

Technologia wyznaczania dużych, szybkozmiennych przemieszczeń i odkształceń powierzchni terenów górnich na podstawie zdjęć lotniczych oraz wyniki jej zastosowania

1. Wprowadzenie

Szkody górnicze powstające na powierzchni terenów kopalni otworowych, gdzie eksploatacja złóż mineralnych (soli, siarki) odbywa się metodą podziemnego ługowania, spowodowały pilną potrzebę opracowania:

- podstaw technicznych do rekultywacji terenów pogórnich oraz
- metod prognozowania wpływów eksploatacji górniczej, które umożliwiają określenie sposobu przyszłego użytkowania terenu już przy podejmowaniu decyzji o budowie nowych kopalni otworowych.

Jednym z podstawowych etapów realizacji powyższych zadań jest wyznaczenie wielkości przemieszczeń terenu pod wpływem eksploatacji górniczej i zbadanie przebiegu zjawisk deformacyjnych terenu w określonych odstępach czasu. Następny z kolei etap prac obejmuje interpretację jakościową wyznaczonych przemieszczeń, wykonywaną na podstawie wszechstronnych badań specjalistycznych (geologicznych, górniczych, gruntoznawczych), wyjaśniających mechanizm i dynamikę powstawania odkształceń powierzchni.

Artykuł niniejszy traktuje o pierwszym etapie badań, które zostały podjęte w latach 1969—1970 przez Instytut Geodezji i Kartografii przy współpracy i na zlecenie byłego Kombinatu Kopalni Soli i Barytu (obecnie Kopalnie Soli Wieliczka-Bochnia). Dotyczyły one wyznaczenia przemieszczeń terenów kopalni otworowej soli w Baryczy, gdzie eksploatację soli rozpoczęto jeszcze przed wojną. W tym też czasie, około roku 1930, zapoczątkowano badanie odkształceń powierzchni terenu w rejonie pierwszych otworów wiertniczych, lecz wkrótce je przerwano. Okazało się bowiem, że klasyczne metody pomiaru przemieszczeń terenu (zakładanie geodezyjnych linii i sieci obserwacyjnych) w tym przypadku nie mogły być z powodzeniem stosowane.

Złożyło się na to szereg przyczyn, z których najważniejszymi są:

- niejednostajny w przestrzeni i czasie przebieg zjawisk deformacyjnych (leje pochodzenia górniczego, zsuwy i spękania powierzchni, mikro-niecki i nagłe zapadliska terenu);
- zagrożenie bezpieczeństwa pracy podczas pomiarów w terenie.

Dlatego też po wojnie, w związku ze znacznym zwiększeniem wydobywania soli i rozszerzeniem obszaru eksploatacji w rejonie Baryczy oraz perspektywą budowy nowych kopalni otworowych, podjęto decyzję w sprawie zastosowania do badania dużych i szybko zachodzących zmian terenu, bardziej skutecznych metod pomiarowych.

W tym celu, poczynwszy od 1970 roku zastosowano metody pomiarów fotogrametrycznych, umożliwiające rejestrację stanów aktualnych terenu za pomocą zdjęć lotniczych.

Doświadczenia z przeprowadzonych w latach 1970—1974 badań potwierdzają przydatność metod fotogrametrycznych, gdyż zapewniają one:

- praktycznie jednoczesny pomiar wszystkich punktów badanych (bez ograniczenia, ze względów ekonomicznych, ich liczby) na podstawie okresowo wykonywanych zdjęć lotniczych;

- wyznaczenie współrzędnych punktów badanych (sygnalizowanych w terenie przed lotem fotogrametrycznym) z dokładnością rzędu kilku centymetrów w odniesieniu do punktów przyjętych za stałe. Dokładność powyższa jest wystarczająca do badania makroruchów terenu (przemieszczenia punktów rzędu metrów), którymi charakteryzują się tereny kopalni otworowych o podziemnym ługowaniu złóż mineralnych;

- bezpieczne warunki pracy, ponieważ pomiar punktów badanych odbywa się na zdjęciach lotniczych w warunkach kameralnych.

Ponadto metody fotogrametryczne i fotointerpretacyjne umożliwiają wykorzystanie innych informacji zawartych na zdjęciach lotniczych oraz odtwarzanie pierwotnego kształtu powierzchni terenu na podstawie zdjęć archiwalnych lub wykonanych dla zarejestrowania stanu aktualnego przed rozpoczęciem działalności górniczej.

Bardziej szczegółowe uzasadnienie wyboru metod fotogrametrycznych do badania zmian powierzchni terenu oraz proponowany program badań został przedstawiony w Pracach Instytutu Geodezji i Kartografii w roku 1972 w artykule pod tytułem: „Wyznaczenie wielkości przemieszczeń i odkształceń powierzchni terenu metodą fotogrametryczną” [3].

2. Schemat technologiczny wyznaczania przemieszczeń i odkształceń powierzchni terenów górniczych za pomocą metod fotogrametrycznych

Przedstawiony w tablicy 1 schemat technologiczny ukształtował się w toku przeszło czteroletnich prac badawczych i realizacyjnych. Podkreślić należy, że w okresie, gdy podejmowano problem zastosowania zdjęć lotniczych do badania odkształceń terenów górniczych, to jest w roku 1970, nie było jeszcze w Polsce opracowanej technologii fotogrametrycznej,

która zapewniłaby określenie współrzędnych przestrzennych X , Y , Z punktów sygnalizowanych z dokładnością rzędu kilku centymetrów. Należało zatem, równolegle z opracowaniem programu badań i jego stopniową realizacją, prowadzić wielokierunkowe prace badawcze i doświadczalne w celu zapewnienia niezawodności i skuteczności działania. Do najważniejszych prac w tym zakresie należały:

- wybór i opracowanie sposobu stabilizacji i sygnalizacji punktów badanych, podlegających okresowej obserwacji,

- opracowanie warunków technicznych dla wykonania wielkoskalowych zdjęć lotniczych, zapewniających odfotografowania się punktów badanych,

- opracowanie koncepcji geodezyjnego dowiązania zdjęć lotniczych do punktów stałych,

- wybór najbardziej odpowiedniej metody analitycznej aerotriangulacji blokowej i opracowania metodyki pomiaru zdjęć na precyzyjnych przyrządach fotogrametrycznych,

- opracowanie metod interpretacji geometrycznej wyznaczonych przemieszczeń w poszczególnych cyklach badawczych,

- organizacja prac polowych, ze szczególnym uwzględnieniem synchronizacji pomiaru geodezyjnego fotopunktów i wykonania celowanych zdjęć lotniczych.

Ze względu na to, że w cytowanym we wstępie artykule podano szczegółowy opis i rozwinięcie wyżej wymienionych zagadnień, w niniejszej pracy ograniczono się do podania schematu blokowego technologii zastosowanej do badań (tablica 1).

W powyższym schemacie można wyróżnić cztery podbloki, ilustrujące poszczególne etapy prac, a mianowicie:

- 1) prace przygotowawcze,
- 2) prace polowe i wykonanie zdjęć lotniczych,
- 3) prace kameralne — opracowanie zdjęć, obliczenie współrzędnych i przemieszczeń punktów badanych,
- 4) ocena dokładności oraz graficzne przedstawienie wyników badań.

2.1. Prace przygotowawcze

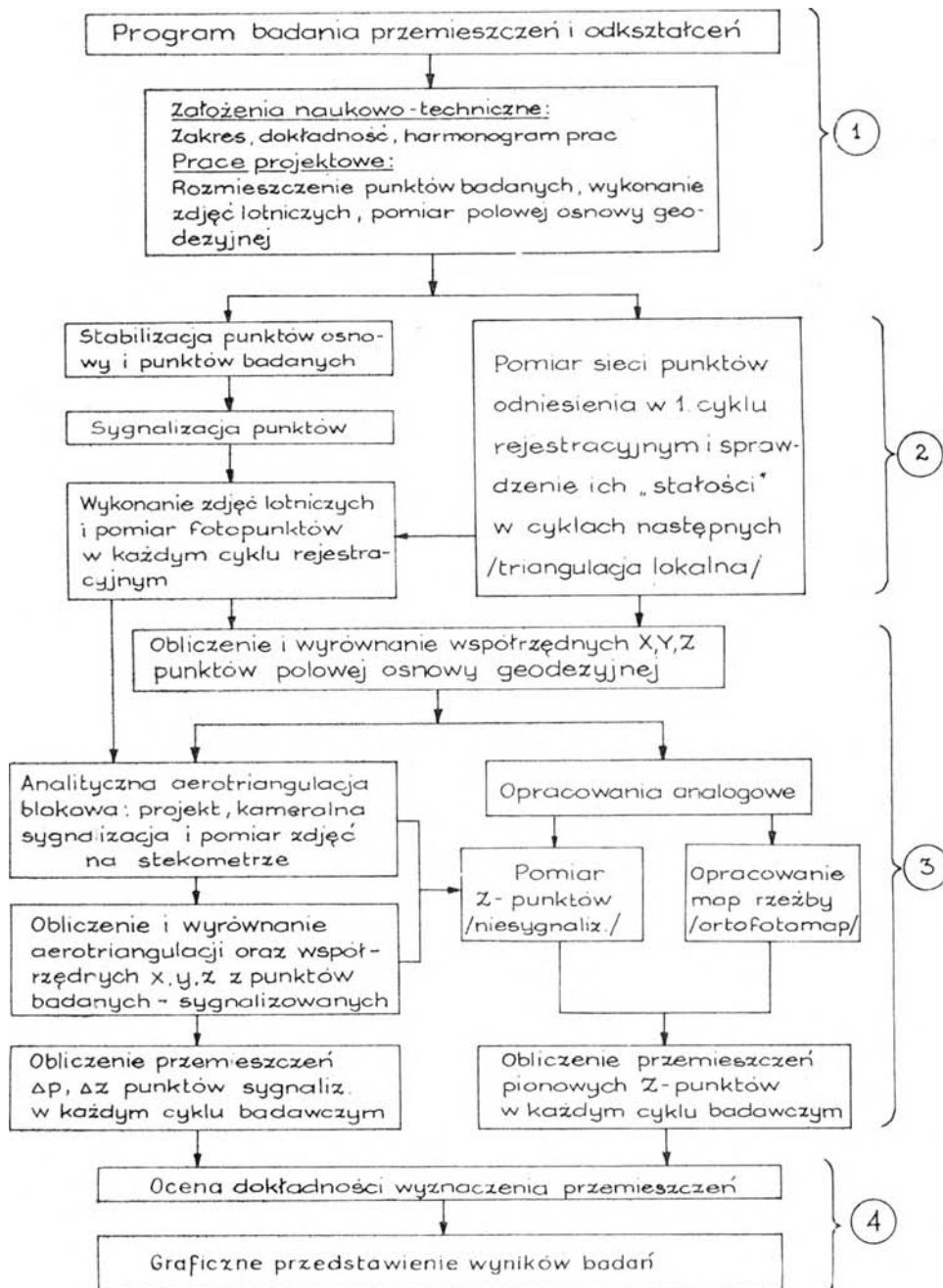
Wymienione prace obejmują:

