

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Katedra Ochrony Terenów Górniczych Geoinformatyki i Geodezji Górniczej

Rozprawa doktorska

OKREŚLENIE PRZYDATNOŚCI INKLINOMETRU DO POMIARÓW PIONOWOŚCI
PROWADNIKÓW SZYBOWYCH

Mikołaj Skulich

Promotor: Prof. dr hab. inż. Jan Pielok

Kraków 2008

Teza pracy:

Na podstawie wyników uzyskanych z pomiarów inklinometrem szybowym, wykorzystującym komputerową detekcję zmian wychyleń tego urządzenia, podczas jego przejazdu w szybie kopalnianym, możliwe jest określenie wychyleń przewodników szybowych z dokładnością wymaganą dla tego typu pomiarów.

Plan pracy:

1. Wprowadzenie	str. 3
1.1. Podstawy prawne.	str. 3
2. Charakterystyka dotychczasowych metod pomiaru pionowości i prostoliniowości przewodników szybowych.	str. 6
2.1. Pomiar inwentaryzacji szybu nawiązany do osnowy czterech pionów.	str. 7
2.2. Pomiar inwentaryzacji szybu nawiązany do pionu swobodnego oraz do określonego kąta kierunkowego.	str. 16
2.3. Pomiar inwentaryzacji szybu prowadzony w oparciu o osnowę utworzoną przez przewodniki szybowe o określonym przestrzennym przebiegu.	str. 18
2.4. Określanie wybranych wielkości deformacji szybu w oparciu o pomiary inwentaryzacyjne prowadzone w lokalnych systemach odniesienia	str. 29
3. Technologia wykonywania pomiarów przebiegu przewodników szybowych przy wykorzystaniu inklinometru szybowego z komputerową detekcją zmian wychyleń.	str.35
3.1. Budowa inklinometru szybowego.	str.35
3.2. Technologia pomiarów z wykorzystaniem prototypu.	str.37
3.3. Wyniki badań testowych inklinometru szybowego.	str.45
4. Wykonanie pomiarów prostoliniowości i pionowości przewodników w szybach.	str.52
4.1. Interpretacja wyników badań.	str.55
5. Porównanie otrzymanych wyników badań z wynikami z klasycznych metod pomiarowych.	str.56
5.1. Nawiązanie profilu inklinometrycznego.	str.67
5.2. Badania regresji liniowej wyników pomiarów inklinometrycznych i rozkładu reszt.	str.70
5.3. Porównanie wyników z pomiarów inklinometrem z pomiarami klasycznymi.	str.77
5.4. Określenie szczegółowej technologii pomiarów przy użyciu inklinometru.	str.86
6. Podsumowanie i wnioski.	str.92

1. Wprowadzenie

Dane dotyczące geometrii prowadników, w tym ich prostoliniowość i określenie wychylenia prowadników od linii pionu, są jedną z niezbędnych informacji dla oceny bezpieczeństwa funkcjonowania szybu górniczego. Zmiany geometrii tych elementów występują na skutek eksploatacji urządzeń wyciągowych oraz ruchów górotworu w sąsiedztwie rury szybowej. Obserwacje prostoliniowości i pionowości prowadników w szybie górniczym stanowią podstawę do przeprowadzenia rektyfikacji przebiegu ciągów prowadniczych urządzeń wyciągowych, co jest niezbędne dla zachowania bezpieczeństwa podczas ruchu naczyń wyciągowych w szybie.

1.1. Podstawy prawne.

Według Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych. (Dz. U. Nr 139 poz.1169) zostało ustalone, iż: w terminach ustalonych przez kierownika ruchu zakładu górniczego, w zależności od warunków lokalnych i spokoju jazdy naczyń wyciągowych, lecz nie rzadziej, niż co 5 lat powinny być przeprowadzane kontrolne pomiary prostoliniowości torów prowadzenia naczyń (p. 5.13.9.6.).

Poniżej zestawiono wybrane pozycje **Załącznika nr 4 „Szczegółowe zasady prowadzenia ruchu w wyrobiskach”** do **Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych.** (Dz. U. z dnia 2 września 2002 r.) na podstawie art. 78 ust. 1 ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. – **Prawo geologiczne i górnicze** (Dz. U. Nr 27, poz. 96, z 1996 r. Nr 106, poz. 496, z 1997 r. Nr 88, poz. 554, Nr 111, poz. 726 i Nr 133, poz. 885, z 1998 r. Nr 106, poz. 668, z 2000 r. Nr 109, poz. 1157 i Nr 120, poz. 1268, z 2001 r. Nr 110, poz. 1190, Nr 115, poz. 1229 i Nr 154, poz. 1800 oraz z 2002 r. Nr 113, poz. 984 i Nr 117, poz. 1007) dotyczące obserwacji prowadników w szybach górniczych:

5.13.9.6. W terminach ustalonych przez kierownika ruchu zakładu górniczego, w zależności od warunków lokalnych i spokoju jazdy naczyń wyciągowych, lecz nie rzadziej, niż co 5 lat powinny być przeprowadzane kontrolne pomiary:

- 1) geometrii obudowy szybu i elementów jego zbrojenia (pkt 5.13.8),
- 2) prostoliniowości torów prowadzenia naczyń oraz wymiarów określonych w § 462 ust. 1 pkt 1 oraz § 475 Rozporządzenia,
- 3) rzeczywistych sił oddziaływania naczynia wyciągowego na zbrojenie szybu.

Pomiary kontrolne, o których mowa w ppkt 1 i 2, przeprowadza mierniczy górniczy, a pomiary kontrolne, o których mowa w ppkt 3 – „rzeczoznawca”

5.13.8.8. Prowadniki szybowe zabudowuje się tak, aby odstęp ruchowy nie były mniejsze niż:

- 1) 200 mm — między naczyniami wyciągowymi,
- 2) 150 mm — między naczyniami wyciągowymi a obudową szybu lub konstrukcjami zabudowanymi w szybie, do których nie jest mocowany prowadnik,
- 3) 50 mm — między naczyniem a dźwigarami szybowymi, do których mocowany jest prowadnik lub elementami tego mocowania.
- 4) 50 mm — między uchwytem prowadnika a prowadnicą naczynia wyciągowego.

5.13.8.9. Czołowe i boczne płaszczyzny ciągów prowadników założonych do szybu, na wysokości dźwigarów, powinny być zabudowane w stosunku do pionów z odchyleniem ± 3 mm, jednak bezwzględna różnica bezpośrednich domiarów na wysokości dwóch sąsiednich dźwigarów nie może być większa niż 3 mm. Odległość czołowych płaszczyzn dwóch naprzeciwległych ciągów prowadników w szybie nie może przekraczać wartości nominalnej o więcej niż 10 mm.

Powyższe przepisy definiują jednoznacznie konieczność okresowej kontroli (inwentaryzacji) prostoliniowości torów prowadzenia naczyń w szybach górniczych oraz potrzebę określenia tzw. odstępów ruchowych:

- **prostoliniowość torów prowadzenia naczyń** zakłada, iż w przypadku pomiaru inwentaryzacyjnego należy określić odchyłki realnego przebiegu przewodników od linii prostej oraz wyznaczyć wartości koniecznych przemieszczeń tych przewodników dla uzyskania ich przebiegu po prostej;
- wartości **luzów między przewodnikami a roboczymi płaszczyznami prowadnic ślizgowych** oznacza, że luzy muszą być określone zarówno dla czołowych, jak i bocznych płaszczyzn przewodników oraz dla styków przewodników w pionie (§ 466 i § 476 p. 3).

Tak w **Rozporządzeniu...**, jak i w **Załączniku nr 4** brak jest odniesienia do wymaganych dokładności pomiarów inwentaryzacyjnych, stąd też w oparciu o ogólne zasady ustalania dopuszczalnych błędów pomiarowych zaproponowano przyjęcie następujących zasad – Pielok (2008):

1. W odniesieniu do wyznaczonych elementów przewodników szybowych, pozwalających na określenie realnie występujących luzów do bocznych płaszczyzn prowadnic oraz do określenia wartości rozstawu płaszczyzn czołowych naprzeciwległych ciągów przewodników (luzy te nie mogą przekraczać kilku milimetrów) należy stosować technologie pomiarowe zapewniające wyznaczenie tych elementów ze średnim błędem zawartym w granicach ± 1 mm.
2. W odniesieniu do wyznaczenia położenia punktów na obudowie szybu oraz dla określenia położenia elementów zabudowy szybu dla znalezienia *odstępów ruchowych* i wyznaczenia przebiegu pionowej osi szybu, średni błąd wyznaczenia tych elementów nie powinien przekraczać $\pm(10\div 20)$ mm. Przyjęcie stosunkowo dużej wartości tego błędu wynika stąd, że obudowa i elementy zabudowy szybu są często pokryte błotem lub naciekami, wynikającymi z wytrącania się części mineralnych z wody występującej w szybie. Ponadto w *Załączniku...* dopuszczalne odchyłki między obudową szybu a jego osią pionową podczas wykonywania tej obudowy powinny zawierać się w granicach $\pm(20\div 50)$ mm - patrz p. 5.13.5.5, co również można uznać za przesłankę odnośnie wymaganej dokładności pomiarów inwentaryzacyjnych (uznając je za błąd graniczny).

