego wzrostu



Rys. 2. Obniżenia punktów przy szybie „Daniłowicz”

Fig. 2. Subsidences of points near the mine shaft „Daniłowicz”

TABELA 1

Odształcenia pionowe w strefie szybu „Daniłowicz” w latach 1990–2005

TABLE 1

Vertical deformations in the zone of the mine shaft „Daniłowicz” in 1990–2005

Poziom	Reper	Odształcenia pionowe [‰]										
		1990	1995	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Pow.	36a	-0,02	+0,03	+0,08	-0,05	+0,10	+0,26	+0,03	+0,13	+0,14	-0,10	+0,10
Poz. I	1-8	-0,13	-0,35	-0,37	-0,39	-0,46	-0,52	-0,56	-0,52	-0,50	-0,50	-0,57
Poz. IIa	2n-14	-0,59	-0,43	-0,47	-0,43	-0,47	-0,51	-0,43	-0,47	-0,31	-0,35	-0,43
Poz. III	3-8	-0,18	-0,46	-0,53	-0,63	-0,69	-0,81	-0,86	-0,81	-0,84	-0,89	-0,86
Poz. IV	4-171	-0,69	-0,80	-0,69	-1,24	-1,31	-1,51	-1,84	-2,77	-3,04	-3,04	-3,21
Poz. V	5-339											

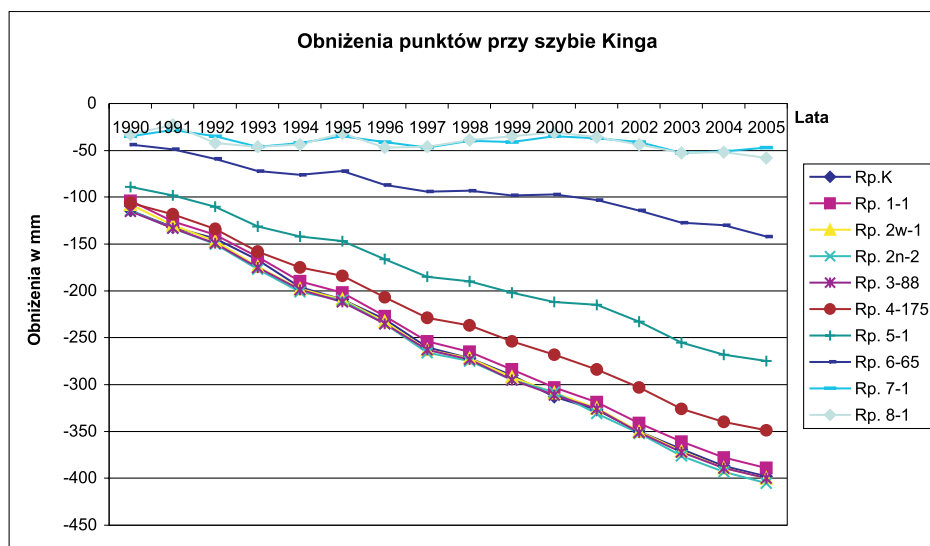
odkształceń pionowych, zarówno ściskających, jak i rozciągających, w miarę upływu czasu). Ogólny trend w charakterze i wielkości pionowego ruchu górotworu ujawnia się bardziej wyraziście w przypadku dłuższych okresów prowadzenia obserwacji. W sytuacji bowiem górotworu półplastycznego, jakim jest górotwór wielicki, procesy deformacyjne przebiegają

wolno, a bezwzględne wielkości przemieszczeń są bardzo małe. Wnioski można więc precyzować tylko na podstawie rezultatów długotrwałych obserwacji, operując uśrednieniami i omijając w ten sposób nieuniknione odchyłki przypadkowe, wynikające tak z dokładności obserwacji, jak i ze stochastycznego charakteru samego procesu.