- opracowanie ogólnego programu badań, ustalającego obszar, czas, okres badań i jego podział na cykle badawcze. Każdy cykl badawczy zawiera rejestrację (za pomocą zdjęć lotniczych) wyjściowego i aktualnego stanu powierzchni terenu oraz wyznaczenie przemieszczeń zaistniałych między kolejnymi rejestracjami;

- opracowanie szczegółowych założeń naukowo-technicznych, precy-

Tablica 1

SCHEMAT TECHNOLOGICZNY
wyznaczania przemieszczeń i odkształceń terenów górniczych
za pomocą metod fotogrametrycznych



zujących: zakres badań, stosowane metody pomiaru, dokładności i sposób przedstawiania wyników badań oraz spodziewane efekty ekonomiczne;

- prace projektowe na podkładach mapowych lub fotoszkicach, dotyczące lokalizacji punktów badanych (sygnalizowanych w terenie — dla wyznaczenia przemieszczeń przestrzennych Δx , Δy , Δz oraz punktów nie sygnalizowanych, tak zwanych Z-punktów dla badania przemieszczeń pionowych Δz , punktów o stałym położeniu sytuacyjnym);

- opracowanie projektu pomiaru fotopunktów w oparciu o kontrolowaną sieć „punktów stałych”, znajdujących się poza zasięgiem wpływów eksploatacji i stanowiących sieć punktów odniesienia;

- opracowanie warunków technicznych dla wykonania zdjęć lotniczych (skala, pokrycie podłużne i poprzeczne, rodzaj kamery fotogrametrycznej i środka latającego);

- opracowanie projektu odpowiednich znaków sygnalizacyjnych, zapewniających odfotografowania się na zdjęciach punktów badanych.

Prace pierwszego etapu są wykonywane jednorazowo na początku realizacji programu badań i później wymagają jedynie sprawdzenia lub ewentualnej korekty w zależności od zmieniających się warunków przeprowadzenia kolejnych cykli badawczych.

2.2. Specyfika drugiego etapu, to jest prac polowych

Prace polowe polegają na:

- jednorazowym zastabilizowaniu w terenie punktów badanych,
- założeniu lokalnej triangulacji dla wyznaczania współrzędnych punktów odniesienia, tak zwanych punktów stałych, położonych poza zasięgiem wpływów eksploatacji;

- zasygnalizowaniu utrwalonych w terenie punktów badanych i utrzymaniu tej sygnalizacji aż do momentu wykonania zdjęć;

- wykonaniu zdjęć lotniczych badanego obszaru i pomiarze geodezyjnym fotopunktów w możliwie najkrótszym czasie i z takim wyliczeniem, aby rejestracje stanów powierzchni za pomocą zdjęć przypadły na środek okresu przeznaczonego na pomiar fotopunktów. Spełnienie tego warunku wymaga ustalenia kolejności pomiaru fotopunktów i dużej operatywności grupy pomiarowej. Należy podkreślić, że powodzenie całości prac w danym cyklu badawczym zależy w pierwszej kolejności od prawidłowego wykonania prac polowych.

2.3. Prace kameralne przewidziane do wykonania w trzecim podbloku schematu technologicznego

Prace te dzielimy na dwie grupy, a mianowicie na:

a) Obliczenia geodezyjne, które obejmują:

— obliczenie, na początku pierwszego cyklu badawczego, współrzędnych X , Y , Z punktów odniesienia (punktów stałych) oraz obliczenia kontrolne, wykonywane w cyklach następnych dla sprawdzenia niezmienności położenia punktów przyjętych za stałe,

— obliczenie w każdym cyklu badawczym współrzędnych fotopunktów pomierzonych w terenie w oparciu o sieć punktów stałych,

b) Opracowanie zdjęć i obliczenia fotogrametryczne. Prace wchodzące w skład tej grupy należą do najbardziej pracochłonnych. Wymagają one zastosowania:

— precyzyjnych przyrządów fotogrametrycznych: stereokomparatora precyzyjnego, na przykład: stekometru firmy C. Zeiss-Jena do pomiaru współrzędnych tłowych zdjęć przy rozwijaniu aerotriangulacji blokowej oraz autografu Wilda A8 do pomiaru wysokości punktów ziemnych i wykreślenia map rzeźby terenu,

— elektronicznych maszyn cyfrowych do obliczenia i wyrównania aerotriangulacji blokowej oraz obliczenia współrzędnych x , y , z punktów sygnalizowanych.

Do wyznaczenia przemieszczeń terenu stosuje się zatem dwie metody:

1. Metodę fotogrametrii analitycznej, za pomocą której wyznaczamy składowe przemieszczeń Δx , Δy , Δz punktów sygnalizowanych. Przemieszczenia te oblicza się przez porównanie współrzędnych jednoimiennych punktów, obliczonych dla wyjściowego i aktualnego stanu powierzchni terenu, zarejestrowanego na zdjęciach lotniczych wykonywanych na początku i końcu każdego cyklu badawczego. Należy podkreślić, że do obliczenia współrzędnych x , y , z punktów sygnalizowanych wykorzystuje się program aerotriangulacji blokowej z niezależnych modeli AEROBLOK — opracowany w Zakładzie Informatyki Geodezyjnej i Kartograficznej przy współpracy z Zakładem Fotogrametrii Instytutu Geodezji i Kartografii.

2. Metodę fotogrametrii analogowej, która jest stosowana do wyznaczenia zmian wysokości Δz punktów nie sygnalizowanych, tak zwanych Z -punktów i opracowań graficznych (mapy, profile pionowe itp.). Przemieszczenia te są różnicami wysokości Z -punktów mierzonych na autografie. Charakteryzują się one wprowadzającą niższą dokładnością od przemieszczeń pionowych punktów sygnalizowanych, lecz są bardzo cenną informacją przy wykreślaniu izolinii osiadania terenu. Metodę analogową stosuje się również do opracowania map tematycznych, na przykład: „map rzeźby terenu” oraz do wykreślenia profili pionowych. Ostatnio zaistniała możliwość wykorzystania techniki ortofotograficznej do sporządzania tak zwanych ortofotomap o różnorodnej, w zależności od potrzeb, treści tematycznej (np. ortofotomap górniczych elementów powierzchni terenu).

2.4. Końcowy etap prac przewidzianych w czwartym podbloku schematu technologicznego

Etap ten obejmuje:

- ocenę dokładności wyznaczenia przemieszczeń,
- graficzne przedstawienie uzyskanych wyników,
- ocenę wyników badań i wnioski.

Oceny dokładności wyznaczenia przemieszczeń dokonuje się na podstawie:

- błędów średnich współrzędnych punktów aerotriangulacyjnych (m_x , m_y , m_z), obliczanych metodą najmniejszych kwadratów na EMC w toku realizacji programu AEROBLOK,
- błędów średnich wyznaczenia wysokości Z-punktów, mierzonych na autografie.

W obydwu przypadkach, przy obliczeniu błędów średnich przyjęto założenie bezbłędności wyznaczenia polowej osnowy geodezyjnej (fotopunktów). Do przyjęcia powyższego założenia upoważnia — z jednej strony wysoka dokładność pomiarów polowych (triangulacja lokalna i niwelacja techniczna) w stosunku do wyznaczanych przemieszczeń terenu — z drugiej zaś fakt, że fotopunkty jako punkty dostosowania zdjęć lotniczych służą w tym przypadku do wyznaczenia dużych przemieszczeń (rzędu kilkudziesięciu centymetrów w skali rocznej), będących wynikiem makroruchów badanego terenu.

Do oceny dokładności wyznaczenia dowolnego punktu aerotriangulacyjnego można zatem zastosować wzory na błędy średnie współrzędnych $m_x = m_y = m_z = m$ w postaci:

$$m = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{n-w}},$$

gdzie:

- d — różnice współrzędnych na punktach aerotriangulacyjnych. Symbolem d oznaczono zatem zarówno błędy prawdziwe ϵ (jako różnice między współrzędnymi geodezyjnymi fotopunktów i odpowiadającymi im współrzędnymi fotogrametrycznymi w poszczególnych modelach), jak i błędy pozorne v (jako różnice pomiędzy najprawdopodobniejszymi wartościami współrzędnych punktów wiążących i odpowiadającymi im współrzędnymi fotogrametrycznymi w poszczególnych modelach).
- n — liczba wszystkich różnic,
- w — liczba punktów wiążących.

Do obliczeń błędu średniego wysokości Z-punktów, mierzonych w autografie (m_{z_A}) zastosowano z kolei wzór:

$$m_{z_A} = \pm \sqrt{m_z^2 + m_A^2},$$

gdzie:

- m_z — błąd średni wysokości punktów otrzymanych z wyrównania aerotriangulacji analitycznej;
- m_A — błąd średni pomiaru wysokości punktów na pojedynczym modelu w autografii, określony empirycznie.

Na podstawie wartości omówionych błędów oblicza się błędy średnie przemieszczeń punktów, charakteryzujące dokładność wyznaczania zmian (przemieszczeń poziomych i pionowych) powierzchni terenu w danym cyklu badawczym. Do ich obliczenia zastosowano znane wzory, a mianowicie:

- Dla oceny dokładności przemieszczeń poziomych:

$$m_{\Delta p} = \pm \sqrt{m_{x_0}^2 + m_{y_0}^2 + m_x^2 + m_y^2},$$

gdzie:

- m_{x_0}, m_{y_0} — błędy średnie wyznaczenia współrzędnych punktów badanych na początku cyklu badawczego;
- m_x, m_y — błędy średnie wyznaczenia współrzędnych tych samych punktów przy końcu cyklu badawczego.
- Dla oceny dokładności przemieszczeń pionowych:

$$m_{\Delta z} = \pm \sqrt{m_{z_0}^2 + m_z^2},$$

gdzie: m_{z_0} i m_z — błędy średnie wysokości punktów badanych odpowiednio na początku i końcu danego cyklu badawczego.

Wyniki przeprowadzonych badań przedstawia się w dwóch postaciach:

- wykazu obliczonych przemieszczeń poszczególnych punktów oraz
- wektorów przemieszczeń lub izolinii osiadania terenu.

Jak już wspomniano w punkcie 2.3 przy omawianiu metody analogowej, badanie przemieszczeń punktów nie sygnalizowanych polega na wyznaczaniu zmian wysokości, zaistniałych między dwiema rejestracjami terenu. Położenie sytuacyjne powyższych punktów zostaje ustalone na początku badań. Ustalenie to odbywa się przez wybór Z-punktów na modelach stereoskopowych ze zdjęć rejestrujących stan wyjściowy i wkarutowanie ich położenia na tak zwane „podkłady”, z naniesionymi punktami osnowy fotogrametrycznej. Podkłady te są wykorzystywane w następnych cyklach rejestracyjno-pomiarowych do identyfikacji wyjściowego położenia Z-punktów. W ten sposób pomiar wysokości Z-punktów odbywa się zawsze dokładnie w punktach o tych samych współrzędnych płaskich, mimo że fizyczny punkt ziemny, odpowiadający wymienionym współrzędnym, może ulec przemieszczeniom poziomym. Dlatego też punkty nie sygnalizowane (Z-punkty) mogą służyć tylko do wyznaczenia ru-

chów pionowych (osiadanie terenu), gdyż nie dają możliwości oceny przesunięć poziomych.