3. Przebieg przewodników po linii ściśle odpowiadającej prostej jest z praktycznego punktu widzenia nie do spełnienia, przede wszystkim z uwagi na to, że wyznaczenie położenia kolejnych odcinków ciągów prowadniczych odbywa się z pewnym błędem pomiarowym, a ponadto ciśnienie otaczającego górotworu oraz ewentualne wpływy eksploatacji górniczej powodują występowanie zmiennych w czasie deformacji obudowy i elementów uzbrojenia szybu. W związku z powyższym jako kryterium **prawidłowego**, lecz nie prostoliniowego przebiegu ciągów prowadniczych można przyjąć zapis p. 5.13.8.9. Zał. nr 4, przewidujący, że różnica bezpośrednich domiarów na wysokości dwóch sąsiednich dźwigarów nie może być większa niż 3 mm. Ten sam przepis przewiduje również, że odległość czołowych płaszczyzn dwóch naprzeciwległych ciągów przewodników w szybie nie może przekraczać wartości nominalnej o więcej niż 10 mm. Należy tu podkreślić, że proponowany **prawidłowy** przebieg ciągów prowadniczych może tworzyć krzywą linię ciągłą, która równocześnie musi spełniać obydwa przytoczone powyżej warunki.

Przyjęcie powyższych kryteriów dokładnościowych wymaga stosowania odpowiednich technologii pomiarowych.

2. Charakterystyka dotychczasowych metod pomiaru pionowości i prostoliniowości przewodników szybowych.

Zakres i rodzaje pomiarów inwentaryzacyjnych, mających na celu określenie aktualnej geometrii obudowy i zabudowy szybu (w tym przebiegu przewodników szybowych), zależą od zastosowanego w pomiarach systemu odniesienia. Stąd też jako osnowy pomiarowe dla pomiaru szczegółów w szybach kopalnianych stosuje się:

- **Systemy odniesienia nawiązane do głównych osi szybu, w których zostaje określone położenie** – Milewski (1991):
 - a) czterech wolno zwisających w szybie pionów;
 - b) czterech stalowych drutów odchylonych od kierunku siły ciężkości, zamocowanych w miejscach załamania pionowego profilu szybu oraz/lub w rzapiu szybu;
 - c) swobodnie zwisającego pionu oraz wartość kąta kierunkowego (azymutu) od dowolnego punktu (stanowisko inwentaryzacyjne) do tego pionu, gdzie azymut

3. Przebieg przewodników po linii ściśle odpowiadającej prostej jest z praktycznego punktu widzenia nie do spełnienia, przede wszystkim z uwagi na to, że wyznaczenie położenia kolejnych odcinków ciągów przewodniczych odbywa się z pewnym błędem pomiarowym, a ponadto ciśnienie otaczającego górotworu oraz ewentualne wpływy eksploatacji górniczej powodują występowanie zmiennych w czasie deformacji obudowy i elementów uzbrojenia szybu. W związku z powyższym jako kryterium **prawidłowego**, lecz nie prostoliniowego przebiegu ciągów przewodniczych można przyjąć zapis p. 5.13.8.9. Zał. nr 4, przewidujący, że różnica bezpośrednich domiarów na wysokości dwóch sąsiednich dźwigarów nie może być większa niż 3 mm. Ten sam przepis przewiduje również, że odległość czołowych płaszczyzn dwóch naprzeciwległych ciągów przewodników w szybie nie może przekraczać wartości nominalnej o więcej niż 10 mm. Należy tu podkreślić, że proponowany **prawidłowy** przebieg ciągów przewodniczych może tworzyć krzywą linię ciągłą, która równocześnie musi spełniać obydwa przytoczone powyżej warunki.

Przyjęcie powyższych kryteriów dokładnościowych wymaga stosowania odpowiednich technologii pomiarowych.

2. Charakterystyka dotychczasowych metod pomiaru pionowości i prostoliniowości przewodników szybowych.

Zakres i rodzaje pomiarów inwentaryzacyjnych, mających na celu określenie aktualnej geometrii obudowy i zabudowy szybu (w tym przebiegu przewodników szybowych), zależą od zastosowanego w pomiarach systemu odniesienia. Stąd też jako osnowy pomiarowe dla pomiaru szczegółów w szybach kopalnianych stosuje się:

- **Systemy odniesienia nawiązane do głównych osi szybu, w których zostaje określone położenie** – Milewski (1991):
 - a) czterech wolno zwisających w szybie pionów;
 - b) czterech stalowych drutów odchylonych od kierunku siły ciężkości, zamocowanych w miejscach załamania pionowego profilu szybu oraz/lub w rzapiu szybu;
 - c) swobodnie zwisającego pionu oraz wartość kąta kierunkowego (azymutu) od dowolnego punktu (stanowisko inwentaryzacyjne) do tego pionu, gdzie azymut

wyznaczony zostaje przy pomocy giroteodolitu (nasadki giroskopowej) lub metodą SVP.

- **System odniesienia związany z wyznaczonym wcześniej przestrzennym przebiegiem przewodników (wybranego narożnika) poprzez zastosowanie:**
 - d) pionów laserowych, tworzących ośnię na kolejnych odcinkach szybu, wzdłuż których zapewniona jest dobra widoczność promienia laserowego, tzw. metoda linii profilowych – Jóźwik (1997);
 - e) inercyjnego pomiaru urządzeniem ISSM - Schäfler, Häger (1986);
 - f) inercyjnego pomiaru urządzeniem SI-6 – Galinskaja i in. (1988);
 - g) tortesteru szybowego ROP-2 - Kawulok, Bura (1990);
 - h) wideokamery z detekcją śladu pionowej wiązki laserowej – Jaśkowski, Jóźwik (1995);
- **Systemy lokalne dla wyznaczenia względnego położenia wybranych elementów geometrii zbrojenia szybu.**
 - i) suwmiarka szybowa;
 - j) pomiary inwentaryzacyjne z zastosowaniem dalmierza DISTO plus Jaśkowski (2006)

Ponieważ *Załącznik* przewiduje, że zabudowa przewodników odbywa się w oparciu o piony opuszczone przy każdym ciągu przewodniczym (p. 5.13.8.3), toteż najbardziej odpowiednią metodą pomiarów inwentaryzacyjnych będą takie, które również zostaną oparte o ośnię pionów opuszczonych przy przewodnikach. Tego typu pomiary inwentaryzacyjne zaliczane są do tzw. pomiarów klasycznych i obejmują metody wymienione w punktach a) i b), których technologie wraz ze wstępną analizą dokładności omówiono w dalszej części tego rozdziału.

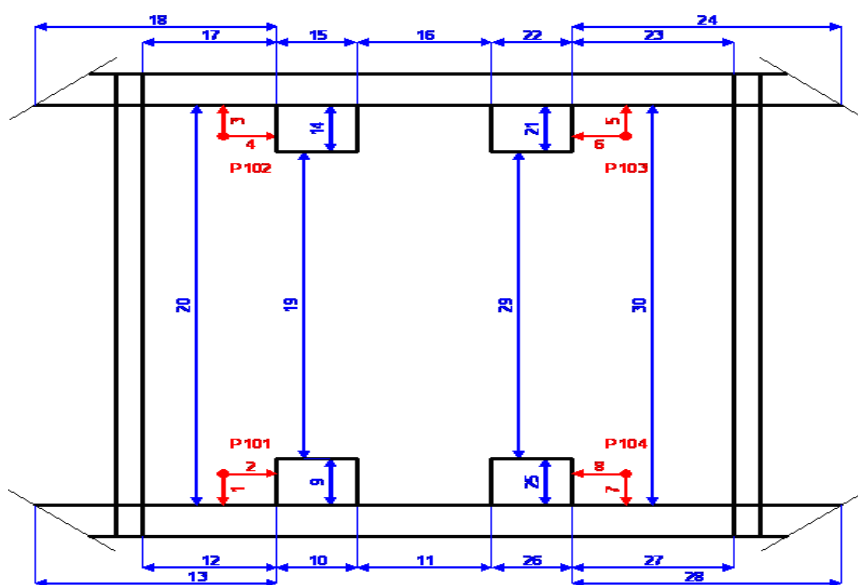
2. 1. Pomiar inwentaryzacji szybu nawiązany do osnowy czterech pionów.

a) Piony wolno zwisające.

Ośnię pomiarową dla zdjęcia szczegółów sytuacyjnych w szybie uzyskuje się przez opuszczenie czterech pionów, zlokalizowanych w pobliżu przewodników szybowych. Na powierzchni wyznacza się położenie tych pionów, najczęściej metodą biegunową ze stanowiska w pobliżu szybu, nawiązanego do osnowy powierzchniowej kopalni. W przypadku niewielkich deformacji obudowy szybu wyznacza się miejsca spoczynku

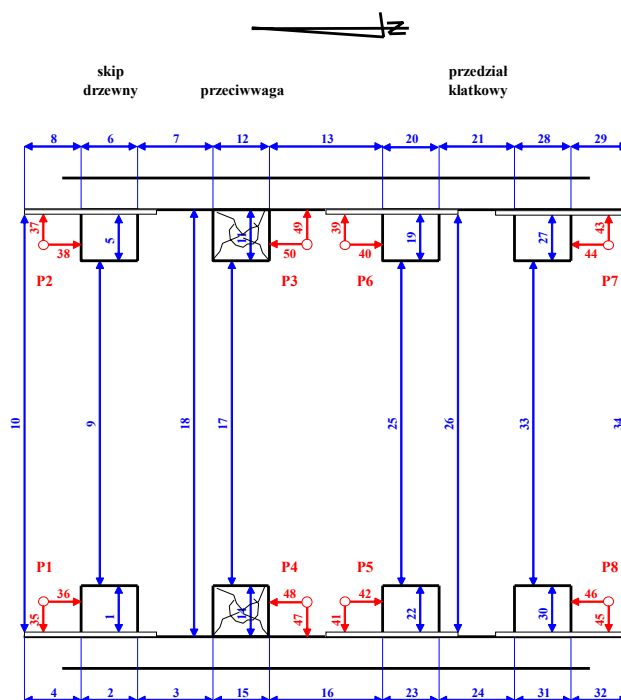
zawieszonych pionów i dokonuje się ich usztywnienia przez zablokowanie w urządzeniu do utrwalania miejsca spoczynku. Oczywiście tak, jak w każdym procesie pionowania mechanicznego, należy przed ostatecznym obciążeniem pionów i ich utrwaleniem sprawdzić, czy na całej długości ciągu pionów nie dotykają elementów zabudowy szybu, co jest realizowane przez opuszczenie kontrolki.