W strefie szybu „Daniłowicz”, dla pakietu poziomów od powierzchni do poziomu piątego włącznie, można przyjąć stosunkowo stabilne położenie poziomów względem siebie. Oznacza to, iż pakiet ten osiada mniej więcej równomiernie. Obserwuje się jednak stopniowe narastanie odkształceń ściskających od poziomu pierwszego do piątego, od $-0,57\%$ między poziomem pierwszym i drugim niższym, do $-3,21\%$ pomiędzy poziomem czwartym i piątym. Natomiast w ostatnim czasie (lata 2000–2005) występują niewielkie przyrosty odkształceń rozciągających (do $0,08\%$) pomiędzy poziomem drugim niższym a trzecim (z wyjątkiem lat 2003–2004, w których zaobserwowano niewielkie odkształcenia ściskające). Przyrosty odkształceń ściskających występują przede wszystkim między poziomami czwartym a piątym. Średnioroczne przyrosty odkształceń są niewielkie – maksymalnie osiągają $-0,16\%/rok$ między poziomem czwartym a piątym; pozostałe zmiany wahają się między $0,005\%/rok$ a $0,04\%/rok$. Taki rozkład odkształceń wynika z faktu usytuowania na poziomie szóstym pod szybem „Daniłowicz” dużego kompleksu modularnej eksploatacji komorowej. Zaciskanie się tych wyrobisk powoduje w miarę równomierne osiadanie powierzchni i wszystkich nadległych poziomów.

Ruch pionowy w strefie szybu „Kinga” (rys. 3) charakteryzują następujące elementy:

- Powierzchnia, poziom pierwszy, poziomy drugi wyższy i drugi niższy oraz poziom trzeci osiadają z jednakową prędkością, największą w rozpatrywanej strefie i wynoszącą $19\text{--}20\text{ mm/rok}$.



Rys. 3. Obniżenia punktów przy szybie „Kinga”

Fig. 3. Subsidences of points near the mine shaft „Kinga”

- Od poziomu czwartego następuje hamowanie prędkości osiadań, kończące się na poziomie szóstym.
- W latach 2000–2005 nastąpiło przyspieszenie ruchu górotworu między poziomem czwartym a piątym; w związku z tym prędkość obniżenia poziomu czwartego w rejonie szybu zrównała się z prędkościami obniżeń poziomów wyżej leżących.
- Poziomy siódmy i ósmy są praktycznie nieruchome (osiadanie średnioroczne nie przekracza tu 3 mm).

W strefie szybu „Kinga” (tab. 2) obserwuje się stabilność ruchu w głównych zarysach oraz niewielkie różnice w bezwzględnych wartościach odkształceń. Po rozciąganiach o nieznacznej wielkości między poziomem pierwszym a drugim niższym (do +0,26‰) zaczynają

TABELA 2

Odształcenia pionowe w strefie szybu „Kinga” [‰]

TABLE 2

Vertical deformations in the zone of the mine shaft „Kinga” in 1990–2005

Poziom	Reper	Odształcenia pionowe [‰]										
		1990 r.	1995 r.	1997 r.	1998 r.	1999 r.	2000 r.	2001 r.	2002 r.	2003 r.	2004 r.	2005 r.
Pow.	Kinga	-0,17	-0,12	-0,10	-0,12	-0,10	-0,17	-0,14	-0,14	-0,12	-0,14	-0,16
Poz. I	1-1	+0,15	+0,26	+0,30	+0,26	+0,30	+0,23	+0,23	+0,31	+0,34	+0,38	+0,41
Poz. II w.	2w-1	+0,31	+0,05	+0,21	+0,16	+0,31	-0,10	+0,47	+0,26	+0,42	+0,37	+0,26
Poz. II n.	2n-2s	+0,03	+0,08	-0,12	-0,12	-0,12	0,00	-0,31	-0,16	-0,27	-0,27	-0,19
Poz. III	3-88	-0,22	-0,69	-0,84	-0,84	-1,01	-1,11	-1,08	-1,23	-1,18	-1,26	-1,26
Poz. IV	4-175	-0,60	-1,30	-1,54	-1,54	-1,82	-1,89	-2,35	-2,39	-2,42	-2,46	-2,59
Poz. V	5-1	-0,96	-2,02	-2,45	-2,45	-2,79	-3,08	-3,00	-3,19	-3,44	-3,88	-3,84
Poz. VI	6-65		-1,99	-2,53	-2,53	-3,07	-3,34	-3,55	-3,93	-4,00	-3,95	-4,57
Poz. VII	7-1											
Poz. VIII	8-1	-0,06	-0,09	+0,02	-0,03	-0,18	-0,12	-0,03	+0,09	0,00	+0,03	+0,34