Ocenę końcowych wyników badania przemieszczeń przeprowadza się zarówno pod kątem osiągniętych efektów technicznych, jak i ekonomicznych. W ocenie tej podaje się między innymi lokalizację i wielkość wykrytych przemieszczeń, dokładność wyznaczenia oraz wnioski dotyczące ich wykorzystania. Ze względu na fakt, że współrzędne punktów badanych wyznacza się z określoną dokładnością, należy również ustalić kryterium wykrywalności przemieszczeń, wyznaczanych metodami fotogrametrycznymi.

W konkretnym przypadku za wykrywalne można przyjąć te przemieszczenia, których wielkość obliczona w danym cyklu badawczym przekracza dwukrotną wartość błędu średniego ich wyznaczenia, to jest $\Delta z_{\min} = \Delta p_{\min} > 2 m$.

Za przyjęciem powyższego kryterium przemawiają:

— przyjęcie poziomu ufności $P_{\min} = 0,95$, wystarczającego do stwierdzenia, że przemieszczenie rzeczywiście zaistniało [1];

— stwierdzenie, że błędy wysokości punktów sygnalizowanych, wyznaczonych metodą fotogrametryczną AEROBLOK, podlegają normalnemu rozkładowi prawdopodobieństw.

W praktyce przyjmuje się na ogół, że minimalna wielkość prawdopodobieństwa zaistnienia badanego zjawiska (zwana poziomem ufności), wystarczająca do stwierdzenia, że ono rzeczywiście zaszło, jest równa $P_{\min} = 0,95$ [1].

Przy tym założeniu i normalnym rozkładzie błędów, bezwzględna wartość błędu średniego wyznaczenia przemieszczeń zawiera się w przedziale $t = \epsilon/m = 2$, gdzie ϵ — błąd prawdziwy. Można oczywiście przyjąć większą wartość minimalnego prawdopodobieństwa $P_{\min}$, aby mieć pewność co do słuszności przyjętego kryterium oceny. W danym przypadku, przy dużej liczbie punktów, odpowiednio rozmieszczonych na powierzchni badanego obszaru, przyjęty poziom ufności można uznać za wystarczający. Nieznaczna liczba punktów (5%), wykazujących błędy wyznaczenia większe od 2 m, nie spowoduje ryzyka niewłaściwej oceny zjawisk deformacyjnych powierzchni. Wniosek powyższy jest słuszny oczywiście wtedy, gdy błędy wyznaczenia współrzędnych punktów badanych podlegają normalnemu rozkładowi prawdopodobieństw.

Na podstawie specjalnie przeprowadzonych badań dokładności metody fotogrametrycznej AEROBLOK stwierdzono, że na ogólną liczbę 283 punktów sygnalizowanych, wysokości 270 punktów zostały wyznaczone z błędem prawdziwym zawierającym się w granicach od 0 do 2 m przy $m = \pm 3,3$ cm. (Do badań wykorzystano zdjęcia lotnicze w skali 1 : 3000 z dnia 15. 09. 1973 r. oraz wyniki pomiaru niwelacyjnego). Wysokości po-

zostałych 13 punktów zostały wyznaczone wprawdzie z większymi błędami (również zgodnie z rozkładem normalnym), lecz dotyczą one punktów przypadkowo rozmieszczonych w terenie.

3. Wyniki badania przemieszczeń i odkształceń powierzchni terenu górniczego za pomocą metod fotogrametrycznych

Opracowany wspólnie ze zleceniodawcą program badań oraz realizacja wstępnych prac 1 cyklu badawczego (rejestracja stanu wyjściowego) zostały szczegółowo opisane w cytowanym we wstępie artykule [3]. W opisie tym zostały zawarte dane dotyczące:

- powierzchni badanego obszaru górniczego (około 6 km²),
- sposobu stabilizacji i sygnalizacji w terenie 349 punktów badanych, tak zwanych punktów sygnalizowanych, przeznaczonych do badania przemieszczeń przestrzennych,
- wyboru na modelach stereoskopowych punktów uzupełniających, tak zwanych Z-punktów w liczbie 500, przeznaczonych wyłącznie do badania przemieszczeń pionowych,
- wykonania zdjęć lotniczych w dużych skalach,
- geodezyjnego pomiaru i obliczenia współrzędnych „punktów stałych” i fotopunktów,
- sposobu pomiaru i opracowania zdjęć lotniczych,
- obliczenia współrzędnych fotogrametrycznych punktów sygnalizowanych i wyznaczenia wysokości Z-punktów.

Ze względu na fakt, że wyżej wymienione czynności powtarzają się na początku i końcu każdego cyklu badawczego, w niniejszej pracy ograniczono się do omówienia tylko zmian, jakie zaszły w poszczególnych cyklach badawczych w stosunku do programu przyjętego na początku badań.

Pierwotny program przewidywał bowiem wykonanie 2 cykli badawczych w odstępach rocznych, w latach 1970—1971 i 1970—1972. Jednak w toku realizacji nastąpiła modyfikacja programu, w wyniku czego badania zostały ujęte w trzy cykle podstawowe oraz dwa cykle dodatkowe.

Do badań podstawowych należały prace mające na celu wyznaczenie aktualnych przemieszczeń przestrzennych terenu na podstawie okresowo wykonywanych zdjęć lotniczych.

W toku wieloletnich badań wyodrębniły się następujące cykle badawcze podstawowe, określone kolejnymi datami wykonania zdjęć lotniczych:

1. Cykl obejmujący okres od 29.07.1970 do 10.10.71 r.
2. Cykl obejmujący okres od 29.07.1970 do 15.09.73 r.
3. Cykl obejmujący okres od 15.09.1973 do 10.04.74 r.

Do badań dodatkowych należały prace, mające na celu wyznaczenie przemieszczeń pionowych terenu (osiadania) na podstawie stanów powierzchni zarejestrowanych na archiwalnych zdjęciach lotniczych. Było to możliwe dzięki zachowaniu się zdjęć lotniczych z roku 1957 (skala 1 : 15 000) i z roku 1953 (skala 1 : 21 000) wykonanych dla innych celów.

W ten sposób zostały ustalone 2 cykle dodatkowe, a mianowicie:

4. Cykl dodatkowy obejmujący okres od 1957 do 1973 r.
5. Cykl dodatkowy obejmujący okres od 1953 do 1973 r.

3.1. Wyniki badań i prac wykonanych w podstawowych cyklach badawczych

Celem każdego cyklu podstawowego było wykrycie, udokumentowanie i ocena wielkości przemieszczeń zaistniałych między kolejnymi rejestracjami stanu powierzchni za pomocą aktualnie wykonywanych zdjęć lotniczych.

3.1.1. Cykl podstawowy pierwszy, 1970—1971

Do podstawowych dokumentów i materiałów opracowanych w tym cyklu należą:

1. Wykazy współrzędnych geodezyjnych X , Y , H , 9 „punktów stałych” i 39 fotopunktów (w tym 9 fotopunktów podwójnych), wyznaczonych w terenie metodą triangulacji lokalnej na początku i końcu cyklu. Dokładność wyznaczenia współrzędnych powyższych punktów charakteryzuje się błędami średnimi w granicach $\pm 1,9 \text{ cm} < m < \pm 4,0 \text{ cm}$.

2. Zdjęcia lotnicze wykonane w skali 1 : 5000 i 1 : 3000 — dla rejestracji stanu wyjściowego oraz zdjęcia lotnicze w skali 1 : 3300 — dla rejestracji stanu aktualnego, zamykającego 1-szy cykl badawczy.

Do wykonania powyższych zdjęć wykorzystano śmigłowiec i szerokokątną kamerę lotniczą Wilda RC8 o odległości obrazu (stałej kamery) $c = 152,00 \text{ mm}$. Dla badanego obszaru wykonano 4 szeregi zdjęć w skali 1 : 5000 i 8 szeregów zdjęć w skali 1 : 3300 przy zastosowaniu 80% pokrycia podłużnego w szeregach i 60% pokrycia między szeregami. W celu zagwarantowania pozytywnych wyników rejestracji stanu wyjściowego za pomocą zdjęć lotniczych ze śmigłowca (zapewnienia odfotografowania się na tych zdjęciach punktów sygnalizowanych w terenie) pierwszą serię zdjęć wykonano w dwóch skalach. Na ogólną liczbę 349 punktów zasygnalizowanych w terenie nie odfotografowało się na zdjęciach pierwszej serii z 1970 r. — 23 punkty i na zdjęciach drugiej serii z 1971 r. — 26 punktów. Przyczyną ich nieodfotografowania się było zniszczenie tarcz sygnalizacyjnych przed poszczególnymi lotami. W ten sposób około 14% punktów

sygnalizowanych zostało straconych dla oceny przemieszczeń w 1-szym cyklu badawczym. Wynikłe z tego powodu „luki” zostały częściowo uzupełnione przez wybór i pomiar Z-punktów podczas dalszego opracowania zdjęć w autografii. Biorąc jednak pod uwagę fakt, że o powodzeniu prowadzonych badań decyduje w znacznym stopniu liczba odfotografowanych punktów badanych, należy podkreślić wagę i znaczenie prac związanych z sygnalizacją punktów i ochroną tarcz sygnalizacyjnych aż do momentu wykonania zdjęć.

Przykładem zdjęć lotniczych z odfotografowanymi punktami badanymi jest wycinek zdjęcia lotniczego z roku 1970 rejonu „starej eksploatacji” (rys. 1), na którym zaznaczono i opisano punkty sygnalizowane liczbami



Rys. 1. Wycinek zdjęcia lotniczego rejonu „starej eksploatacji” w skali 1 : 5000



Rys. 2. Powiększony obraz tarcz sygnalizacyjnych odfotografowanych na zdjęciu lotniczym.

ponad 1000, fotopunkty liczbami ponad 100 oraz Z-punkty bez podania numeracji.

Punkty sygnalizowane, odfotografowane na powyższym zdjęciu dla celów poglądowych obrysowano kółkami. Podczas obserwacji i pomiaru zdjęć w przyrządach fotogrametrycznych punkty te są widoczne w postaci krzyży.

Dla przykładu, na rysunku 2 przedstawiono obraz tarczy sygnalizacyjnej z czarnym krzyżem na białym tle (pkt 1123) oraz obraz tarczy sygnalizacyjnej z białym krzyżem na czarnym tle (pkt 1122). Obrazy tych sygnałów są bardzo dobrze widoczne w instrumencie i zapewniają pomiar współrzędnych tłowych z dokładnością kilku mikrometrów.

3. Wyniki pomiaru zdjęć i obliczeń na EMC, a mianowicie:

— Tabulogramy najprawdopodobniejszych wartości współrzędnych punktów aerotriangulacyjnych oraz badanych punktów sygnalizowanych (x_0, y_0, z_0 i x, y, z) wraz z wydrukiem błędów średnich ich wyznaczenia (m_x, m_y, m_z).