Zasadniczy pomiar inwentaryzacyjny polega na zdjęciu szczegółów sytuacyjnych w przekrojach szybu na wysokości każdego dźwigara szybowego. Szczegóły te wiążą się z przewodnikami szybowymi (ich gabaryty i rozstawy), dźwigarami, co najmniej 3 punktami obmurza szybu (dla przekroju kołowego) oraz pozostałymi elementami uzbrojenia szybu dla określenia tzw. odstępów ruchowych. Stosujemy metodę rzędnych i odciętych uzupełnioną pomiarem czołówek. Przykładowy zakres pomiaru szczegółów zawierają rysunki 2.1, 2.2 i 2.3 – Pielok i in. (2007), obejmujące szyb jednoprzędziałowy, dwuprzędziałowy oraz jednoprzędziałowy z klatką o dużych gabarytach. Na szkicu przekroju szybowego zamieszczamy bieżącą numerację poszczególnych domiarów (czołówek). Pomiar inwentaryzacyjny każdego przekroju (przy każdym dźwigarze) wykonujemy zwykle z dachu klatki szybowej wg tego samego schematu, a wartości zdejmowanych miar wpisujemy do wcześniej przygotowanego formularza wg numeracji umieszczonej na szkicu. W szybie opuszczana jest także taśma szybowa, z której odczytujemy głębokość każdego przekroju (dźwigara), w którym prowadzimy pomiar szczegółów sytuacyjnych.

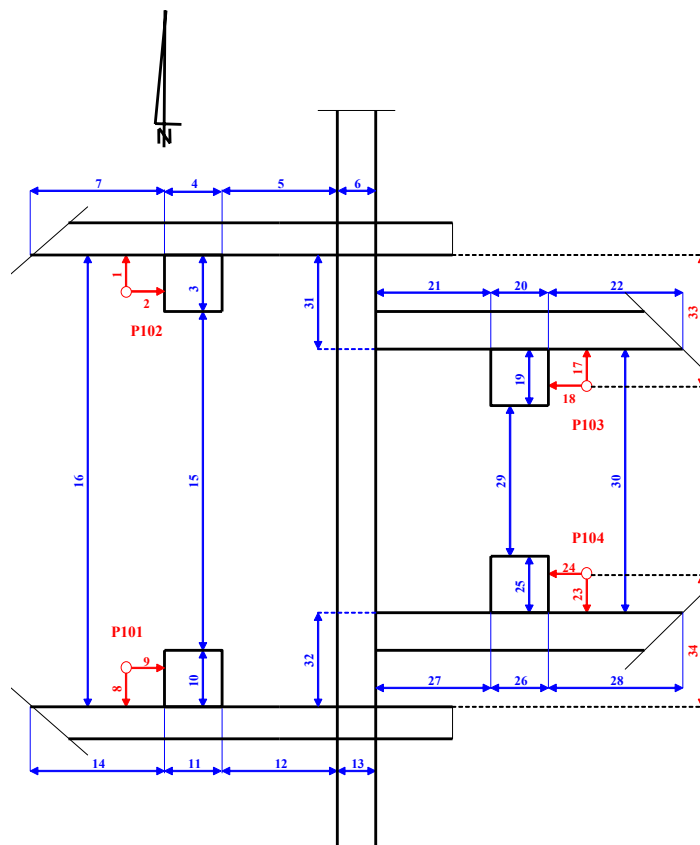


Rys 2.1 Szyb jednoprzędziałowy.

2. Charakterystyka dotychczasowych metod pomiaru pionowości i prostoliniowości przewodników...



Rys 2.2 Szyb dwuprzędziowy.



Rys 2.3 Szyb jednoprzędziowy z klatką o dużych gabarytach.

Obliczeniowe i graficzne opracowanie wyników pomiarowych następuje przy pomocy programów opracowanych w Przedsiębiorstwie Miernictwa Górniczego w Katowicach lub też w Zakładzie Geodezji Górniczej AGH w Krakowie.

W szczególności należy scharakteryzować metodę obliczeń stosowaną przez PMG, która uwzględnia fakt, że w stosunku do przebiegu przewodników szybowych nie można mówić o ich doprowadzeniu, przez rektyfikację, do prostoliniowości. Program PMG wpisuje w wyniki pomiarów inwentaryzacyjnych (współrzędne środka czołowej płaszczyzny przewodnika) wielomian n -tego stopnia – Białożył i in. (1999).

Podstawowe założenia programu stanowi teza: tory prowadzenia naczyń w szybie, będącym w eksploatacji, nie są liniami prostymi, a krzywymi, których obrazem matematycznym jest funkcja wielomianowa o równaniu:

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots a_nx^n \quad (2.1)$$

gdzie: $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ - parametry równania.

Parametry $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ krzywej wielomianowej wyznaczane są na podstawie aproksymacji:

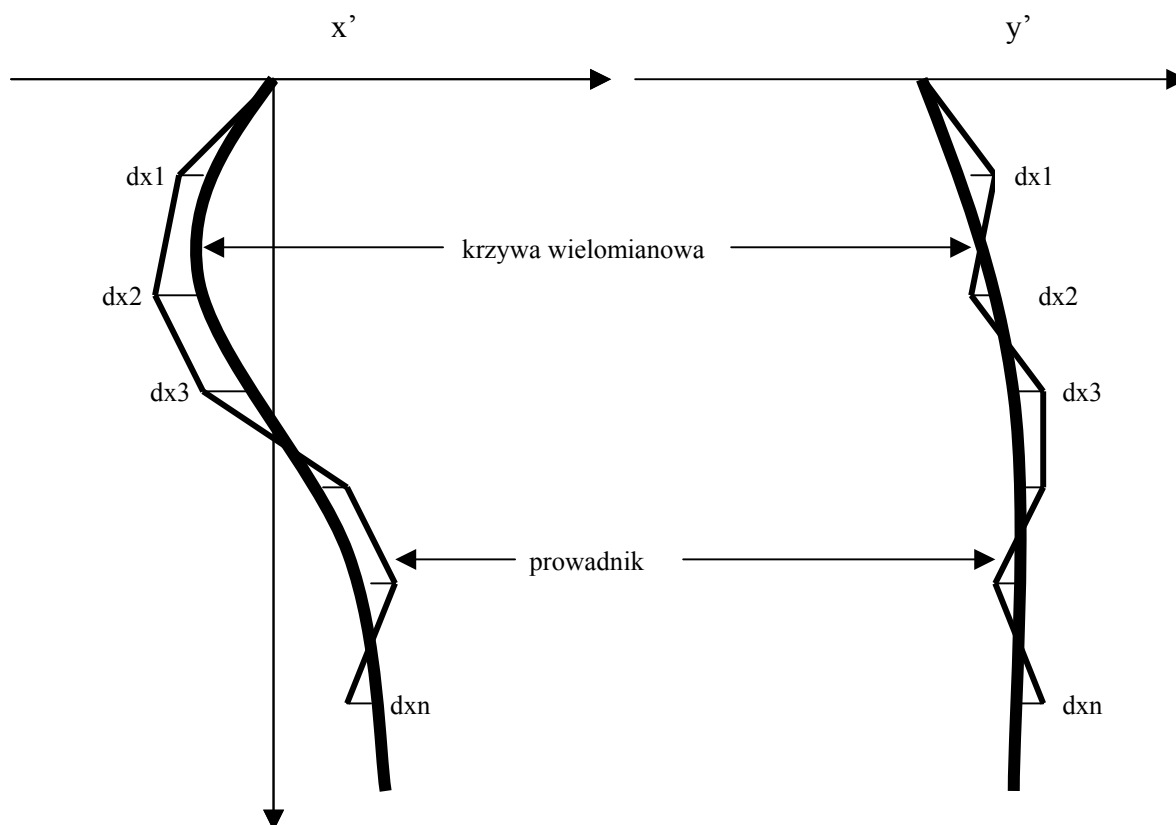
- linii łamanej, będącej obrazem rzeczywistego przebiegu przewodnika lub
- linii łamanej, łączącej geometryczne środki prowadzenia danego naczynia.

Parametry otrzymujemy z rozwiązania układu równań normalnych, przy spełnieniu warunku:

$$[w] = \text{minimum} \quad (2.2)$$

gdzie: „ v ” (dx, dy) jest odległością środka płaszczyzny czołowej przewodnika od krzywej w dwóch płaszczyznach: $x'-z, y'-z$.

Stopień wielomianu ogranicza się poprzez analizę uzyskanych parametrów – dla „ a_i ” przyjmującego wielkości nieistotne (zmierające do zera) zakładamy, iż uzyskano właściwy stopień wielomianu. W stosunku do tak przeinterpolowanego przebiegu przewodników wyznacza się następnie poprawki korekcyjne dla każdego odcinka ciągu przewodniczego tak, jak to uwidoczniono na rysunku 2.4.



Rys. 2.4. Rektyfikacja przebiegu przewodników w odniesieniu do ich prawidłowego przebiegu.