występować odkształcenia ściskające, stopniowo rosnące w miarę wzrostu głębokości od $-1,26\%$ pomiędzy poziomem trzecim a czwartym i osiągające wartość maksymalną pomiędzy poziomem szóstym i siódmym; wynosi ona $-4,57\%$. Pomiedzy poziomem drugim niższym a trzecim występują – w ostatnim okresie obserwacyjnym, w latach 2000–2005 – odkształcenia pionowe ściskające, dochodzące do $-0,31\%$. W przypadku szybu „Kinga” strefa degradacji wyrobisk, mająca wpływ na osiadanie powierzchni i górnych poziomów, obejmuje wszystkie poziomy poniżej poziomu trzeciego aż do poziomu siódmego. Między poziomem siódmym i ósmym nie obserwuje się już odkształceń pionowych. W ciągu ostatniego okresu (2000–2005) przyrost odkształceń ściskających zaznaczył się szczególnie pomiędzy poziomem drugim wyższym a drugim niższym ($0,31\%$) oraz między poziomami trzecim a siódmym ($0,28-1,24\%$). Zaznaczył się również przyrost odkształceń rozciągających między poziomem siódmym a ósmym ($+0,46\%$). Niemal na wszystkich odcinkach roczny przyrost odkształceń w ostatnim okresie przewyższał średni przyrost z lat 1985–2000.

Rozkład pionowego ruchu górotworu w strefach przyszybowych łączy się z rozkładem tego ruchu w wyrobiskach, położonych wokół szybów kopalni. Zgodnie z otrzymanymi dotychczas rezultatami dla stref przyszybowych, celowe jest przeprowadzenie przy tym analizy nie tylko dla poszczególnych poziomów kopalni, lecz dla całych wydzielonych pakietów tych poziomów, obejmujących:

- poziomy wykazujące najbardziej intensywny ruch (poziomy I–III lub IV),
- poziomy, na których następuje zahamowanie ruchu (poziomy IV lub V–VI),
- poziomy praktycznie nieruchome (poziomy VII i VIII).

Łączne rozpatrzenie kompleksów poziomów stwarza także możliwość pełniejszego pokrycia i zagęszczenia obszaru rejonu obserwowanymi punktami. Eliminuje to w pewnym stopniu brak takich punktów w niektórych częściach poszczególnych poziomów, spowodowany niedostępnością wyrobisk (głównie poprzeczni) i trudnościami w stabilizacji oraz obserwowaniu dodatkowych, poza istniejącymi, punktów wysokościowych.

Pionowy ruch górotworu w wyrobiskach kopalni charakteryzowano przy pomocy średniego rocznego obniżenia, obliczonego z wieloletnich obserwacji. Zastosowanie takiego wskaźnika minimalizuje wpływ przypadkowych błędów obserwacji oraz stochastycznego charakteru procesu deformacji górotworu, a także nierównomierności czasowej momentu rozpoczęcia obserwacji w poszczególnych strefach i na poszczególnych poziomach rozpatrywanego rejonu kopalni, w miarę poszerzania zakresu badań. Do porównań wzięto lata: 1986–1995, 1986–2000, 1986–2005 oraz 2000–2005. Wobec pokrywania się obserwacji, prowadzonych na oddzielnych poziomach kopalni, można zestawzić parametry obniżenia dla następujących głównych rejonów centralnej części wyrobisk (tab. 3):

- rejonu szybu „Kinga” i obszaru na północny wschód od szybu (poziomy: drugi wyższy, „Kazanów” i czwarty),
- rejonu szybu „Daniłowicz” (poziomy: pierwszy, drugi niższy i trzeci),
- rejonu na północny wschód od szybu „Daniłowicz” (poziomy: pierwszy, drugi niższy i trzeci).