Powyższe współrzędne są wynikiem obliczenia i wyrównania na EMC Odra 1204 metodą niezależnych modeli (AEROBLOK) dwóch bloków aerotriangulacji analitycznej: bloku zdjęć w skali 1 : 5000 z roku 1970,

tworzących 24 modele stereoskopowe, i bloku zdjęć w skali 1 : 3300 z roku 1971, zawierających 64 modele.

— Wykaz różnic wyżej obliczonych współrzędnych punktów sygnalizowanych

$$\Delta x = x - x_0; \quad \Delta y = y - y_0; \quad \Delta z = z - z_0,$$

gdzie:

x_0, y_0, z_0 — współrzędne wyznaczone na podstawie pomiaru wyjściowego,

x, y, z — współrzędne wyznaczone na podstawie pomiaru aktualnego.

Na podstawie powyższych różnic obliczone zostały wartości bezwzględne przemieszczeń poziomych wg wzoru

$$|\Delta p| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

oraz wyznaczone bezpośrednio przemieszczenia pionowe Δz .

— Wykaz różnic wysokości Δz_A punktów nie sygnalizowanych (Z-punktów), wyznaczonych metodą analogową

$$\Delta z_A = z'_A - z_A,$$

gdzie:

z_A — wysokość punktu pomierzona na autografie przy opracowaniu zdjęć „wyjściowych”,

z'_A — wysokość odpowiedniego punktu, pomierzona na autografie przy opracowaniu zdjęć „aktualnych”.

Różnice powyższe są wartościami przemieszczeń pionowych wyznaczonych w danym cyklu badawczym.

Miarą dokładności wyznaczenia współrzędnych punktów sygnalizowanych i Z-punktów oraz przemieszczeń są błędy średnie podane w tabelicy 2.

Tablicę 2 charakteryzuje dokładność wyników badań, uzyskanych w trzech podstawowych cyklach badawczych.

Błędy średnie położenia i wysokości punktów sygnalizowanych, wyznaczonych w 1 cyklu badawczym (1970—1971) zawierają się w granicach:

— przy określeniu stanu wyjściowego w roku 1970:

$$m_p = \pm 7,7 \text{ cm} \quad (15,4 \text{ } \mu\text{m w skali zdjęcia}),$$

$$m_z = \pm 7,9 \text{ cm} \quad (0,1\text{‰ wysokości lotu});$$

— przy określeniu stanu aktualnego w roku 1971:

$$m_p = \pm 5,0 \text{ cm} \quad (15,1 \text{ } \mu\text{m w skali zdjęcia}),$$

$$m_z = \pm 5,8 \text{ cm} \quad (0,1\text{‰ wysokości lotu}).$$

Tablica 2

Błędy średnie wyznaczenia współrzędnych punktów i przemieszczeń

Zdjęcia lotnicze ze śmigłowca		Błędy średnie wyznaczenia						Uwagi
Rok wykonania	Skala wysokość lotu (w m)	współrzędnych punktów				przemieszczeń		
		m_x w cm (w μ m)	m_y w cm (w μ m)	m_p w cm (w μ m)	m_z w cm (‰ h)	$m_{\Delta p}$ w cm	$m_{\Delta z}$ w cm	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1970	1 : 5000 760	$\pm 5,9$ (11,8)	$\pm 4,9$ (9,8)	$\pm 7,7$ (15,4)	$\pm 7,0$ (0,09)	—	—	Cykle badawcze 1971—1970 1973—1970 1974—1973
1971	1 : 3300 500	$\pm 4,0$ (12,1)	$\pm 3,0$ (9,1)	$\pm 5,0$ (15,1)	$\pm 5,8$ (0,12)	$\pm 9,2$	$\pm 9,1$	
1973	1 : 3150 480	—	—	$\pm 6,0$ (19,1)	$\pm 5,0$ (0,10)	$\pm 9,7$	$\pm 8,6$	
1974	1 : 5000 760	—	—	$\pm 8,0$ (16,0)	7,0 (0,11)	$\pm 10,0$	$\pm 8,6$	
METODA ANALITYCZNA — dla punktów sygnalizowanych								
1970	1 : 5000 760	—	—	—	± 12 (0,16)	—	—	1971—1970 1973—1970 1974—1973
1971	1 : 3300 500	—	—	—	± 12 (0,24)	—	± 17	
1973	1 : 3150 480	—	—	—	± 9 (0,19)	—	± 15	
1974	1 : 5000 760	—	—	—	± 12 (0,16)	—	± 15	

Dokładność wyznaczenia przemieszczeń zarówno punktów sygnalizowanych, jak i Z-punktów została scharakteryzowana w 1 cyklu badawczym następującymi błędami średnimi:

— przy metodzie analitycznej:

$$m_{\Delta p} = \pm 9,2 \text{ cm}; \quad m_{\Delta z} = \pm 9,1 \text{ cm},$$

— przy metodzie analogowej:

$$m_{\Delta z} = \pm 17 \text{ cm}.$$

Tablica 3 przedstawia fragment tabulogramu obliczonych na EMC Odra 1204 współrzędnych punktów atriangulacyjnych oraz wydruk

Tablica 3

**Fragment tabulogramu współrzędnych punktów aerotriangulacyjnych,
obliczonych na EMC ODRA 1204**

PROGRAM AEROBLOK 5			
OCENA DOKŁADNOŚCI WPASOWANIA			
BŁĘDY ŚREDNIE NA FOTOPUNKTACH:			
MX = .046 MY = .033 MZ = .028 MP = .057			
BŁĘDY ŚREDNIE OSNOWY:			
MX = .053 MY = .048 MZ = .050 MP = .071			
PUNKTY AEROTRIANGULACYJNE			
NR	X	Y	Z
101	23989.32	— 89947.65	285.38
102	23764.79	— 90195.91	287.61
8	23764.75	— 90195.88	287.60
16	23764.76	— 90195.90	287.62
	.02	.02	.01
103	23476.00	— 89947.15	257.26
8	23476.01	— 89947.15	257.25
15	23475.99	— 89947.16	257.27
16	23476.00	— 89947.12	257.25
24	23476.00	— 89947.15	257.26
	.00	.01	.01
104	23203.85	— 90207.96	263.69
16	23203.83	— 90208.02	263.66
24	23203.83	— 90207.96	263.67
32	23203.86	— 90208.00	263.71
	.01	.02	.01
105	22904.73	— 89957.16	295.89
24	22904.78	— 89957.18	295.87
32	22904.74	— 89957.17	295.91
39	22904.75	— 89957.15	295.88
40	22904.69	— 89957.15	295.91
	.02	.01	.01
106	22636.08	— 89956.01	287.67
32	22636.07	— 89956.01	287.69
39	22636.05	— 89956.02	287.72
40	22636.04	— 89956.02	287.72
47	22636.08	— 89955.98	287.66
48	22636.06	— 89956.00	287.69
	.01	.01	.02

odpowiednich błędów średnich. Jak widać, współrzędne pojedynczego punktu są obliczane kilkakrotnie, w zależności od liczby modeli, z których dany punkt został wyznaczony, na przykład: punkt 102 — z modeli 8 i 16, punkt 103 z modeli 8, 15, 16 i 24.

4. Opracowania graficzne:

— Wektory przemieszczeń poziomych i pionowych, wykreślone w skali 1 : 20 na podkładzie istniejącej mapy obszaru górniczego, w skali 1 : 2000.

— Mapa rzeźby terenu rejonu Barycz-Pagory. Na autografie Wilda A8 został opracowany dwukrotnie 1 arkusz mapy w skali 1 : 1000 (na pod-

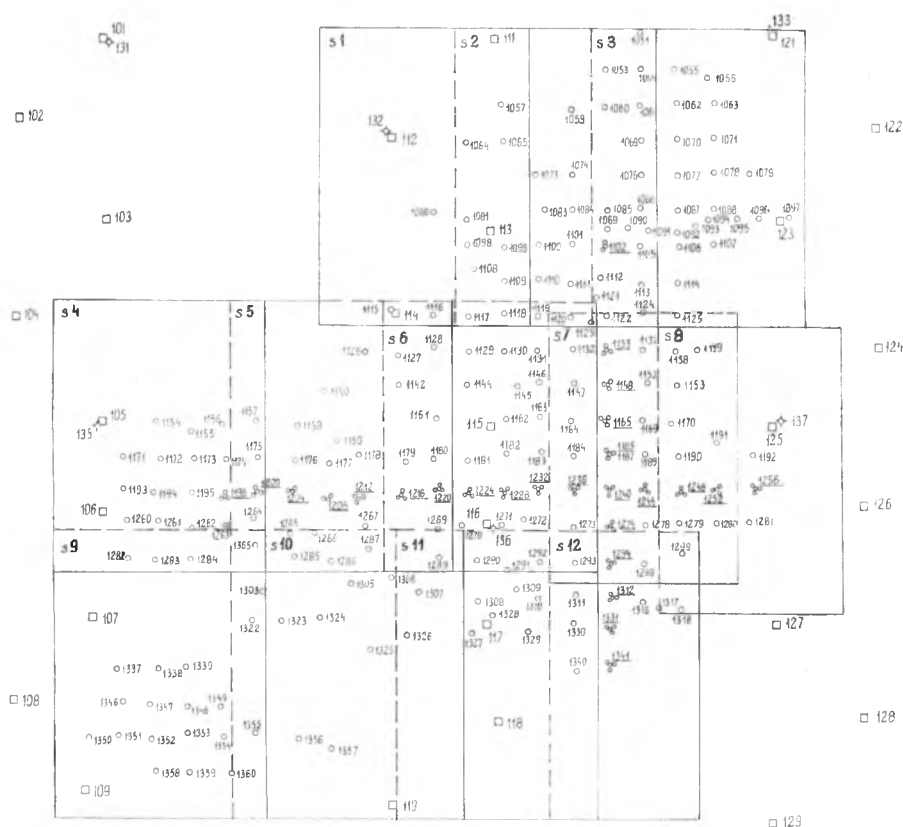
stawie zdjęć lotniczych z dnia 29. 07. 1970 r. i 10. 10. 1971 r.), obejmujący obszar nowego pola eksploatacyjnego „Pagory”. Dla tych map przyjęto cięcie warstwicowe zasadnicze co 1,0 m i pomocnicze co 0,5 m. Stanowią one dodatkowe źródło informacji o zmianach ukształtowania terenu pod wpływem rozpoczynającej się w tym rejonie eksploatacji górniczej.

Porównanie przebiegu jednoimiennych warstwic na mapach z roku 1970 i 1971 nie wykazało zasadniczych zmian powierzchni terenu w okresie pierwszego cyklu badawczego.

— Podkłady do identyfikacji Z-punktów w kolejnych cyklach rejestracyjnych.

Podczas pierwszego, wyjściowego pomiaru wysokości Z-punktów na autografie, opracowano 12 sekcji, tak zwanych „podkładów” na planszach aluminiowych, formatu A1.