Dla oceny dokładności omówionej powyżej metody należy w pierwszym rzędzie wyznaczyć błąd określenia położenia pionów, opuszczonych w szybie wzdłuż 4 przewodników. Dla pionów wolnozwisających błąd ten będzie się składał z błędu wyznaczenia położenia pionu na powierzchni „ $m_p(G)$ ” oraz maksymalnie na najniższym inwentaryzowanym poziomie (H) z błędu określenia miejsca spoczynku pionu „ $m_s(H)$ ”. Współrzędne pionu na powierzchni wyznacza się metodą biegunową z punktu położonego w pobliżu szybu, uznawanego za bezbłędny i w nawiązaniu do przylegającego do tego punktu boku osnowy o azymucie również uważanym za bezbłędny. Przyjęcie założenia bezbłędności jest w pełni dopuszczalne, bowiem położenie pionów określane jest w lokalnym układzie, opartym właśnie o ten punkt i ten azymut. Przy założeniu, że stanowisko znajduje się w odległości do 10 m od wyznaczanego pionu, oraz prowadząc czterokrotny pomiar odległości taśmą z przykładkami milimetrowymi ($m_l \leq \pm 0,7 \text{ mm}$) i pomiar kąta wierzchołkowego z błędem $m_\beta = m_\delta \leq \pm 10''$, błąd położenia pionu wynosi:

$$m_p^2(G) = m_l^2 + l^2 \frac{m^2 \sigma}{\rho^2} \quad (2.3)$$

co po podstawieniu średnich błędów czynności pomiarowych daje wartość:

$$m_p(G) \cong 0,8 \text{ mm}$$

Zwykle większe wartości błędów uzyskamy przy określaniu miejsca spoczynku pionu. Na podstawie literatury – Milewski (1991) - można przyjąć, że odchylające działanie prądu powietrza na głębokości ok. 600 m oraz czynności wyznaczania miejsca spoczynku wahającego się pionu i jego zamocowanie wywołają łącznie błąd położenia wynoszący:

$$m_s(H) \cong \pm 1,4 \text{ mm}$$

Ponieważ jednak jest to błąd o charakterze systematycznym, toteż różnice domiarów wykonywanych na kolejnych dźwigarach od pionów będą wolne od tego błędu.

Dalszy pomiar szczegółów prowadzony jest przy pomocy jednokrotnego pomiaru rzędnych i odciętych w odniesieniu do linii pionów, Rys. 2.1, 2.2 i 2.3

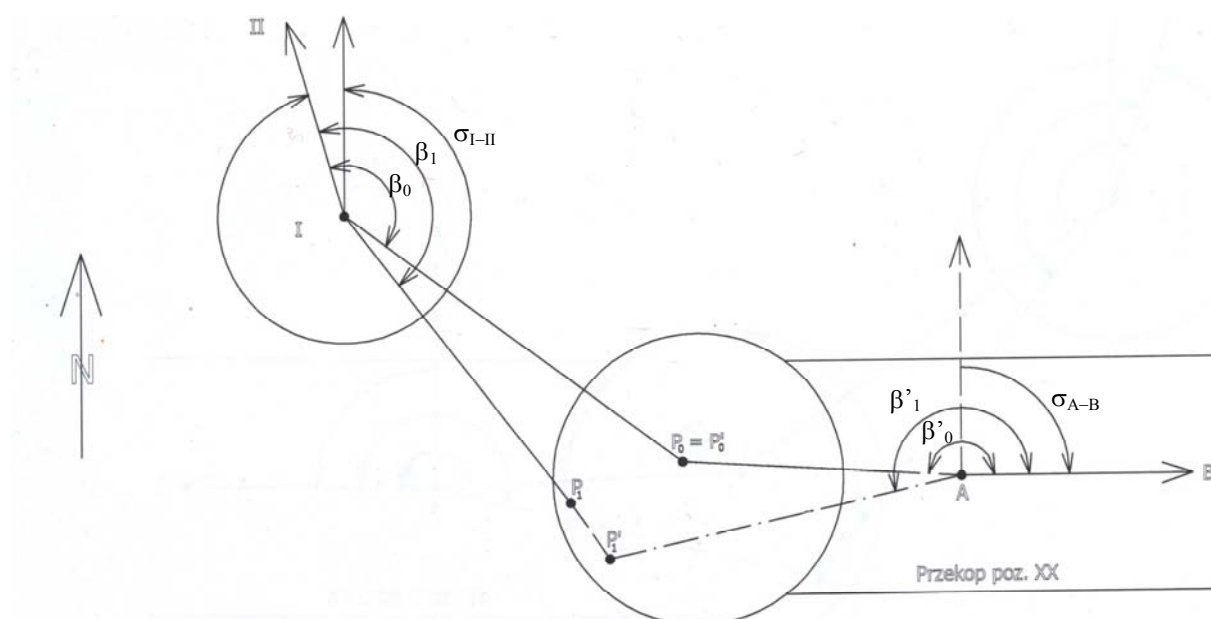
Pomijając wpływ błędu azymutu linii pionów jako nieistotny dla wartości odciętych wynoszących od kilku do kilkudziesięciu centymetrów, można założyć, że dowolny szczegół sytuacyjny będzie wyznaczony ze średnim błędem spowodowanym błędami osnowy (położenie pionu) oraz błędami wykonywania domiarów na inwentaryzowanym poziomie $m_d \leq \pm 2,0 \text{ mm}$ (błąd odczytu i błąd przyłożenia taśmy lub calówki oszacowano na poziomie $\pm 1 \text{ mm}$). Ostatecznie więc, średni błąd wyznaczenia położenia dowolnego szczegółu na inwentaryzowanym poziomie wyniesie:

$$m_p(s) \leq \pm 2,0 \text{ mm}$$

b) Ciężna odchylone od linii pionów

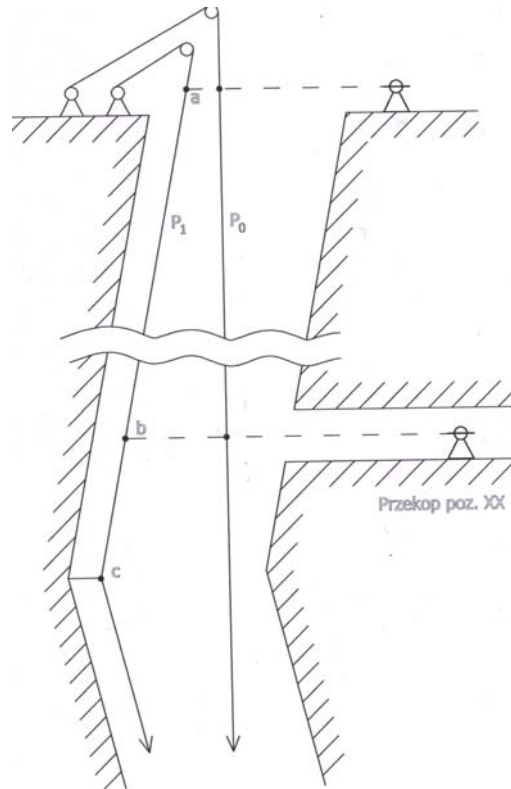
W szybach, których oś pionowa wykazuje istotne załamania w jej prostoliniowym przebiegu lub też w szybach wychylonych równomiernie na całej ich długości, uzyskanie pionowego położenia ciężen przy równoczesnej ich lokalizacji w pobliżu przewodników nie jest możliwe. W takich przypadkach ciężna mocowane są w punktach załamania szybu lub/i w rzapiu szybu i stanowią odchylone od pionu proste odniesienia na poszczególnych odcinkach szybu. Należy wówczas wyznaczyć współrzędne punktów mocowania ciężen dla poszczególnych odcinków. W tym celu należy w szybie opuścić przynajmniej 1 pion wolnozwisający, zamocowany w urządzeniu ustawczym, po wyznaczeniu jego miejsca spoczynku poniżej ostatniego z obserwowanych przekrojów szybu (czasami dla uzyskania niezależnej kontroli przebiegu łamanej linii ciężen stosuje się 2 wolnozwisające piony). Na powierzchni wyznaczamy współrzędne wszystkich ciężen (tych odchylonych i tych wolnozwisających) metodą biegunową w nawiązaniu do osnowy geodezyjnej w pobliżu szybu.

Jeżeli punkty zamocowania odchylonego cięga przypadają na wysokość chodnika lub przekopu, posiadającego połączenie z szybem, wówczas ze stanowiska (może to być stanowisko chwilowe) wyznaczamy giroazymut dowolnego boku w tym wyrobisku i w nawiązaniu do pionu wolnozwisającego wyznaczamy położenie miejsca zamocowania cięga odchylonego. Przebieg wyżej opisanych czynności ilustruje rys.2.5, gdzie uwidoczniono wyznaczenie położenia jednego z odchylonych cięg (P₁, P₁') w nawiązaniu do pionu wolnozwisającego (P₀), przy czym punkty P₁ i P₀ odpowiadają miejscu wyznaczenia ich położenia na powierzchni, a punkt P₁' jest miejscem zamocowania tego pionu na głębokości „h”.