Wskaźniki osiadań w obserwowanych rejonach

The subsidence indications in the observation zones

Rejon/poziom	Średnia prędkość obniżeń [mm/rok]	Wielkość obniżeń okresowych 2000–2005 [mm]
Rejon szybu i na NE od szybu „Kinga”		
Powierzchnia	19	18
Poziom II wyższy	17	18
Poziom IV	17	19
Poziom IV – rejon „Mina”	11–16	7–8
Rejon szybu „Daniłowicz”		
Powierzchnia	19	19
Poziom I	14–16	14–17
Poziom II niższy	18	18
Poziom III	15–20	16–20
Rejon na NE od szybu „Daniłowicz”		
Powierzchnia	14	13
Poziom I	15	15
Poziom II niższy	9	12
Poziom III	15	16

Pierwszy z przedstawionych rejonów obejmuje obszar wokół szybu „Kinga” oraz wyrobiska, położone na północ i północny wschód od szybu. Deformacje w tym rejonie świadczą o sytuacji nad miejscem wycieku wody do poprzeczni „Mina” na poziomie czwartym. Średnioroczne wielkości obniżeń punktów, położonych na poziomach drugim wyższym oraz czwartym (w poprzeczni „Mina”, łącznie z tamą wodną), wskazują na stosunkowo równomierne osiadanie całego pakietu górotworu (z prędkością 10–20 mm/rok), z pewną tendencją do zmniejszania się wielkości tego osiadania w miarę wzrostu głębokości. Intensywność ruchów maleje także w miarę oddalania się od szybu w kierunku chodnika „Mina”. Jedynie repery w pobliżu szybu osiadają z większą intensywnością, szczególnie w ciągu ostatniego roku (co znajduje potwierdzenie w obniżeniach powierzchni terenu). Można zatem uznać, iż sam wypływ wody w niewielkim tylko stopniu wpływa na obniżenia partii wyżej leżących, łącznie z powierzchnią. Tezę tę potwierdzają rezultaty badań obniżeń powierzchni dla sieci „Mina”; wskazują one, że dotychczasowe ruchy powierzchni pod wpływem wycieku praktycznie ustały. Osiadanie tego rejonu zachodzi więc głównie pod wpływem zaciskania się wyrobisk niżej leżących (poziom czwarty, międzypoziom „Kołobrzeg” i poziom piąty). W ciągu ostatniego okresu zauważa się zmniejszenie ruchów

(łącznie z wystąpieniem wypiętrzeń nad chodnikiem „Mina”) na poziomie „Kazanów”, w porównaniu z okresem poprzednim, natomiast pewną intensyfikację obniżeń na poziomie drugim wyższym. Wskazuje to na wystąpienie między poziomem drugim wyższym i poziomem „Kazanów” w rejonie chodnika „Mina” pionowych odkształceń ściskających.

W drugim z wyróżnionych rejonów – wokół szybu „Daniłowicz” – pomiary przeprowadzone na poziomach: pierwszym, drugim niższym i trzecim wskazują, że pakiet wymienionych poziomów osiada tu wspólnie z prędkością około 14–20 mm/rok. W ostatnim okresie rocznym prędkość ta jest zbliżona do średniej.

Trzeci z wyróżnionych rejonów charakteryzuje sytuację wokół komory „Przanowski” i jej wycieku wodnego. W tym rejonie występują obniżenia nieco mniejsze niż w pobliskim rejonie szybu „Daniłowicz”; prędkość osiadań wynosi tu 9–16 mm/rok.

Kompleksowa analiza rozkładu pionowego ruchu górotworu w centralnym rejonie kopalni wskazuje, że cały obszar rozciągający się od szybu „Daniłowicz” do szybu „Kościeszko” od powierzchni do poziomu trzeciego objęty jest niecką obniżeniową, zalegającą równoleżnikowo, nieco przechyloną ze wschodu na zachód. Część denna tej niecki, obejmująca strefy szybów „Daniłowicz”, „Kinga” i „Kościeszko”, przechodzi na zachodzie i północy w bardziej nachylone skrzydła, a na wschodzie i południu – w łagodne strefy brzeżne. Niecka obniżeniowa ukształtowała się przede wszystkim w rezultacie zaciskania się wyrobisk skoncentrowanej eksploatacji modularnej na poziomie czwartym, międzypoziomie „Kołobrzeg” oraz na poziomie piątym. Ruch pionowy w partii górotworu obejmującej poziomy: czwarty, międzypoziom „Kołobrzeg” i piąty ulega, zwłaszcza na zachodzie, zahamowaniu; bezwzględne wartości osiadań średniorocznych i okresowych na tych poziomach są mniejsze niż w kompleksie poziomów, obejmującym powierzchnię i poziomy 1–3. Natomiast najniższe poziomy (6–8) pozostają nieruchome; zarejestrowane niekiedy osiadania lub wypiętrzenia mieszczą się zwykle w granicach dokładności obserwacji lub są rezultatem oddziaływania szeregu czynników o charakterze przypadkowym, trudnym do jednoznacznej identyfikacji (na przykład wpływu zaciskania komór ługowniczych, znajdujących się na najniższych poziomach).