Na plansze te, ponumerowane od 1 do 12, wkartowano w skali 1 : 1000 wszystkie punkty wiążące i sygnalizowane, określone metodą aerotriangulacji blokowej. Stanowią one podstawę fotogrametryczną dla orientacji



Rys. 3. Szkic sekcji do identyfikacji punktów nie sygnalizowanych

bezwzględnej poszczególnych modeli w autografie. Po dokonaniu wyboru i pomiarzeniu wysokości każdego Z-punktu zaznaczono jego położenie na wyżej wymienionych planszach (przez nakłucie za pomocą igły koordynatografu sprzężonego z autografem). W ten sposób zlokalizowano położenie wszystkich Z-punktów w stosunku do osnowy fotogrametrycznej, określonej podczas pierwszej rejestracji fotograficznej powierzchni terenu. Z uwagi na fakt, że współrzędne punktów osnowy są wyznaczone zawsze w tym samym układzie współrzędnych na podstawie aktualnego dla danego cyklu pomiaru polowego fotopunktów, zapewniona zostaje właściwa orientacja bezwzględna zdjęć w kolejnych cyklach pomiarowych, a przez to również i jednoznaczna identyfikacja wybranych na początku Z-punktów. Pomiar ich wysokości odbywa się każdorazowo po naprowadzeniu znaczka pomiarowego autografu na nakłute na odpowiednich planszach Z-punkty. Dokładność w ten sposób wykonywanej identyfikacji punktów nie sygnalizowanych w terenie, zależy przede wszystkim od dokładności orientacji bezwzględnej zdjęć w autografie.

Rysunek 3 przedstawia pomniejszony szkic wyżej wymienionych sekcji, wykonany w rzeczywistości w skali 1 : 5000. Jest on bardzo przydatny do pracy w kolejnych cyklach badawczych, gdyż znakomicie ułatwia wybór właściwej sekcji przy opracowaniach autogrametrycznych.

3.1.2. Cykl podstawowy drugi, 1970—1973

Zakres prac badawczych oraz rodzaj dokumentacji opracowanej w tym cyklu nie różni się w sposób zasadniczy od prac wykonanych w cyklu pierwszym. Ze względu na to, że zostały one omówione szczegółowo w punkcie 3.1.1, wydaje się celowe podanie tu tylko nieznacznych zmian, które powstały przy realizacji programu na etapie prac polowych w roku 1973. Zmiany te dotyczyły między innymi:

- dodatkowej stabilizacji w terenie 4 fotopunktów, które należało wybrać i pomierzyć zamiast fotopunktów zniszczonych, oraz

- sprawdzenia niezmienności położenia sieci głównej, to jest „punktów stałych”. Ze względu na znaczny koszt prac polowych związanych z nowym wyznaczeniem współrzędnych „punktów stałych”, porzeczano na pomiarzeniu w roku 1973 odpowiednich kierunków na punkty stałe i porównaniu ich z odpowiednimi kierunkami z roku 1970. Wynik tego porównania potwierdził przypuszczenie, że sieć „punktów stałych” w okresie lat 1970—1973 można uznać za niezmienną.

Podobnie jak w 1 cyklu badawczym, za podstawę do wyznaczenia przemieszczeń powierzchni terenu w okresie od 29.07.1970 do 15.09.1973 przyjęto:

- wykaz różnic współrzędnych (Δx , Δy , Δz) punktów sygnalizowa-

Wektory przemieszczeń poziomych i pionowych punktów obserwowanych

1001 131

w okresie od lipca 1970 r. do września 1973 r.
na podstawie zdjęć lotniczych:
w skali 1:5000 z dnia 29.07.1970 r.
w skali 1:3300 z dnia 15.09.1973 r.

1011

133 1021

1002

132 1012

1022

1003

1013

1023

1004

1014

1024

1005 135

1015

137 1025

1006

1016 136

1026

1007

1017

1027

1008

1028

1009

- 1018 — punkty osnowy fotogrametrycznej — fotopunkty
- punkt niesygnalizowany z wektorem przemieszczenia pionowego
- punkt sygnalizowany z wektorem przemieszczenia poziomego i pionowego

0 200 400 cm — skala wektorów

Rys. 4. Wektory przemieszczeń poziomych i pionowych w okresie 1970—1973

nych, wyznaczonych na podstawie zdjęć lotniczych, rejestrujących stan wyjściowy (29. 07. 1970) i stan aktualny terenu (15. 09. 1973);

— wykaz różnic wysokości (Δz) punktów nie sygnalizowanych, odnoszących się do wyżej wymienionego okresu;

— wektory przemieszczeń poziomych i pionowych punktów obserwowanych w okresie 1970—1973;

— mapy rzeźby terenu rejonu Barycz-Pogory, przedstawiające stan aktualny i wyjściowy.

Powyższe opracowania zostały wykonane wg tych samych zasad i kryteriów jak i dokumentacja wyników pierwszego cyklu badawczego, opisana w punkcie 3.1.1.

Dla ilustracji wielkości i charakteru zmian powierzchni terenu w okresie 1970—1973 opracowano kalkę wektorów przemieszczeń pokazaną na rysunku 4. W rzeczywistości wektory przemieszczeń zostały wykreślone w skali 1 : 20 na podkładzie istniejącej mapy obszaru górniczego w skali 1 : 2000. Na rysunku 4 pokazano również rozmieszczenie fotopunktów zaznaczonych kwadratami.

Wyniki przeprowadzonych badań upoważniają do sformułowania następujących wniosków:

a) W okresie lat 1970—1973 nastąpiły zmiany powierzchni terenu w rejonie starych zapadłisk we wschodniej części badanego obszaru (zaznaczonego na rys. 4 linią przerywaną).

Świadczą o tym na przykład wielkości przemieszczeń punktów 1184 i 1163, które przy jednakowym kierunku zmian osiągnęły wartości bezwzględne do 4,5 metra — dla przemieszczeń poziomych i do 1,0 metra — dla przemieszczeń pionowych.

Wartości tych przemieszczeń w odpowiednich okresach czasu zestawiono w tablicy 4, podając w metrach przemieszczenia poziome (Δp) i pionowe (Δz) oraz w nawiasach prędkości przeciętne ruchu punktów (v_p i v_z) w metrach na 1 rok.

Prędkości v_p i v_z potraktowano jako wielkości przeciętne, ponieważ nie ma informacji co działo się z terenem w czasie między kolejnymi rejestracjami.

b) Mniejsze wartości przemieszczeń stwierdzone w okresie 1971—1973 w porównaniu z okresem 1970—1971 są prawdopodobnie następstwem coraz bardziej malejących prędkości odkształceń terenu w rejonie starych zapadłisk.

Jak widać z przykładowego zestawienia zmian przytoczonych w tablicy 4, istnieje zależność między wielkością przemieszczeń a okresem czasu, w którym te zmiany nastąpiły. Formułowanie dalej idących wniosków na podstawie zmian, stwierdzonych na małej liczbie punktów, wydaje się być ryzykowne. Trudno jest również wypowiadać się o charakterze zmian

Tablica 4

Okres badań	Punkt nr 1184		Punkt nr 1163	
	Δp (v_p) w m	Δz (v_z) w m	Δp (v_p) w m	Δz (v_z) w m
1970—1971 14,5 miesięcy	2,45 (2,04)	−0,35 (−0,29)	3,00 (2,50)	−0,68 (−0,56)
1970—1973 37,5 miesięcy	3,16 (1,02)	−0,46 (−0,15)	4,36 (1,41)	−1,04 (−0,34)
1971—1973 23,0 miesiące	0,71 (0,37)	−0,11 (−0,06)	1,36 (0,72)	−0,36 (−0,19)

powierzchniowych. tylko na podstawie wyników pomiaru przemieszczeń. Problem oceny zjawisk deformacyjnych wychodzi poza ramy prac geodezyjnych i wymaga włączenia się specjalistów różnych dziedzin wiedzy, jak np. geologów, hydrologów, górników [3].

c) Na podstawie różnic współrzędnych punktów oraz porównania map rzeźby terenu można stwierdzić, że na pozostałym obszarze badań w okresie 1970—1973 nie nastąpiły istotne zmiany w ukształtowaniu pionowym terenu. Wielkość przemieszczeń przestrzennych punktów badanych nie przekroczyła bowiem dwukrotnego błędu średniego ich wyznaczenia. Błąd ten, podobnie jak w cyklu badawczym pierwszym (tablica 3), zawiera się w granicach:

— przy metodzie analitycznej

$$m_{\Delta p} = \pm 9,7 \text{ cm}; \quad m_{\Delta z} = \pm 8,6 \text{ cm};$$

— przy opracowaniach analogowych:

$$m_{\Delta z} = \pm 15 \text{ cm}.$$

d) Wyniki przeprowadzonych badań uzasadniają celowość stosowania metod fotogrametrycznych do wyznaczenia przemieszczeń powierzchni terenu, gdzie zjawiska deformacyjne są trudne do przewidzenia zarówno pod względem czasu, jak i miejsca wystąpienia.

Przytoczona w tablicy 4 maksymalna prędkość ruchu punktu $v_p = 2,5$ m/rok powoduje przy założeniu, że odkształcenia terenu mają charakter ciągły, przemieszczenie punktów o wartość około 5 centymetrów w ciągu tygodnia. Oznacza to, że przy zastosowaniu klasycznych metod geodezyjnych (zapewniających dokładność wyznaczenia współrzędnych punktów z błędem średnim co najmniej $m = \pm 5$ cm), należałoby wszystkie badane punkty pomierzyć w przeciągu co najmniej jednego tygodnia. Spełnienie tego warunku, aczkolwiek teoretycznie możliwego, jest trudne do wykonania, chociażby ze względu na konieczność koncentracji

znacznych sił i środków, podrażających istotnie koszt badań. Metodą, która zapewnia rejestrację stanu aktualnego powierzchni dużych obszarów w określonym „momencie” i umożliwia pomiar dużej liczby punktów w sposób wystarczająco dokładny i ekonomiczny, jest metoda fotogrametryczna.

3.1.3. Cykl podstawowy trzeci 1973—1974

W odróżnieniu od poprzednich okresów, prace w trzecim cyklu zostały ograniczone pod względem obszaru badań do rejonu pola eksploatacyjnego Pagory. Warto przy tym zaznaczyć, że w dotychczasowym programie badań, z uwagi na intensywną eksploatację złoża, wspomniany rejon był wyróżniany. Oprócz wyznaczenia przemieszczeń terenu na podstawie badania pojedynczych punktów terenu (punktów sygnalizowanych i Z-punktów), w rejonie Pagor prowadzono bowiem badania powierzchniowe, oparte na wynikach porównania okresowo wykonywanych map rzeźby terenu.

Porównanie przebiegu warstwic na tych mapach oraz ocena różnic współrzędnych punktów, badanych okresowo, nie wykazywały istotnych zmian w ukształtowaniu terenu na przestrzeni lat 1970—1973. Natomiast w marcu 1974 r. w rejonie Pagor nastąpiło gwałtownie odkształcenie górotworu, które na zewnątrz powierzchni przejawiało się w postaci koncentrycznie uformowanej mikroniecki z typowymi spękaniem terenu i zapadliskiem wypełnionym wodą. Fakt ten stał się bezpośrednią przyczyną podjęcia decyzji o przeprowadzeniu badania odkształceń w okresie od 1973 do 1974.