Rys. 2.5 Wyznaczenie położenia cięga odchylonego na wysokości podszybia poziomu XX

Jeżeli natomiast miejsca zamocowania odchylonego cięga przypadają poza wyrobiskiem podziemnym, posiadającym połączenie z szybem, wówczas jego współrzędne wyznaczamy na drodze ekstrapolacji tak, jak to przedstawiono na rys.2.6.,



Rys.2.6. Schemat nawiązania cięga odchylonego.

stosując niżej przytoczone zależności:

$$X_c = X_a + \frac{h_c - h_a}{h_b - h_a} (X_b - X_a) \quad (2.4)$$

$$Y_c = Y_a + \frac{h_c - h_a}{h_b - h_a} (Y_b - Y_a)$$

W celu oceny dokładności omówionej powyżej metody inwentaryzacji możemy przyjąć, że wyznaczenie błędu położenia wszystkich cięgien na powierzchni (odchylonych i pionów wolnozwisających) zgodnie z poprzednio przeprowadzonymi rozważaniami wg wzoru (2.3) określone są ze średnim błędem położenia $m_p(G) = \pm 0,8 \text{ mm}$. Na poziomie „h” wyznacza się giroazymut boku AB „ σ_{AB} ”, który obarczony jest błędem zależnym od stosowanego przyrządu i od technologii wyznaczania giroazymutu. Dla stosowania girteodolitu typu GiB1 firmy MOM błąd ten z doświadczeń PMG wynosi $\pm 20''$.

2. Charakterystyka dotychczasowych metod pomiaru pionowości i prostoliniowości przewodników...

Zakładając podobnie jak poprzednio czterokrotny pomiar długości między stanowiskiem girteodolitu a pionem P_0 i cięgnami P_i ($i = 1, 2, 3, 4$) w miejscach ich odchylenia, oraz średni błąd pomiaru kąta m_{β_i} ($i = 0, 1, 2, 3, 4$) = $10''$, przy długości celowych do ok. 10 m, błąd określenia położenia miejsc odchylenia cięgien można określić z zależności dla krótkiego (2- punktowego) ciągu poligonowego o błędnych elementach dowiązania:

$$m_{p_1}'^2 = m_{p_0}'^2 + 2 l_i^2 \frac{m_{\sigma AB}^2}{\rho^2} + 2 m_{l_i}^2 \quad (2.5)$$

gdzie

$$m_{p_0}' = m_p^2(G) + \frac{h^2}{H^2} m_s^2(H) \quad (2.6)$$

Wartość m_{p_0}' na ogół jest mniejsza od ± 1 mm, toteż do dalszych rozważań przyjęto jako wartość przeciętną $m_{p_0}' = \pm 1$ mm.

Podstawiając podane w powyższych rozważaniach wielkości do (2.5) otrzymamy dla dowolnej wielkości $h < H$ (przy $H \leq 600$ m)

$$m_{p_1}' \leq \pm 3,5 \text{ mm}$$

Dzieląc sztyb na „n” części, wzdłuż których będą przebiegały odcinki odchylonych cięgien otrzymamy dla średniego błędu położenia najniższego punktu odcinka przewodnika, objętego cięgnem pomiarowym

$$m_{p_1}(D) = m_{p_1}' \sqrt{n} \quad (2.7)$$

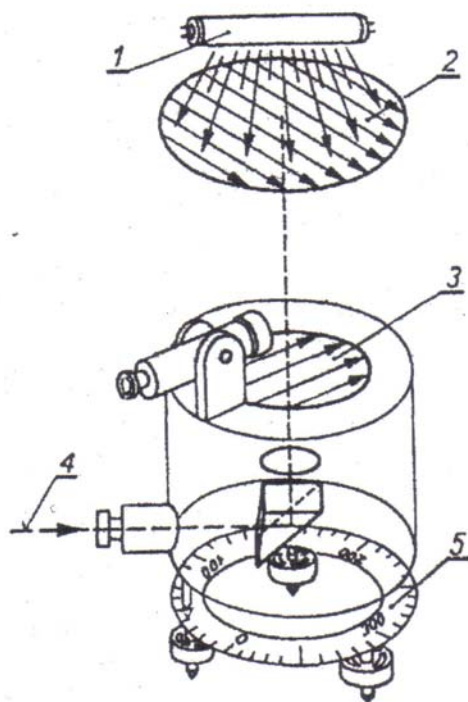
a więc dla $n = 2 \div 4$ $m_p(D) = \pm (5,0 \div 7,0) \text{ mm}$

Taka wielkość błędu będzie dotyczyła tylko wyznaczenia przebiegu osi sztybu, natomiast pozostałe elementy są określane z domiarów w odniesieniu do ich wzajemnego położenia w przekroju tarczy sztybowej, ponieważ tak odstępny ruchowy, jak i elementy ciągów przewodniczych wyznaczane są z tym samym błędem o charakterze systematycznym, który przy wykorzystywaniu różnic domiarów będzie ulegał redukcji. Stąd też wyznaczenie położenia przewodników będzie związane głównie z błędami domiarów do odchylonego cięgna i wyniesie $m_p(S) = \text{ok. } \pm 2 \text{ mm}$.

2. 2. Pomiar inwentaryzacji szybu nawiązany do pionu swobodnego oraz do określonego kąta kierunkowego

c) Metoda SVP

W metodzie tej, określanej symbolem SVP, układ odniesienia pomiarów szczegółów realizowany był przez wolnozwisający pion o określonych współrzędnych oraz przez pionową płaszczyznę polaryzacji światła realizowaną przez dwie płytki polaryzacyjne, spośród których jedna realizowała spolaryzowaną wiązkę światła na nadszybiu, a druga zabudowana była w specjalnym przyrządzie ustawianym na dachu klatki szybowej – rys. 2.7.



Rys.2.7. Zasada orientacji optycznej – SVP; 1- źródło światła; 2 – płytka polaryzacyjna (polaryzator); 3 – płytka polaryzacyjna (analizator); 4 – luneta obserwacyjna; 5 – krąg podziałowy

Lunetę przyrządu obracano do momentu wygaszenia widocznego w lunecie światła i wiedząc, iż w tym momencie płaszczyzny polaryzacji płytek skierowane są wzajemnie pod kątem prostym, można było ten kierunek odczytać z podziału koła poziomego przyrządu SVP. Oczywiście należało na drodze pomiarów nawiązania na powierzchni określić kąt kierunkowy płaszczyzny polaryzacji płytki na nadszybiu oraz współrzędne pionu

zamocowanego w rzapiu po wyznaczeniu jego miejsca spoczynku. Pomiar szczegółów wykonywany był następnie metodą biegunową, przy zastosowaniu teleskopowego przymiaru o dokładności odczytu 1mm. Równocześnie jednak przy nawiązaniu stanowiska instrumentu do wolnozwisającego i ustabilizowanego pionu, wysunięty przymiar teleskopowy dotyka cięga pionu, co w efekcie powoduje błąd pomiaru tej długości (wynoszącej ok. 3 – 4 m) o wartości ok. $\pm 5\text{mm}$. W oparciu o literaturę – Milewski (1991) - błąd wyznaczania azymutu płaszczyzny polaryzacyjnej w przyrządzie wynosi ok. $m_\sigma = \pm 0,5^\circ$.

Uwzględniając powyższe można błąd wyznaczenia położenia stanowiska pomiarowego (na dachu klatki szybowej) określić na poziomie:

$$m_{p_o}^2 = l_{s-p}^2 \frac{m_\sigma^2}{\rho^2} + m_s^2 + m_{l_{s-p}}^2 \quad (2.8)$$

gdzie:

l_{s-p} – odległość od stanowiska do pionu (ca $\pm 2,0$ m)

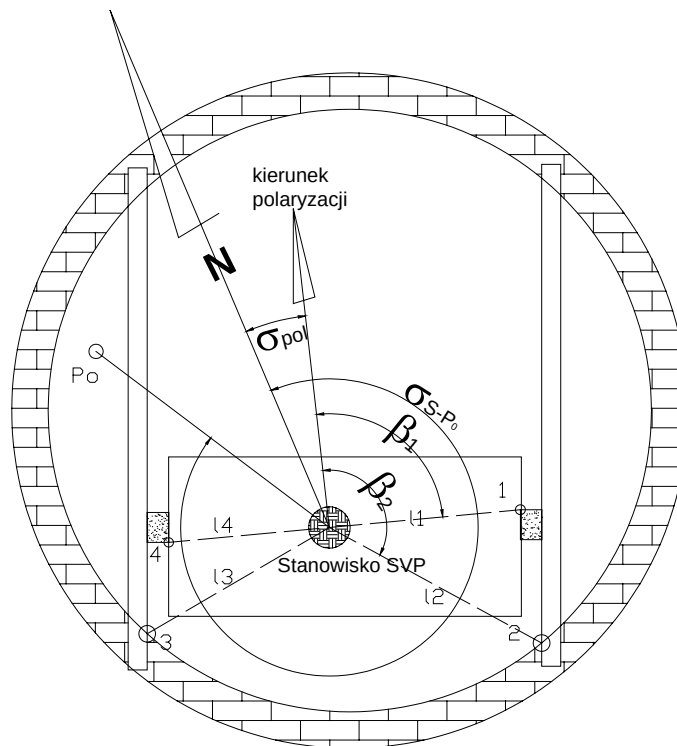
m_σ - błąd wyznaczenia azymutu płaszczyzny polaryzacji (ca $\pm 50^\circ$)

m_s - błąd wyznaczenia miejsca spoczynku pionu (ca $\pm 1,4$ mm)

m_e – błąd pomiaru długości za pomocą przymiaru teleskopowego (ca ± 5 mm)