Rezultaty badań pionowego ruchu punktów w komorze „Fornalska 2” i w tamie nie wskazują na wystąpienie nowych elementów, świadczących o jakościowych i ilościowych zmianach tego ruchu. Tama jest wciskana w skały opadającego stropu komory, a nacisk nadległego górotworu stara się przełamać tamę na styku obu jej segmentów. Nie stwierdzono występowania nowych elementów, stwarzających zagrożenie dla komory i tamy.

Średnie wielkości prędkości obniżeń (w mm/rok) dla poszczególnych poziomów kopalni (oraz oddzielnie dla rejonu sanatorium), wraz z wartościami odchyłeń standardowych tych prędkości, zestawiono dla wymienionych przedziałów czasowych w tabeli 4.

Z porównania przytoczonych w tabeli wartości wynika, że w grupie poziomów wyższych, obejmujących poziomy I, II wyższy i niższy, III i IV występują zbliżone prędkości osiadań (11–25 mm/rok). Repery na poziomie V (łącznie z rejonem sanatorium) osiadają w mniejszym stopniu (8–10 mm/rok). Na poziomach najniższych (VI, VII i VIII) prędkość obniżeń jest niewielka (1–7 mm/rok) i maleje ze wzrostem głębokości położenia poziomu.

TABELA 4

Prędkości osiadań poszczególnych poziomów w latach 1986–2005

TABLE 4

The subsidence velocities of the mine horizons in 1986–2005

Poziom	1986–1995		1986–2000		1986–2005		2000–2005	
	średnia	odchyl.	średnia	odchyl.	średnia	odchyl.	średnia	odchyl.
Poziom I	15,1	±4,0	16,1	±3,8	15,4	±4,1	16,6	±4,9
Poziom II wyższy	8,8	±7,2	9,6	±8,1	10,2	±8,2	11,4	±8,4
Poziom II niższy	15,5	±7,0	15,1	±6,1	–	–	–	–
Poziom III	8,5	±7,7	9,8	±7,5	10,7	±6,0	12,8	±8,3
Poziom IV	21,2	±5,5	23,0	±5,0	21,6	±4,1	24,6	±5,3
Poziom V	12,2	±6,1	13,2	±6,6	14,0	±4,8	16,2	±7,2
Rejon sanatorium*	8,2	±3,9	9,1	±3,8	9,1	±4,1	10,0	±5,0
Poziom VI	4,7	±2,5	5,0	±2,8	6,8	±3,4	10,8	±3,1
Poziom VII	3,3	±1,6	3,2	±1,5	–	–	–	–
Poziom VIII	0,8	±1,0	0,8	±0,7	–	–	–	–

* Wysokości liczone od 1987 r.

Cały kompleks poziomów wyższych wraz z powierzchnią zachowuje się zatem jak jedna bryła, osiadająca nad poziomami niższymi (w których występuje największa koncentracja wyrobisk eksploatacji modularnej). W rejonie poziomu V (częściowo IV) następuje więc wyhamowanie ruchu pionowego. Ruch poziomów najniższych jest minimalny i powstaje zapewne wskutek wpływu zaciskania położonych tam komór ługowniczych. Zatem zagrożenie dla powierzchni i zabytkowej części kopalni występuje wskutek zaciskania się wyrobisk na środkowych i częściowo na niższych poziomach. Wskazuje to na konieczność podsadzania w pierwszej kolejności tych właśnie poziomów, jako zagrażających bezpieczeństwu poziomów wyższych i powierzchni terenu. W porównaniu z poprzednimi okresami prędkość obniżen nie uległa zmianom, wykraczającym znacznie poza odchylenie standardowe.