Prace, mające na celu wyznaczenie wielkości przemieszczeń terenu w rejonie Pagor, wykonano zgodnie z zasadami przyjętej technologii.

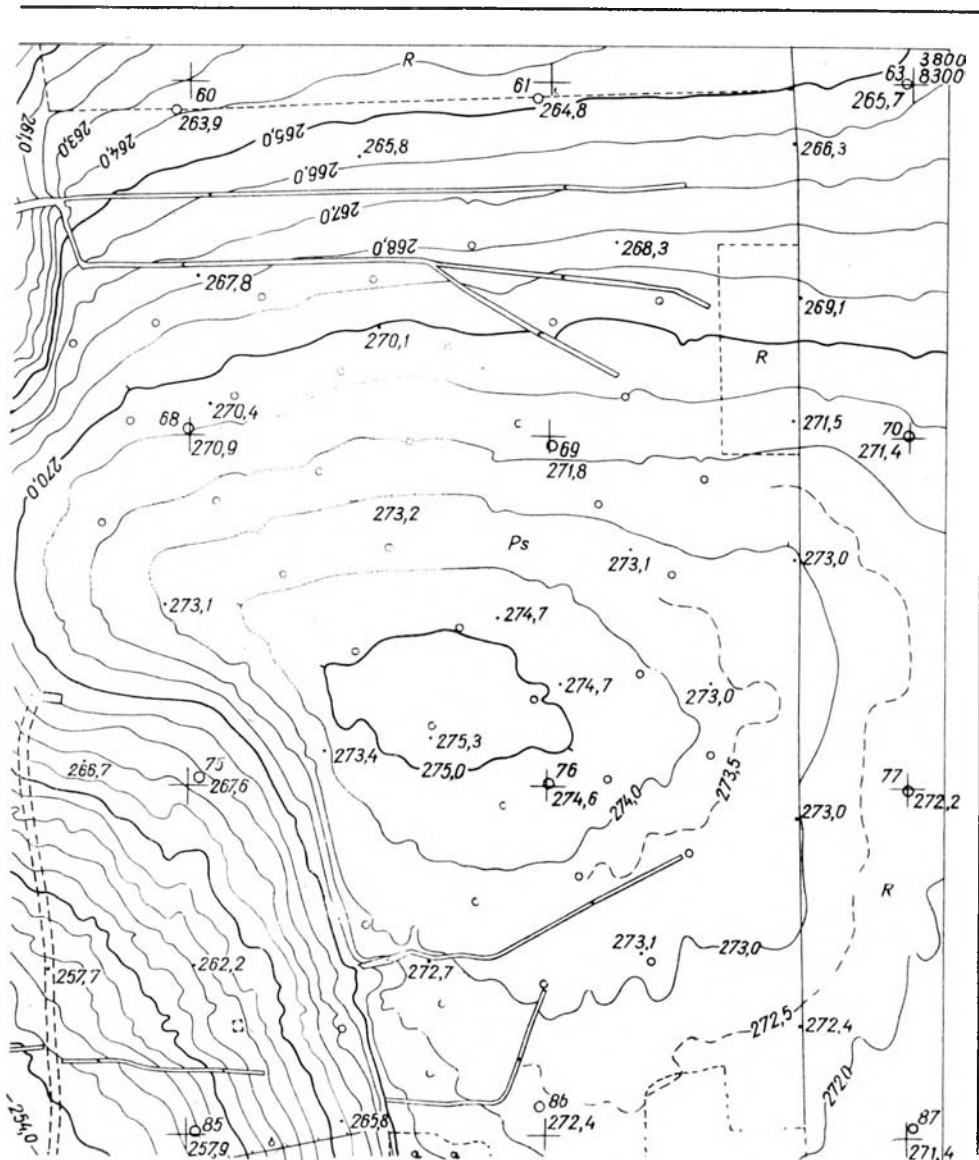
Stan aktualny badanej powierzchni określono na podstawie zdjęć lotniczych w skali 1 : 5000, wykonanych dnia 10. 04. 1974 roku, natomiast za stan wyjściowy przyjęto dane o terenie uzyskane z opracowania zdjęć lotniczych z dnia 15. 09. 1973 roku. Należy również dodać, że te ostatnie dane o terenie nie wykazują istotnych różnic w porównaniu z danymi uzyskanymi na podstawie opracowania zdjęć sprzed przeszło trzech lat, to jest z dnia 29. 07. 1970 roku.

Do podstawowych dokumentów, opracowanych dla oceny zmian powierzchni terenu w okresie 1973—1974, należą:

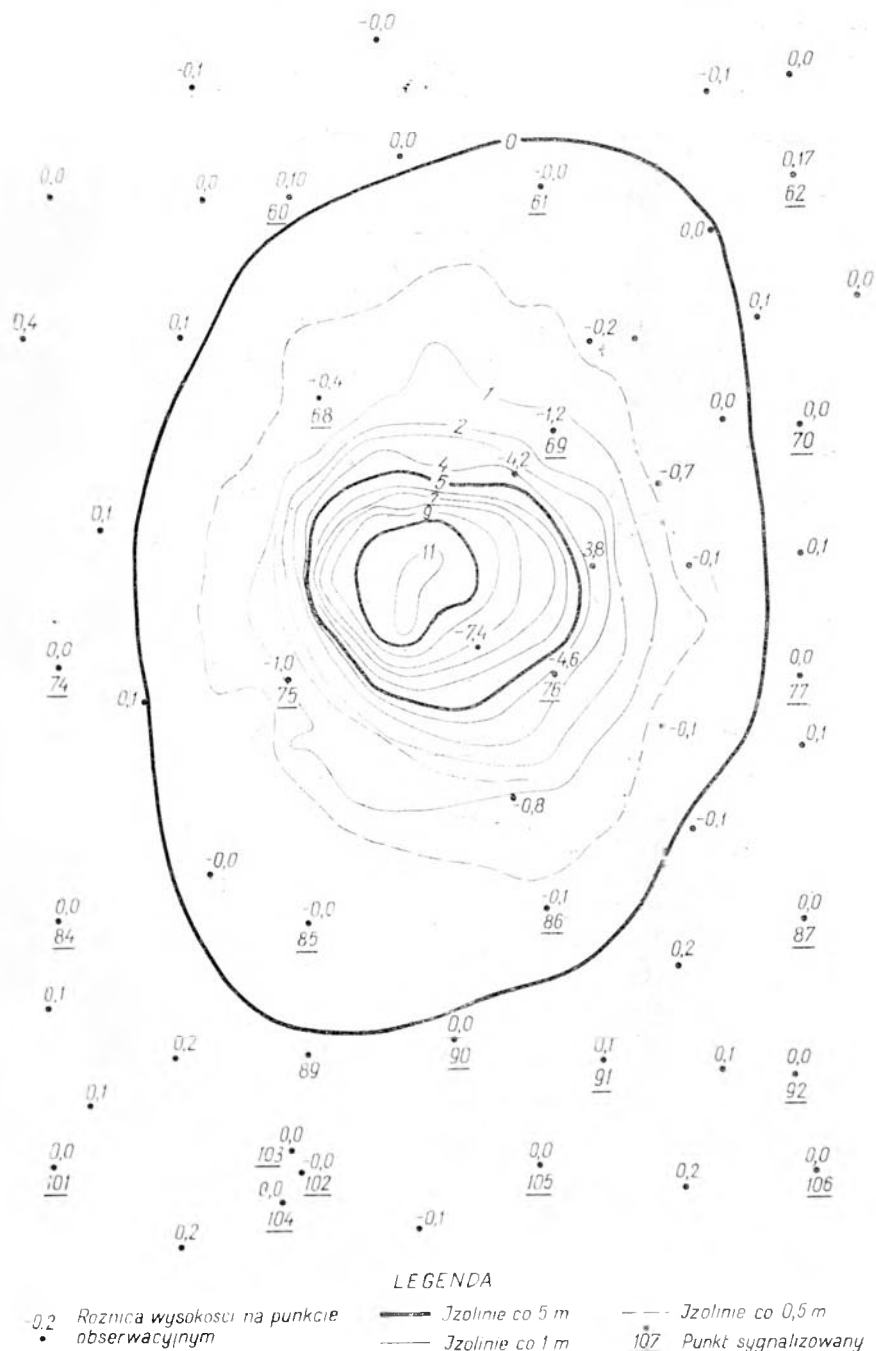
a) Wykazy różnic współrzędnych przestrzennych (Δx , Δy , Δz) 69 punktów sygnalizowanych oraz różnice wysokości 119 Z-punktów. Na ich podstawie wyznaczono odpowiednie przemieszczenia, które dla punktów sygnalizowanych (nie zniszczonych podczas tworzenia się zapadliska) osiągają wartości rzędu 1 metra, natomiast dla Z-punktów przekraczają wartość 7 metrów. Należy podkreślić, że zarówno przesunięcia poziome jak i osia-

b) Mapy rzeźby terenu Barycz-Pagory w skali 1 : 1000 według stanu na dzień 10.04.1974 i 15.09.1973 r.

Porównanie przebiegu warstwicy na tych mapach wykazuje bardzo istotne zmiany w morfologii terenu oraz dowodzi, że badania powierzchniowe dają pełniejszą informację o zmianach ukształtowania pionowego terenu



Rys. 5b. Wycinek mapy rzeźby terenu w skali 1 : 1000 wg stanu na dzień 15.09.1973 r. (w zmniejszeniu)



Rys. 6. Izolinie osiadania terenu w latach 1973—1974

od badań punktowych. Świadczą o tym wycinki odpowiednich map przedstawione na rysunkach 5a i 5b.

Z porównania tych map wyraźnie widać, że na miejscu wzniesienia z punktem wysokościowym 275,3 (rys. 5b) powstało zapadlisko wypełnione wodą, której poziom zaznaczono punktem wysokościowym 264,0 (rys. 5a).