Stąd

$$m_s(H) = \pm 27,8 \text{ mm}$$



Rys.2.8. Pomiar szczegółów metodą biegunową dla zastosowania przyrządu SVP

Zakładając, że odległości od miejsca ustawienia SVP do domierzanych szczegółów wynosi do ok. 4 m oraz pomiar kąta między pionem, a szczegółem sytuacyjnym wynosi $\pm 5^\circ$, błąd określenia położenia takiego punktu określona dla sytuacji pokazanej na rys.8.8 określa zależność:

$$m_p(s_i) = m_{p_o}^2 + l_i^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} + m_{l_i}^2, \quad (2.9)$$

co po podstawieniu przyjętych wielkości wyniesie:

$$m_p(S) = \pm 29 \text{ mm}$$

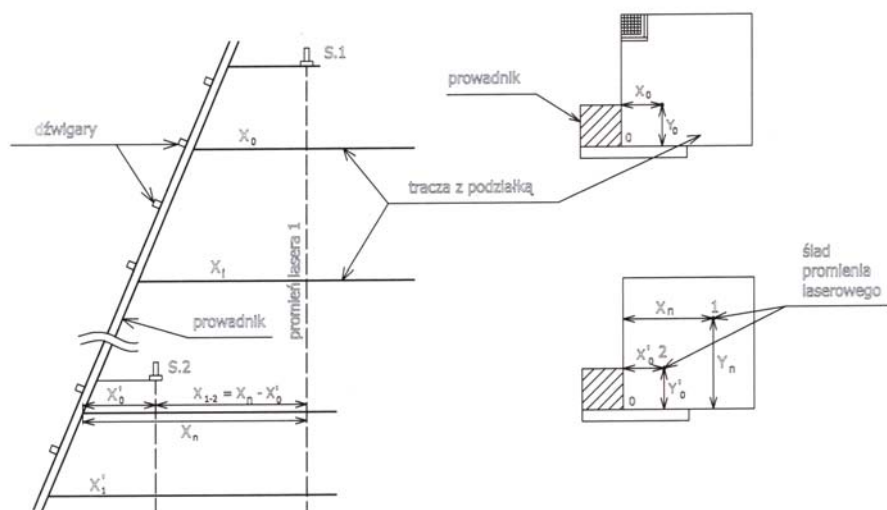
Dla realizacji określonego kąta kierunkowego można także, zamiast przyrządu SVP, stosować giroteodolit lub nasadkę giroskopową, ustawianą na dachu klatki szybowej. W takim przypadku na każdym inwentaryzowanym poziomie w szybie klatka powinna zostać zaklinowana (klin wbijany między przewodniki, a przewodnice klatki) w celu utworzenia stabilnej podstawy dla ustawionego przyrządu. Każdorazowe wyznaczenie giroazymutu może być wykonane metodą szybką, której dokładność jest najczęściej wyższa niż uzyskiwana przy użyciu SVP. Podobnie jak poprzednio, na każdym poziomie wyznacza się położenie (współrzędne) stanowiska giroteodolitu w nawiązaniu do wolno wiszącego pionu z wykorzystaniem wyznaczonego giroazymutu, a zasadniczy pomiar szczegółów sytuacyjnych przewodzony jest metodą biegunową. Dokładność takiego rozwiązania jest porównywalna z dokładnością metody SVP.

2. 3. Pomiar inwentaryzacji szybu prowadzony w oparciu o ośnowę utworzoną przez przewodniki szybowe o określonym przestrzennym przebiegu.

Geometrię elementów stanowiących zbrojenie i uzbrojenie szybu (poza przewodnikami) określa się przez pomiar szczegółów, zwykle prowadzonym metodą ortogonalną, w oparciu o ośnowę, utworzoną przez wcześniejsze określenie przestrzennego przebiegu przewodników szybowych (najczęściej wybranego narożnika tych przewodników). Stąd też dalsze opisy zostaną ograniczone do omówienia różnych technologii, prowadzących do utworzenia takiej *wewnętrznej ośnowy* pomiarowej:

d) Metoda pionowych linii pomiarowych

Zasadę tej metody ilustruje rys.2.9.



Rys.2.9 Metoda pionowych linii profilowych

Po ustawieniu pionownika laserowego w szybie w pobliżu przewodnika, którego przebieg ma być wyznaczony, i po ukierunkowaniu wiązki światła laserowego w pionie, do przewodnika na wysokości każdego kolejnego dźwigara przykładana jest tarcza z podziałką, której zero odpowiada narożnikowi przewodnika. Ślad promienia laserowego na tej tarczy odpowiada współrzędną narożnika przewodnika w lokalnym układzie, w którym oś X przebiega prostopadle, a oś Y równoległe do płaszczyzny czołowej przewodnika. Odchyłki przewodnika od pionu wyznacza się z zależności:

$$\Delta x_i = X_i - X_0 \quad (2.10)$$

$$\Delta y_i = Y_i - Y_0$$

Pomiar prowadzi się do takiej głębokości w szybie, do której przenika światło lasera, a równocześnie wielkość plamki laserowej pozwala na precyzyjną interpretację jej położenia na tarczy podziałowej. Odległość ta zależy od występowania pary wodnej lub innego rodzaju zawiesiny w atmosferze szybu i dla szybów wdechowych może dochodzić do ok. 300 m. Błąd oszacowania położenia środka plamki laserowej zawiera się w granicach $\pm (1 \div 3)$ mm.

Dla kontynuowania prac inwentaryzacyjnych konieczne jest przestawienie pionownika laserowego do jego kolejnej pozycji w szybie i dokonanie odczytu śladu promienia laserowego na tarczy ustawionej na ostatnim poziomie pomiarowym z pierwszego stanowiska

pionownika laserowego- rys.2.9. W ten sposób na tarczy podziałowej uzyskamy odczyty przebiegu wiązki światła laserowego z obydwu stanowisk pionownika, gdzie odczyt z pionownika nr 2 będzie znowu wyjściowym odczytem do wyznaczenia poprawki, wynikającej z różnic w ustawieniu obydwu pionowników. Tak więc dalszy przebieg odchylenia przewodnika od pionu określony zostanie z zależności:

$$\Delta x'_i = X'_i - X'_0 + (X_n - X'_0) \quad (2.11)$$

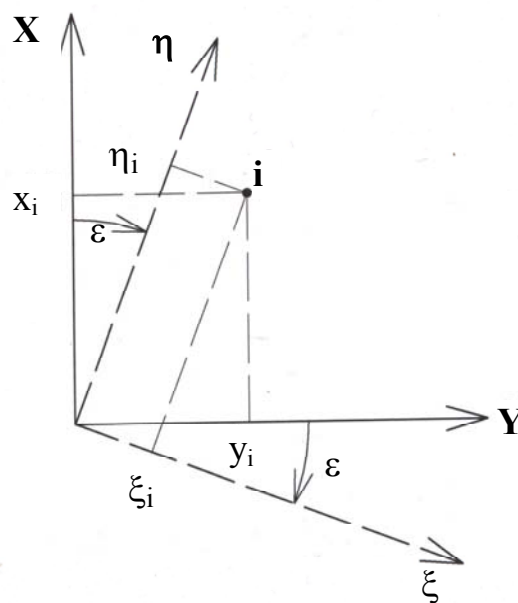
$$\Delta y'_i = Y'_i - Y'_0 + (Y_n - Y'_0)$$

Na błąd wyznaczenia przebiegu przewodników z powyższych zależności wpływają:

- błąd przyłożenia tarczy podziałowej, który ze względu na nierówność powierzchni przyłożenia (na skutek zużycia przewodników) można ocenić na $\pm (1 \div 2)$ mm;
- błąd wyznaczenia położenia środka plamki laserowej na tarczy podziałowej, wynoszący ok. $\pm (1 \div 3)$ mm;

W efekcie dla pierwszego odcinka szybu (pierwsze stanowisko pionownika laserowego) wyznaczenie Δx_i oraz Δy_i następuje z błędem ok. $\pm (2 \div 5)$ mm, a błąd położenia narożnika przewodnika wynosi ok. $\pm (3 \div 7)$ mm.

Do tych wielkości dochodzi jeszcze ewentualnie występująca nierównoległość płaszczyzn czołowych przewodnika na kolejnych poziomach pomiarowych. Przy wzajemnym skróceniu kolejnych położów tarczy pomiarowej o kąt ε następuje zmiana współrzędnych plamki laserowej – tak jak to uwidoczniono na rys. 2.10.



Rys.2.10. Wpływ skrócenia tarczy odczytowej na wartość współrzędnych.

Nowe współrzędne określamy przez ich transformację we wzajemnie skróconych układach odniesienia z zależności:

$$\eta_i = X_i \cos \varepsilon + Y_i \sin \varepsilon \quad (2.12)$$

$$\xi_i = -X_i \sin \varepsilon + Y_i \cos \varepsilon$$

Dla wartości X_i , Y_i zawartych między 50 mm a 200 mm oraz dla $\varepsilon = \text{ok. } 36^\circ$ (nierówność płaszczyzny czołowej przewodnika wynosząca ok. 2 mm) wielkości różnic $(\eta_i - X_i)$ i $(\xi_i - Y_i)$ zawarte będą między $\pm (0,43 \div 1,7)$ mm – średnio 1 mm, stąd też ostateczny błąd wyznaczenia położenia narożnika przewodnika wyniesie:

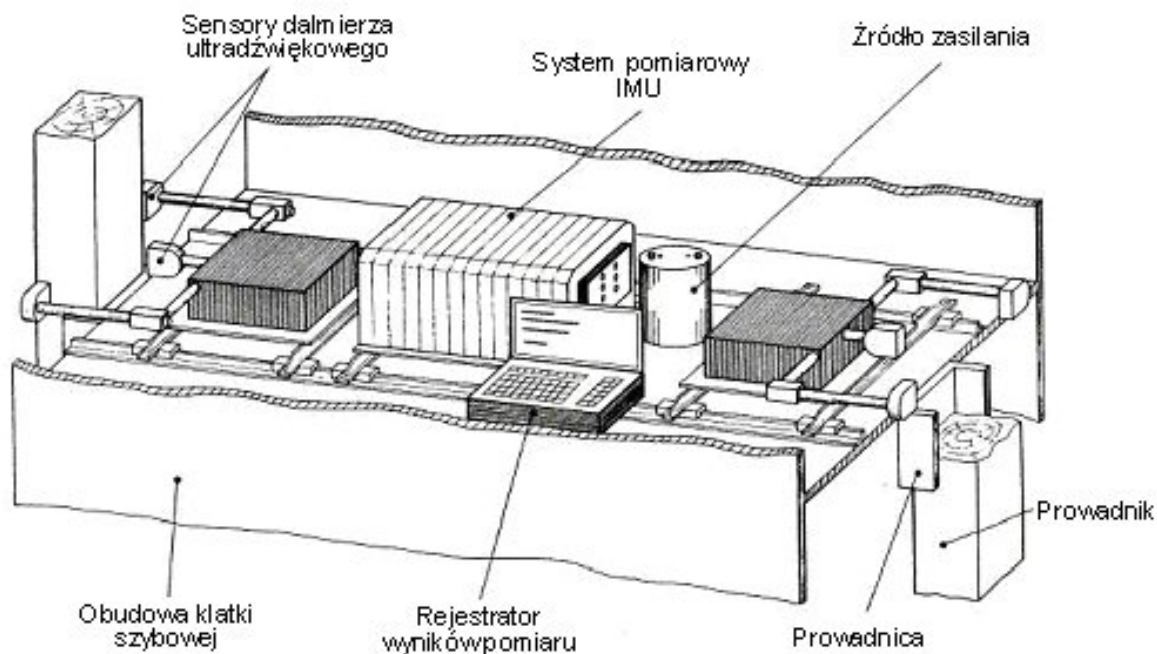
$$m_{p_i} = \pm (3,2 \div 7,1) \text{ mm}$$

Uwzględniając błędy wykonywania domiarów od narożników ciągu przewodniczego do szczegółów charakterystycznych dla geometrii przekroju tarczy szybowej metodą ortogonalną otrzymamy wartość błędu wyznaczenia tych szczegółów na poziomie

$$m_p(S) = \pm (3,8 \div 7,4) \text{ mm}$$

e) Metoda bezwładnościowego pomiaru przebiegu przewodników

Z uwagi na powszechne stosowanie niżej opisanej metody przy pomiarach inwentaryzacyjnych szybów w Niemczech oraz ze względu na jej próbne zastosowanie w Polsce postanowiono również przedstawić krótki opis wraz z analizą dokładności inercyjnego systemu pomiarowego ISSM (Inertial Shaft Surveying Mining). Zasadę budowy systemu ilustruje rys. 2.11.



Rys 2.11. Zasada budowy ISSM

Centralną jednostką pomiarową jest zestaw 3. akcelerometrów i 2. giroskopów, ustawionych wzajemnie ściśle ortogonalnie, oraz układy elektroniczne przetwarzające sygnały tych czujników pomiarowych. Do tej jednostki określanej jako IMU (Inertial Measuring Unit) dołączane są sensory dalmierza ultradźwiękowego, skierowane do 3 płaszczyzn prowadników. Jednostka centralna wraz z dalmierzami montowana jest do szyn klatki szybowej.

Centralny system pomiarowy jest systemem typu „strap-down” – Schäfler i in.(1986), a układ analityczny tego systemu dokonuje odfiltrowania od wartości mierzonych zmian przyspieszeń wywołanych przez pole grawitacyjne i rotację Ziemi. Droga systemu od jego położenia wyjściowego wyznaczana jest poprzez dwukrotne całkowanie zmian przyspieszeń klatki. Podczas pomiaru przestrzegane jest zachowanie następujących warunków:

- 1) Maksymalny czas prowadzenia pomiaru dla szybu o głębokości 1000 m i przy prędkości ruchu klatki 2m/sek wynosi 500 sekund;
- 2) Całkowity czas pomiaru dzielony jest na czasokresy składowe przez zatrzymywanie naczynia wydobywczego w stałych odstępach czasu np. co 100 sekund;
- 3) Obliczanie współrzędnych torów prowadniczych naczynia nie jest wykonywane w czasie rzeczywistym, lecz następuje po zakończeniu pomiaru.

Prędkość przemieszczania się klatki, wymieniona w warunku 1), przy zapisie wartości mierzonych z częstotliwością 50Hz, pozwala na wyznaczenie położenia punktów rozmieszczonych wzdłuż biegu przewodników co 4 cm. Istotnym jest spełnienie warunku 2), bowiem w momentach zatrzymań wykonywana jest każdorazowo kalibracja przyrządu, co pozwala na zmniejszenie błędów wywołanych dryftem giroskopów oraz niestabilnym polem przyspieszeń (na skutek m.in. pływów skorupy ziemskiej). Opracowanie wyników w drodze postprocesingu pozwala na wprowadzenie dodatkowych warunków, uzyskanych podczas pomiaru przez pomiar odległości na powierzchni i w dolnej części mierzonego szybu w czworoboku utworzonym przez ciągi przewodnicze.

Wewnętrzna dokładność metody, uzyskana z porównania wyników dwukrotnie niezależnych przejazdów w danym szybie wykazuje różnice zawarte w granicach:

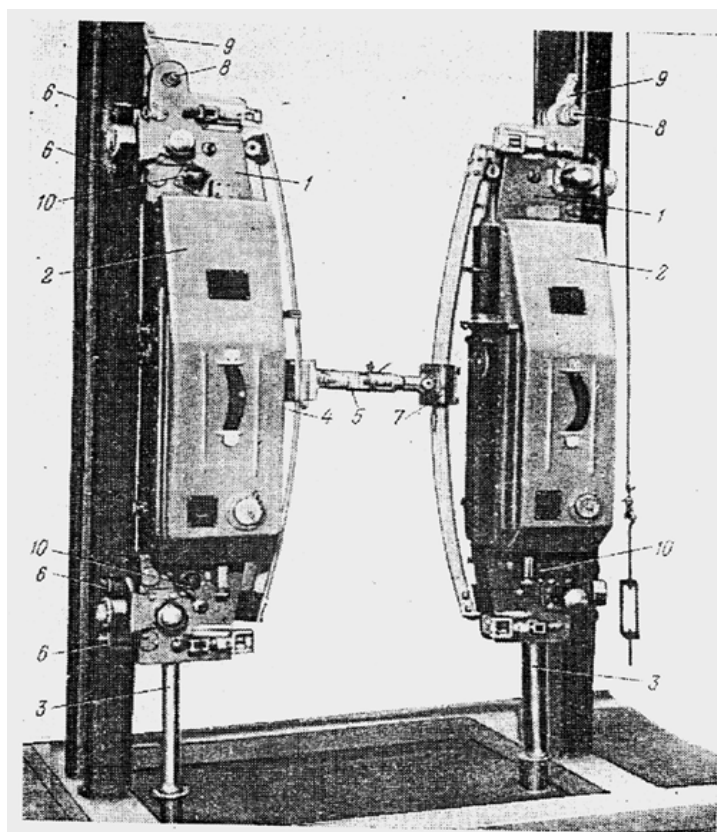
$$d = 1 \div 2 \text{ cm}$$

Porównanie wyników z pomiaru 3 szybów w Polsce, wykonanych przy zastosowaniu systemu ISSM oraz metody klasycznej na odchylone cięgna, wykazały różnice dochodzące do 5 cm, przy czym rozbieżności między wynikami tych dwóch rodzajów pomiaru systematycznie narastały wraz z głębokością. Wskazuje to na to, że albo punkty odchylenia cięgna pomiarowego w szybie zostały wyznaczone z takim błędem, albo też wielkość ta związana jest z dryftem przyrządu ISSM.

Biorąc powyższe pod uwagę można stwierdzić, że metoda ISSM spełnia założone w niniejszej publikacji warunki dokładności dla wyznaczenia względnego położenia punktów układu odniesienia, utworzonego przez określany na drodze pomiaru, przestrzenny przebieg przewodników szybowych. Równocześnie jednak faktyczny przebieg osi szybu będzie wyznaczony z większymi błędami – dochodzącymi nawet do ok. ± 8 cm.

f) Metoda całkowania wychyleń kolejnych odcinków ciągu przewodniczego

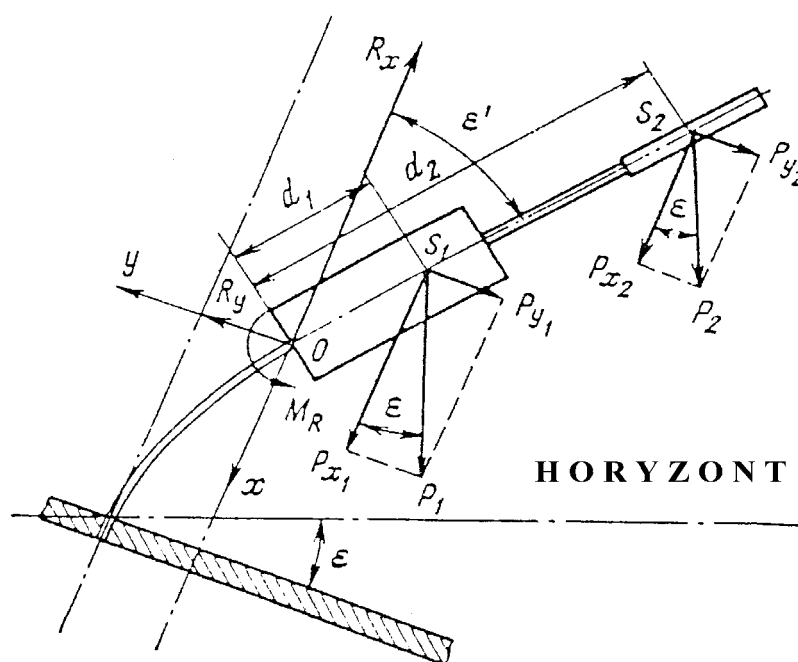
W Rosji od wielu lat stosowany jest przyrząd o podstawowym symbolu SI (izmieritielnaja stancja) z dodatkiem liczb oznaczających kolejną wersję budowy tego urządzenia. Ponieważ metoda ta jest powszechnie stosowana w Rosji i istnieją liczne opracowania oceniające zarówno samą technologię, jak i jej dokładność, toteż postanowiono przytoczyć jej krótki opis w niniejszej publikacji. Widok całego urządzenia zawiera rys. 2.12. Przyrząd rejestruje wartości odchylenia korpusu każdego wózka pomiarowego od pionu w dwóch prostopadłych kierunkach na długości bazy umieszczonej wewnątrz wózka oraz zmiany rozstawu naprzeciwległych przewodników, do których wózki pomiarowe zostają dociśnięte sprężynami rozporowymi – patrz opis rysunku 4