Wnioski

1. Rezultaty obserwacji deformacji powierzchni terenu w rejonie głównych szybów kopalnianych wskazują na stałe jej obniżenie, wynoszące około 20 mm/rok wokół szybów „Kinga” i „Daniłowicz” oraz około 25 mm/rok wokół szybu „Kościuszko”. Wpływ procesu zaciskania wyrobisk w centralnej części kopalni na powierzchnię terenu również wykazuje stabilność. Przejawia się tendencja do zmniejszania się intensywności obniżen w miarę upływu czasu. Przyczynę tego można upatrywać we wpływie podsadzania

- wyrobisk. Takie zmniejszenie nie jest obserwowane we wschodniej części terenu, gdzie wpływ zaciskania wyrobisk na obniżenia powierzchni jest w zasadzie stały.
2. W rejonie „Miny” na całokształt deformacji powierzchni terenu w obserwowanym rejonie wpływać mogą ruchy, zachodzące pod wpływem sufozji, ruchy spowodowane zaciskaniem wyrobisk górniczych kopalni oraz ruchy osuwiskowe. Deformacje terenu o charakterze nieciągłym powstają pod wpływem sufozji wodnej, mającej miejsce w południowo-wschodniej części ogrodu przyklasztornego oraz w rejonie przyległym, na głębokości około 50 m. Ich występowanie w czasie jest ściśle skorelowane z intensyfikacją wycieku do chodnika „Mina”. Wskutek wpływu sufozji wodnej w rejonie ogrodu przyklasztornego oraz odcinka torów kolejowych wystąpiły od 1992 r. deformacje całkowite, równoznaczne z deformacjami dla V kategorii zagrożenia terenu.
 3. Ruch górotworu w rejonie głównych szybów kopalni charakteryzuje się występowaniem przyrostów odkształceń ściskających w środkowych partiach wyrobisk kopalnianych i wykazuje stabilność od dłuższego czasu.
 4. Uzyskany na podstawie rezultatów obserwacji niwelacyjnych w wyrobiskach korytarzowych rozkład pionowego ruchu górotworu w centralnym rejonie kopalni, potwierdza w zasadzie rozkład ruchu, określony dla stref przyszybowych. Kompleksowa analiza tych rozkładów wskazuje, że cały obszar rozciągający się od szybu „Daniłowicz” do szybu „Kościuszko” od powierzchni do poziomu trzeciego objęty jest niecką obniżeniową, zalegającą równoleżnikowo, nieco przechyloną ze wschodu na zachód. Część denna tej niecki, obejmująca strefy szybów „Daniłowicz”, „Kinga” i „Kościuszko”, przechodzi na zachodzie i północy w bardziej nachylone skrzydła, a na wschodzie i południu – w łagodne strefy brzeżne. Niecka obniżeniowa ukształtowała się przede wszystkim w rezultacie zaciskania się wyrobisk skoncentrowanej eksploatacji modularnej na poziomie czwartym, międzypoziomie „Kołobrzeg” oraz na poziomie piątym. Ruch pionowy w partii górotworu, obejmującej poziomy: czwarty, międzypoziom „Kołobrzeg” i piąty ulega, zwłaszcza na zachodzie, zahamowaniu; bezwzględne wartości osiadań średniorocznych i okresowych na tych poziomach są mniejsze niż w kompleksie poziomów, obejmującym powierzchnię i poziomy I–III. Natomiast najniższe poziomy (VI–VIII) pozostają nieruchome; zarejestrowane niekiedy osiadania lub wypiętrzenia mieszczą się zwykle w granicach dokładności obserwacji lub są rezultatem oddziaływania szeregu czynników o charakterze przypadkowym, trudnym do jednoznacznej identyfikacji.
 5. Porównanie średnich prędkości obniżen w poszczególnych rejonach kopalni wskazuje, że wokół szybu „Kinga” odkształcenia rozciągające wynoszą około 0,4% między poziomami pierwszym a drugim wyższym oraz drugim wyższym a drugim niższym; odkształcenia ściskające w wielkości 0,3% występują między poziomem drugim niższym a trzecim. Podobne wielkości występują w rejonie między wymienionymi szybami. W rejonie szybu „Daniłowicz” odkształcenia między poziomami (pierwszym, drugim wyższym, drugim niższym) są odkształceniami ściskającymi.