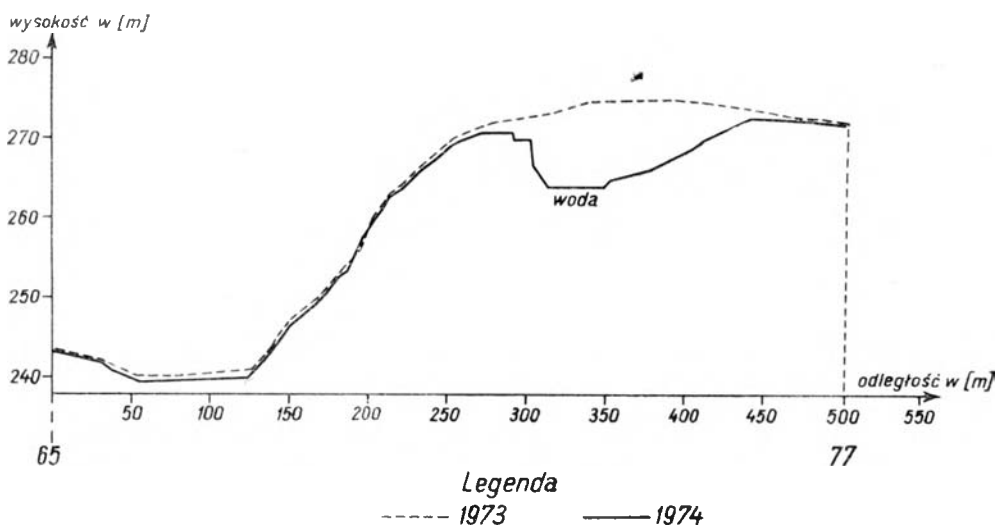
Tak więc maksymalne przemieszczenie pionowe terenu, wykryte na podstawie porównania warstwic wynosi ponad 11 metrów, podczas gdy na podstawie porównania wysokości okresowo badanych punktów uzyskano informację, że przemieszczenie to przekracza 7 metrów. Fakt ten świadczy o celowości prowadzenia badań powierzchniowych przy występowaniu makroruchów terenu.

c) Izolinie osiadania terenu w okresie 1973—1974. Linie równych przemieszczeń pionowych wykreślono na mapie obszaru górniczego w skali 1 : 2000. Dla celów ilustracyjnych przerysowano je na kalkę i w zmniejszeniu przedstawiono na rysunku 6.

Jako podstawę do opracowania powyższych izolinii przyjęto:

- różnice wysokości ($\Delta z = z_{74} - z_{73}$) punktów badanych;
- profile pionowe terenu, opracowane na podstawie map rzeźby terenu i wykreślone wzdłuż linii łączących punkty sygnalizowane.

Linie równych przemieszczeń pionowych wykreślono w odstępach zasadniczych co 1,0 metra i pomocniczych co 0,5 metra. Jak widać z rysunku 6, izolinia zerowa ma kształt zbliżony do wydłużonej w kierunku NS elipsy o osiach wynoszących około 370 i 250 metrów. Największe zmiany powierzchni stwierdzono w rejonie otoczonym punktami sygnalizowanymi 68, 69, 75, 76.



Rys. 7. Profile pionowe terenu 65—77, przechodzące przez środek zapadliska

Rysunek 7 przedstawia w pomniejszeniu jeden z profili pionowych terenu, opracowanych w celu wzbogacenia danych do wykreślenia izolinii. Jest to profil wykreślony wzdłuż prostej łączącej punkty sygnalizowane 65—77 i przechodzący przez środek zapadliska.

Niezależnie od wyżej omówionych opracowań, bezpośrednio dotyczących wyznaczenia przemieszczeń terenu w okresie 1973—1974, na życzenie zleceniodawcy wykonano jeszcze prace dodatkowe, przydatne do jakościowej, specjalistycznej oceny zjawisk deformacyjnych.

Do nich należą między innymi następujące opracowania:

d) Pomiar i obliczenie objętości (kubatury mas ziemnych) zapadliska, która wynosi $V = 86\,000\text{ m}^3 \pm 14\% V$. Obliczona ona została jako różnica objętości dwóch numerycznych modeli terenu, opracowanych na podstawie zdjęć lotniczych z dnia 10.04.1974 i z dnia 29.07. 1970 roku.

e) Opracowanie dwóch arkuszy ortofotomap tematycznych w skali 1 : 2000 o wymiarach 40×50 centymetrów. Są to „Ortofotomapy górniczych elementów powierzchni terenu Pola eksploatacyjnego Pagory”, opracowane według stanu na dzień 10.04.1974 i 29.07.1970.

Przedstawione w punkcie 3.1. wyniki prac pomiarowych stanowią materiał wyjściowy dla podjęcia wszechstronnych badań specjalistycznych.

3.2. Wyniki badań i prac wykonanych na podstawie zdjęć archiwalnych

W toku prowadzonych badań, opartych na wykorzystaniu aktualnych zdjęć lotniczych, powstała myśl odtworzenia kształtu powierzchni badanego obszaru górniczego na podstawie zdjęć dawnych. Zdjęcia te wprawdzie nie odpowiadają przyjętym do badań założeniom (znacznie mniejsza skala, brak sygnalizacji punktów obserwacyjnych), jednak stanowią bardzo cenny materiał dla ustalenia rozwoju zjawisk deformacyjnych.

W omawianym przypadku badań, udało się odszukać zdjęcia z roku 1957 w skali 1 : 15 000 i zdjęcia z roku 1953 w skali 1 : 21 000.

Ze względu na oczywisty brak na tych zdjęciach sygnalizacji punktów, ograniczono się do wyznaczenia przemieszczeń pionowych, to jest osiadiania względnie wypiętrzania terenu.

Technologia wyznaczania powyższych przemieszczeń jest podobna do technologii omówionej i przedstawionej w tablicy 1, zwłaszcza w części dotyczącej fotogrametrycznych opracowań analogowych. Pełny jej opis wymaga jednak odrębnego opracowania. W niniejszej pracy wydaje się celowe podanie najważniejszych czynności, które zostały wykonane przy wyznaczeniu przemieszczeń pionowych na podstawie zdjęć archiwalnych.

Do nich należą:

— Analiza zdjęć i innych materiałów archiwalnych w celu wyboru

skali opracowania i parametrów niezbędnych do orientacji zdjęć w autografii.

- Wykonanie diapozytywów zdjęć archiwalnych na płytach szklanych.
- Wybór i identyfikacja punktów wspólnych na zdjęciach archiwalnych i zdjęciach rejestrujących stan aktualny.
- Wybór punktów dostosowania na zdjęciach archiwalnych.
- Pomiar punktów wspólnych i punktów dostosowania oraz wyznaczenia ich współrzędnych metodą analitycznej aerotriangulacji blokowej.
- Transformacja współrzędnych punktów dostosowania.
- Przygotowanie podkładów w odpowiedniej skali do identyfikacji punktów.
- Opracowanie analogowe zdjęć — pomiar i wyznaczenie wysokości punktów badanych.
- Obliczenie różnic wysokości odpowiadających sobie punktów.
- Opracowanie i wykreślenie izolinii przemieszczeń pionowych w danym okresie.
- Ocena dokładności wyznaczonych przemieszczeń.

3.2.1. Cykl dodatkowy, 1957—1973

W wyniku wykonania prac pomiarowych, dotyczących wyznaczenia przemieszczeń pionowych terenu w okresie 1957—1973 otrzymano następującą dokumentację:

- a) Tabulogram różnic wysokości ($\Delta z = z_{73} - z_{57}$) 670 punktów badanych.

Dokładność wyznaczenia tych różnic oceniono na podstawie nieznacznych różnic wysokości otrzymanych na punktach, które ze względu na swoje usytuowanie nie powinny wykazywać zmian. Do oceny tej dokładności przyjęto 397 punktów, położonych poza rejonem wpływów eksploatacyjnych. Obliczony w ten sposób średni błąd wyznaczenia przemieszczeń pionowych punktów wynosi $m_{\Delta z} = \pm 0,3$ metra.

- b) Izolinie osiadania terenu.

Jako podstawę do wykreślenia izolinii przemieszczeń pionowych przyjęto:

- różnice wysokości punktów, wymienionych w punkcie a),
- 24 pary profili pionowych terenu, opracowane na podstawie istniejącej mapy topograficznej z 1957 roku oraz na podstawie pomiaru analogicznych profili na autografii w oparciu o zdjęcia lotnicze z 1973 roku.

Wykorzystanie profili pionowych do opracowania izolinii zostało spowodowane tym, że przy zaobserwowanych nieciągłych deformacjach terenu same tylko różnice wysokości punktów badanych okazały się nie wystarczające dla określenia najbardziej prawdopodobnego przebiegu izolinii.

Opracowany wykres izolinii przeniesiono na podkład mapy obszaru górniczego w skali 1 : 2000. Jest on pokazany w zmniejszeniu na rysunku 8.

Linie równych osiadań poprowadzono w odstępach zasadniczych co 1,0 metr (linie ciągłe) oraz w odstępach pomocniczych co 0,5 metra (linie przerywane).

Na tle wykresu izolinii zaznaczono również położenie sytuacyjne badanych punktów, podając przy nich wartości zmian wykrytych w okresie 1957—1973.

3.2.2. Cykl dodatkowy, 1953—1973

W celu opracowania izolinii osiadania terenu w okresie 1953—1973 wykonano analogiczne prace jak w okresie 1957—1973. Do wyznaczenia wysokości punktów, rejestrujących stan z roku 1953, wykorzystano zdjęcia w skali mniejszej, to jest 1 : 21 000. Dlatego też dokładność ich określenia w porównaniu z okresem poprzednim jest niższa. Została ona bowiem scharakteryzowana błędem średnim $m_{\Delta z} = \pm 0,5$ metra. Jest to jednak dokładność zadowalająca, jeśli się zważy, że została uzyskana przy pomiarze wysokości punktów na podstawie zdjęć lotniczych wykonanych z wysokości lotu $h = 7500$ metrów. Na podstawie prac doświadczalnych, popartych analizą teoretyczną, przyjmuje się bowiem, że dokładność wyznaczenia wysokości punktów na podstawie zdjęć lotniczych waha się w granicach $\pm 0,1\%$ wysokości lotu.