6. Dla wyróżnionych trzech rejonów obserwacji (rejon szybu „Kinga” wraz z obszarem na północny wschód od szybu, położonym w rejonie wycieku wody do poprzeczni „Mina”; rejon szybu „Daniłowicz”; rejon na północny wschód od szybu „Daniłowicz”, położony w rejonie komory „Przanowski”) okresowe osiadania wynoszą 7–20 mm dla pierwszych dwóch rejonów (z wyjątkiem poziomu II wyższego w rejonie „Miny”) oraz do 16 mm dla trzeciego rejonu; wieloletnie (za okres 1986–2000) prędkości obniżenia wahają się w granicach 11–20 mm/rok dla pierwszych rejonów i 9–15 dla rejonu trzeciego. W obserwowanych strefach poziomy od trzeciego w górę (wraz z powierzchnią) osiadają w przybliżeniu wspólnie; od poziomu czwartego następuje zahamowanie obniżenia, które ustają niemal zupełnie od poziomu szóstego w dół. Niecka obniżeniowa kształtuje się przede wszystkim w rezultacie zaciskania się wyrobisk skoncentrowanej eksploatacji modularnej na poziomie czwartym, międzypoziomie „Kołobrzeg” oraz na poziomie piątym.
7. Rezultaty badań pionowego ruchu punktów w komorze „Fornalska 2” i w tamie nie wskazują na wystąpienie nowych elementów, świadczących o jakościowych i ilościowych zmianach tego ruchu. Tama jest wciskana w skały opadającego stropu komory, a nacisk nadległego górotworu stara się przełamać tamę na styku obu jej segmentów. Nie stwierdzono występowania nowych elementów, stwarzających zagrożenie dla komory i tamy. Zróżnicowanie obniżenia stropu komory i tamy daje efekt wciskania tamy w skały stropowe. Wskazuje to na występowanie w tamie odkształceń ściskających.

Praca wykonana w ramach badań statutowych nr 11.11.150.652

LITERATURA

- Banasik P., Szewczyk J., 1997 – Wykorzystanie sieci zintegrowanych do badań powierzchni terenu. [W:] Materiały Seminarium naukowego XVI Szkoły Geodezji, Łądek Zdrój, Zeszyty Naukowe AR Wrocław, Geodezja i Urządzenia Rolne XIV, nr 324, Wrocław.
- Interpretacja rezultatów badań deformacji powierzchni i górotworu w rejonie centralnym kopalni w aspekcie ochrony powierzchni i wyrobisk, prowadzenia podszadzania wyrobisk oraz zagrożeń wodnych za rok 2005. Kraków–Wieliczka 2005 (mat. niepubl.).
- Kortas G., 2007 – Przemieszczenia powierzchni nad historyczną kopalnią w Wieliczce. *Przeg. Górn.* 2, s. 4–12.
- Kortas G. (red.), Szewczyk J., Tobiła T., 2005 – Ruch górotworu i powierzchni w otoczeniu zabytkowych kopalń soli. Wyd. PAN, Kraków.
- Maciaszek J., 1996 – Rezultaty badań procesów deformacji górotworu i powierzchni terenu górniczego Kopalni Soli „Wieliczka”, *Górnictwo*, rok 20, z. 4, Kraków.
- Maciaszek J., Siembab J., Szewczyk J., 1993 – Badania deformacji powierzchni i górotworu w kopalni soli „Wieliczka”. *Zeszyty Naukowe AGH, Geodezja* z. 118, Kraków.
- Maciaszek J., Szczerbowski Z., Szewczyk J., 1994 – Suffosion as the cause of terrain surface deformations (on the example of the Wieliczka Salt Mine). *Materiały IX Międzynarodowego Kongresu ISM*, Praga.

KOPALNIA SOLI „WIELICZKA” – 80 LAT OBSERWACJI DEFORMACJI POGÓRNICZYCH

Słowa kluczowe

Geodezyjne badania deformacji, Kopalnia Soli Wieliczka

Streszczenie

W 2006 r. mija 80 lat od chwili rozpoczęcia systematycznych obserwacji deformacji powierzchni i górotworu w rejonie eksploatacji soli kamiennej w Wieliczce. Rocznicą tą upoważnia do dokonania podsumowania dotychczasowych pomiarów i omówienia ich rezultatów. Wskutek wielowiekowego wydobywania soli powstało tu w górotworze około 2300 komór i około 300 km wyrobisk korytarzowych, o łącznej objętości około 7,5 mln m³. Samozaciskanie się tych pustek jest źródłem występowania na powierzchni terenu deformacji, przejawiających się przede wszystkim w postaci niecki obniżeniowej o znacznych rozmiarach przestrzennych. Deformacje powierzchni terenu oraz górotworu stwarzają zagrożenie zarówno dla obiektów powierzchniowych (zabudowy miejskiej), jak i dla obiektów kopalnianych, zwłaszcza dla zabytkowej części kopalni. Szczególne niebezpieczeństwo stanowią zapadliska powierzchni terenu, powstałe wskutek zawalenia się komór poeksploatacyjnych lub wskutek sufozji wodnej. Stwarza to konieczność stałego prowadzenia obserwacji nad zachowaniem się górotworu i powierzchni. Należą do nich przede wszystkim badania geodezyjne.

Na podstawie rezultatów pomiarowych można stwierdzić, że na terenie górniczym Wieliczki zaznaczają się dwie niecki obniżeniowe. W artykule scharakteryzowano obie niecki, podając również prawdopodobne przyczyny ich kształtowania się. Bardziej szczegółowo przedstawiono rezultaty obserwacji deformacji powierzchni terenu w rejonie głównych szybów kopalnianych, a także w rejonie „Miny” (gdzie na całokształt deformacji powierzchni terenu w obserwowanym rejonie wpływać mogą ruchy, zachodzące pod wpływem sufozji, ruchy spowodowane zaciskaniem wyrobisk górniczych kopalni oraz ruchy osuwiskowe).

Badania deformacji górotworu oparto na rezultatach obserwacji, w skład których wchodzi przeniesienia wysokości przez główne szyby kopalni, pomiary wysokościowe punktów w wyrobiskach wszystkich dostępnych poziomów kopalni i obserwacje wysokościowe punktów zastabilizowanych na tamach w komorze „Fornalska II” i w chodniku „Mina”. Stwierdzono, że ruch górotworu w rejonie głównych szybów kopalni charakteryzuje się występowaniem przyrostów odkształceń ściskających w środkowych partiach wyrobisk kopalnianych i od dłuższego czasu wykazuje stabilność.

SALT MINE “WIELICZKA” – 80 YEARS OF THE OBSERVATIONS OF POST-MINING DEFORMATIONS

Key words

Geodetic surveys of deformations, Wieliczka Salt Mine

Abstract

In 2006 there had been 80 years since the start of systematic observations of surface and rock mass deformations in the area of halite exploitation in Wieliczka. This anniversary encourages us to make conclusions about the measurements made so far and discuss their results. Over many centuries of salt mining 2300 chambers and about 300 km of gallery workings were made, with total volume of 7.5 million m³. The convergence of these voids is the source of the deformations on the surface of the area, manifesting mainly in the form of a subsidence trough of a large size. Deformations of the surface of the area and the rock mass make threat both to the objects on the surface (urban buildings) and to the mine itself, especially its historical part. A particular danger is made by the hollows caused by the caving of post-exploitation chambers or due to water suffosion. This makes it necessary to carry out observations on the behaviour of the rock mass and surface. These are, first of all, researches on surveying.

Based on the measurement results one can state that in the mining area of Wieliczka there are two subsidence troughs. In the article both troughs were characterized, also probable causes of their formation were given. The results of the observation of surface deformations in the area of main shafts and in the „Mina” region were presented in detail. In the latter case, the overall surface deformations in the observed region can be influenced by the movements caused by suffosion, convergence of mine workings and landslide movements.

The studies on the deformation of the rock mass were based on the results of the observations, including height transfer by main mine shafts, altitude measurements of the benchmarks in the workings of all the available mine levels and altitude observations of the benchmarks stabilized on the dams in the „Fornalska II” chamber and „Mina” gallery. It was found that the rock mass movement in the area of main shafts of the mine is characterized by the occurrence of the increase in convergence deformations in central parts of mine workings and this trend has been stable for a long time.