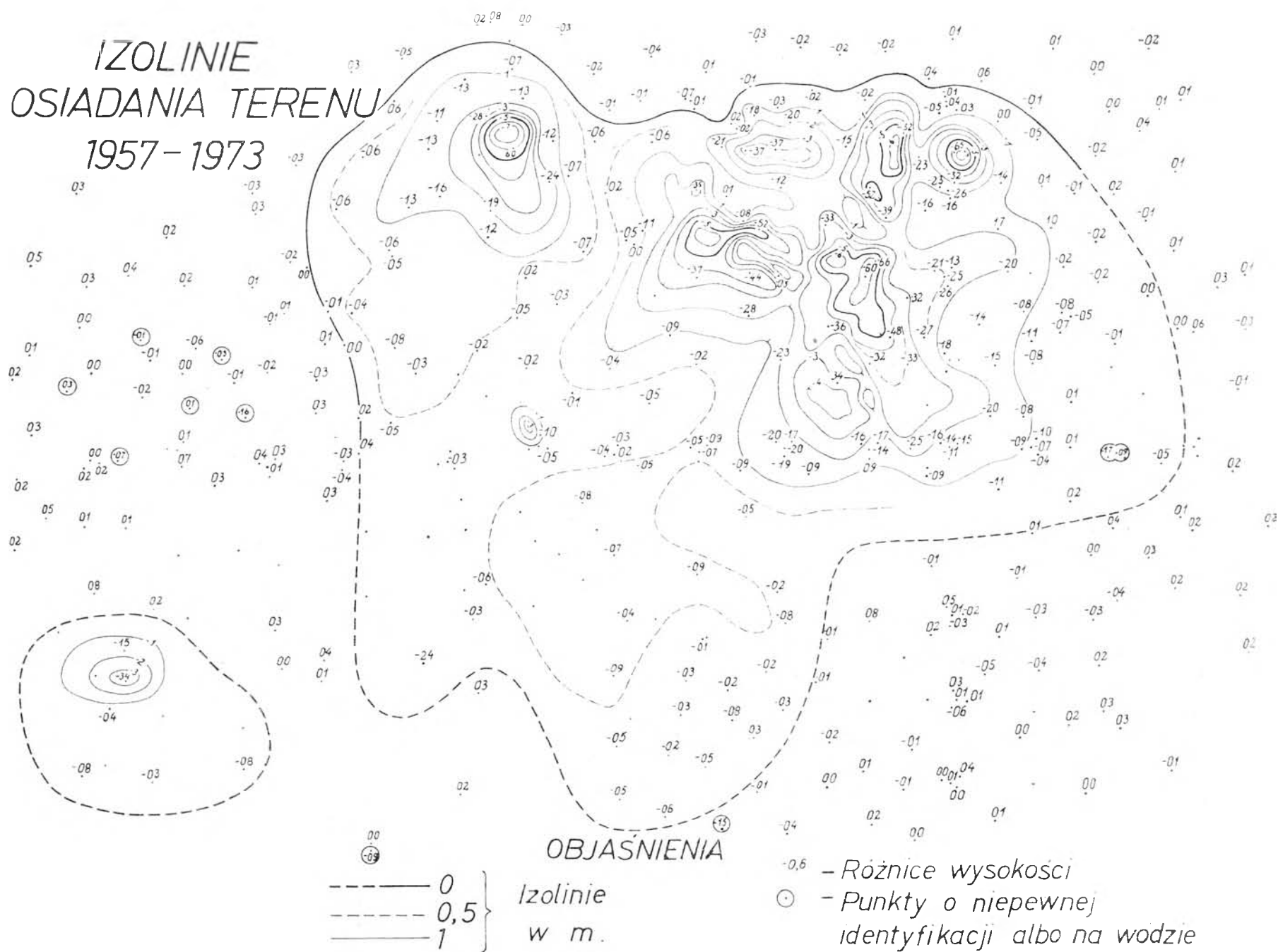
4. Wnioski ogólne

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz uzyskanych wyników przy wyznaczaniu przemieszczeń terenu metodami fotogrametrycznymi można sformułować następujące wnioski:

1. Opracowana w Instytucie Geodezji i Kartografii technologia wyznaczania dużych i szybkozmiennych przemieszczeń powierzchni terenów górniczych umożliwia rejestrację stanów aktualnych powierzchni terenu na określony moment czasu za pomocą zdjęć lotniczych oraz wyznaczenie współrzędnych dowolnej liczby punktów terenu z dokładnością kilku centymetrów.

2. W latach 1970—1973 stwierdzono w rejonie „starej eksploatacji” lokalne przesunięcia poziome badanych punktów dochodzące do 4,5 metra i obniżenia rzędu 1 metr. Przemieszczenia te są zlokalizowane na zboczach wzniesień terenu, charakteryzującego się spękaniami i osuwiskami po-

IZOLINIE OSIADANIA TERENU 1957-1973



Rys. 8

wierzchni. Do ustalenia, czy wykryte zjawiska deformacyjne są wynikiem systematycznego zaciskania się pustek pogórnich i odkształcenia górotworu w wyniku podziemnego ługowania soli, czy też wpływami atmosferycznymi, niezbędne są badania specjalistyczne.

Wykonane w tym samym czasie badania stanu powierzchni w rejonie „nowej eksploatacji” (pola eksploatacyjnego Pagory) nie wykazały zmian ukształtowania terenu. Istotne zmiany wystąpiły dopiero po rozpoczęciu intensywnej eksploatacji złoża i doprowadziły do raptownego zawału górotworu, co ujawniło się na powierzchni w postaci uformowania się mikro-niecki z typowym zapadliskiem. Głębokość zapadliska do zwierciadła wody wynosi przeszło 11 metrów.

3. Istnieje możliwość odtwarzania stanu ukształtowania powierzchni terenu sprzed wielu lat na podstawie zdjęć archiwalnych, wykonanych dla innych celów. Świadczy o tym odtworzenie stanu powierzchni badanego obszaru na podstawie zdjęć lotniczych wykonanych w latach 1957 i 1953. Ich porównanie ze stanem powierzchni z roku 1973 wykazało lokalne obniżenie terenu, przekraczające 7 metrów. Dokładność wyznaczenia tych obniżzeń zależy przede wszystkim od skali wykorzystywanych do tego celu zdjęć lotniczych.

4. Pobieżna analiza wskaźników techniczno-ekonomicznych, opracowana na podstawie uzyskanych wyników i poniesionych kosztów jest korzystna dla stosowania metod fotogrametrycznych.

Jeżeli przyjąć, że dla oceny zjawisk deformacyjnych, charakteryzujących się makroruchami, wystarczające jest cykliczne wyznaczanie współrzędnych przestrzennych dużej liczby punktów z dokładnością rzędu kilku centymetrów, to wówczas metoda fotogrametrii analitycznej jest w przybliżeniu 6-krotnie tańsza od klasycznej metody geodezyjnej.

Zuwagi jednak na fakt, że powyższe relacje wyprowadzono na podstawie kosztów poniesionych przy pracach badawczych, nie można na tej podstawie określać definitywnie rzeczywistych efektów ekonomicznych.

Można natomiast podać, że przy wdrożeniu tej metody do produkcji efekty ekonomiczne wyrażą się oszczędnością około 500 tysięcy złotych w skali jednego cyklu rejestracyjnego. Wyliczenie powyższe wynika z różnicy kosztów pomiaru 349 punktów metodą geodezyjną i fotogrametryczną, przy ostrożnym założeniu stosunku kosztów 2 : 1 na korzyść metody fotogrametrycznej.

L I T E R A T U R A

- [1] Janusz W.: Wymagania techniczne i organizacyjne dotyczące pomiarów realizacyjnych i kontrolnych. Rozdział I podręcznika „Obsługa geodezyjna budowli i konstrukcji”, wydanie drugie uzupełnione. PPWK, Warszawa 1975 r.

- [2] *Uspienskiy M. S.*: O badaniu wpływu technogennych procesów na deformacje powierzchni terenu i trwałość punktów geodezyjnych. *Geodezja i Kartografia* nr 4, Moskwa 1975 r.
- [3] *Bohonos B., Bychawski W.*: Wyznaczanie wielkości przemieszczeń i odkształceń powierzchni terenu metodą fotogrametryczną. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii*, tom XIX, zeszyt 2(45), Warszawa 1972 r.

Recenzował: doc. dr hab. inż. Wojciech Janusz

Rękopis złożono w Redakcji w maju 1976 r.

БОГДАН БОХОНОС

ТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БОЛЬШИХ, БЫСТРОИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ПОВЕРХНОСТИ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОЙ МЕСТНОСТИ НА ОСНОВЕ АЭРОФОТОСНИМКОВ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЁ ПРИМЕНЕНИЯ

Резюме

Представленная технология разработана на основе результатов многолетних исследовательских и реализационных работ, проводимых Институтом геодезии и картографии совместно с соляными шахтами Величка-Бохня. Предметом этих работ было определение перемещений и деформации местности соляной шахты с буровыми скважинами, где эксплуатация производится методом подземного выщелачивания. Последствием этого метода эксплуатации является значительная деформация горных пород, которая снаружи проявляется в виде типичных впадин, сползней и трещин поверхности местности.

Ввиду трудностей в определении *a priori* места и времени выступления вышеуказанных деформаций и беря во внимание сравнительно большое перемещение местности, применено для их определения методы аэрофотограмметрии. Опираются они на регистрации состояния поверхности местности с помощью периодических аэрофотосъемок, исполняемых в крупных масштабах (1:3000, 1:5000), главным образом с вертолета.

Данная в настоящей работе технологическая схема определения перемещений содержит четыре этапа работ, выполняемых в очередных регистрационных циклах. К ним принадлежат: подготовительные и проектные работы, полевые работы (стабилизация и маркировка исследуемых пунктов, геодезические измерения постоянных точек и опознаков, проведение аэрофотосъемки), камеральная обработка (измерения снимков, определение координат и перемещений исследуемых пунктов) и графическое изображение результатов исследования. Для определения координат исследуемых точек использовано метод аналитической блоковой аэотриангуляции из независимых моделей.

Определение перемещений на основе специально выполненных снимков произведено в трех исследовательских циклах, охватывающих периоды: 1970—1971, 1970—1973, 1973—1974 и дополнительно на основе архивных снимков в периодах 1957—1973 и 1953—1973. Результаты исследований представлено в виде перечня

перемещений точек, векторов перемещений или изолиний усадки местности, вычерченных на картах горнопромышленного района. Для выделенных участков местности составлено карту рельефа местности в масштабе 1:1000.

Определенные в период 1970—1973 пространственные перемещения маркировочных точек на местности достигли в 1970—1973 годах величин, доходящих в отдельных случаях до 4 метров. Зато усадка местности, выявленная в 1953—1973 годах, составляет свыше 7 м. Перечень средних квадратических ошибок, характеризующих точность определения координат исследуемых точек и их перемещения, дано в таблице 2.

BOHDAN BOHONOS

TECHNOLOGY FOR DETERMINATION OF LARGE AND QUICKLY CHANGING DISLOCATIONS DUE TO MINING BASED ON INTERPRETATION OF AERIAL PHOTOGRAPHY; THE RESULTS OF ITS IMPLEMENTATION

Summary

The presented technology has been elaborated on the basis of few years of research and field work carried out the Institute of Geodesy and Cartography in collaboration with the salt mine „Wieliczka-Bochnia”.

Research leading to the determination of dislocations and deformations of the area above the salt mine has been carried out. Salt deposits in Wieliczka are subjected to leaching before transported to the surface. As the result of this particular method of mining typical holes, cracks and landslides appear on the surface.

Since the deformations are large, and it is not possible to establish their location in advance, photogrammetric methods are implemented. The situation is registered on aerial photographs taken (in most instances) from a helicopter, at certain time intervals. The evaluation of the magnitude of dislocations of investigated points is based on the comparison of photographs from at least two measurement cycles.

Four stages of the technological process leading to the establishment of dislocations and deformations are shown in the diagram. (The works are carried out in successive measurement cycles):

- preparatory and desing works;
- field works (stabilization and signalization of investigated points, geodetic measurements of reference points and photopoints, taking aerial photographs);
- measurements on photographs, computation of coordinates and dislocations of investigated points;
- graphical presentation of the results .

Analytic BLOK aerotriangulation method by independent models was utilized for calculation of the coordinates of investigated points.

The extent of dislocations has been established on the basis of elaboration of aerial photographs taken during three cycles (for the years 1970—71, 1970—73, 1973—74) and, additionally, on the basis of archival photographs for the periods 1957—73 and 1953—73.

Research results are presented in the form of a list showing dislocations of in-

vestigated points. Dislocation vectors and lines of equal dislocations are shown on the map the mining region. Maps of relief have been prepared in the scale 1 : 1000 for selected areas.

Dislocations up to four meters have been recorded for the period between 1970 and 1973, maximum subsidence for the period 1953--73 exceeds 7 meters.

The list of mean errors defining the accuracy of establishing coordinates of investigated points and their dislocations is presented in Table No. 2.