- 1 – rama
- 2 – wózek
- 3 – mocowanie przyrządu do klatki szybowej
- 4 – sprężyna dociskowa
- 5 – rozpora z rejestratorem rozstawu
- 6 – kółka bocznego prowadzenia
- 7 – zacisk rozpory ze sprężyną
- 8 – sworzeń ze sprężyną dociskową
- 9 – kółka prowadzenia czołowego
- 10 – licznik głębokości

Rys.2.12. Urządzenie profilujące SI.

Pomiar odchylenia wózka pomiarowego odbywa się na bazie o długości 860 mm, poprzez rejestrację zmian położenia śladu promienia światła, wysyłanego przez projektor zamontowany w górnej części tego wózka na taśmie filmowej, założonej w części dolnej, po jego odchyleniu przez dwa elementy czujnikowe, zawierające pryzmat umocowany w wahadle astatycznym, odchylające promień światła po jego rozdzieleniu w kierunkach prostopadłym i równoległym do płaszczyzny czołowej przewodnika. Zasadę działania elementu czujnikowego zawiera rysunek 2.13 – polega ona na zamocowaniu na cienkiej, sprężystej płytce stalowej, przymocowanej do podstawy wózka, pryzmatu S_1 w takiej odległości, aby kąt wychylenia pryzmatu odpowiadał kątowi nachylenia podstawy, co uzyskujemy przez kalibrację przyrządu. Poza ciężarem pryzmatu, na odchylenie płytki działa także moment siły wytworzonej przez łopatkę S_2 , przeciwdziałającą wpływom wibracji wahadła. Przejazd wózka po przewodniku napędza mechanizm przesuwu taśmy filmowej, na której również rejestrowane są momenty przejazdu wózka przez kolejne dźwigary szybowe.



Rys.2.13 Element czujnikowy przyrządu SI..

Pomiar zmian rozstawu naprzeciwległych przewodników prowadzony jest na rolce papieru parafinowego, również przesuwającej się w miarę przemieszczania się wózków, a umocowanej w miejscu teleskopowego połączenia rozpory między wózkami pomiarowymi.

Ze względu na brak wyników doświadczeń praktycznych, ocenę dokładności omawianego urządzenia można przeprowadzić jedynie w oparciu o opis przyrządu z literatury – Galinskaja i in. (1988). Średni błąd pomiaru rozstawu przewodników wynosi $\pm 0,5$ mm – co oczywiście można uznać jedynie jako dokładność wewnętrzną pomiaru. Czułość przekazników kątów odchylenia producent ocenia na $\pm 1'$, a ich zapis na taśmie filmowej pozwala na ocenę rozdzielczości tego zapisu, odpowiadającej $2'$ na odcinku 1 mm taśmy. Ponieważ zapis z taśmy jest po pomiarze skanowany i podlega obróbce na monitorze komputera, toteż jako średni błąd wyznaczenia kątów odchylenia można przyjąć:

$$m_q = 1,4' (84'')$$

Tym samym błąd wyznaczenia odchylenia dla dowolnego poziomu w szybie wynosi:

$$m_x = m_y = \pm \sqrt{\frac{H}{b}} b \frac{m_\varepsilon}{\rho} \quad (2.13)$$

$$m_{p_i} = \pm \sqrt{\frac{2H}{b}} b \frac{m_\varepsilon}{\rho}$$

gdzie: H – głębokość mierzonego poziomu (od powierzchni)

b – długość bazy wózka pomiarowego

Po redukcji wyrazów w zależności (2.13) otrzymamy:

$$m_x = m_y = \pm \sqrt{Hb} \frac{m_\varepsilon}{\rho}$$

oraz

(2.14)

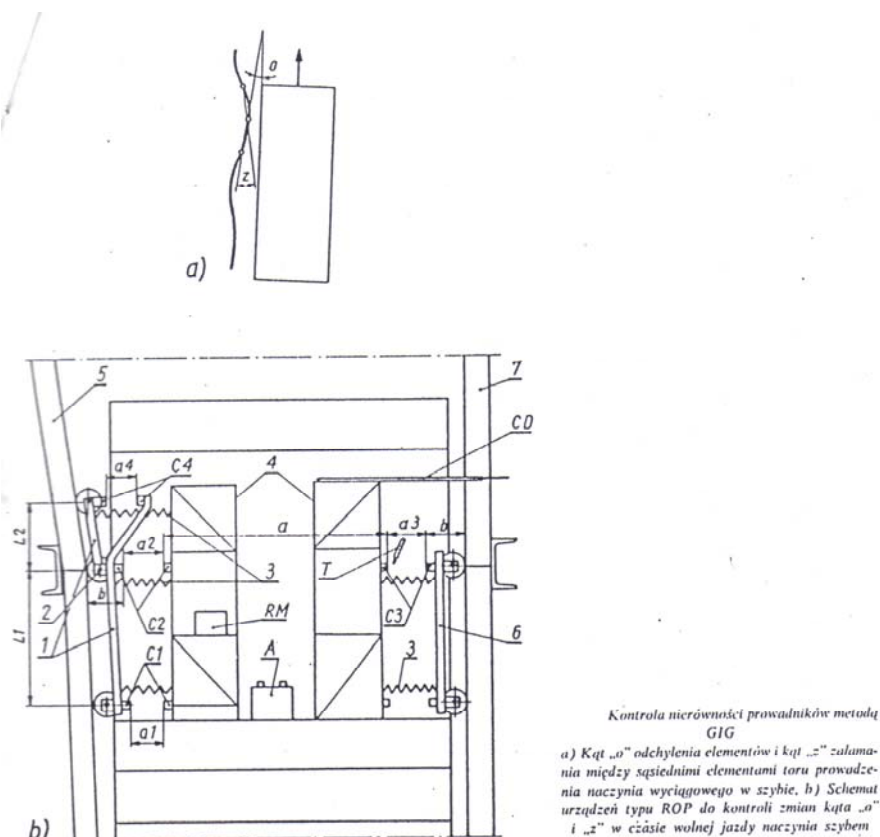
$$m_{p_i} = \pm \sqrt{2Hb} \frac{m_\varepsilon}{\rho}$$

W oparciu o powyższą zależność można ocenić, że dla szybu o głębokości 600 m błąd wyznaczenia jego punktu osiowego wyniesie:

$$m_{p_i} \cong 13 \text{ mm}$$

g) Tortester szybowy

W GIG skonstruowano urządzenie do równoczesnego pomiaru nierówności czołowych płaszczyzn przewodników szybowych i zmian rozstawu tych przewodników, nazywane przez konstruktorów – Kawulok, Bura (1990) - *tortesterem* lub określane symbolem ROP. Schemat budowy i działania zawiera rys. 2.14 przejęty z wyżej wymienionej publikacji.



Rys.2.14 Tortester GIG ROP - 2

Urządzenie skonstruowano w ten sposób, by po założeniu go na naczyniu na piętrze dla jazdy ludzi za jego pomocą można było mierzyć równocześnie zmiany kąta odchylenia „o” i zmiany kąta załamania „z” czołowych płaszczyzn jednego ciągu przewodnikowego oraz rozstaw między obydwoma ciągami jednego naczynia. Trójkolowy wózek 1 o rozstawie kół $L_1=1000$ mm i $L_2=500$ mm, z przegubem 2 na kółku środkowym, za pomocą sprężyn 3 opartych o konstrukcje wsporczą 4 dociskany był do ciągu przewodnikowego 5. Dwukołowy wózek 6 podobnie był dociskany do przeciwległego ciągu 7. Za pomocą bezstykowych ultradźwiękowych czujników odległości C1, C2 i C3 mierzono odległości a_1 , a_2 , a_3 między głowicami nadawczymi tych czujników związanymi z wózkami 1 lub 6, a głowicami odbiorczymi związanymi z konstrukcjami wsporczymi 4. Za pomocą takiego samego czujnika C4 mierzono odległości a_4 między odpowiednio ukształtowanymi ramionami wózka. Przy związaniu na sztywno konstrukcji 4 z naczyniem, znajomości wielkości „a” rozstawu głowic odbiorczych czujników C2 i C3, można było określić:

- zmiany kąta „o” odchylenia ciągu 5 w stosunku do naczynia na odcinku między kołem dolnym a środkowym wózka 1:

$$o = \frac{a_2 - a_1}{L_1} \quad (2.15)$$

- zmiany kąta „z” między elementami toru przewodnika 5 zawartymi między ramionami o długości L_1 i L_2 wózka 1:

$$z = \frac{a_4}{L_2} \quad (2.16)$$

- rozstaw pomiędzy ciągami przewodników:

$$p = a + a_2 + a_3 + 2b \quad (2.17)$$

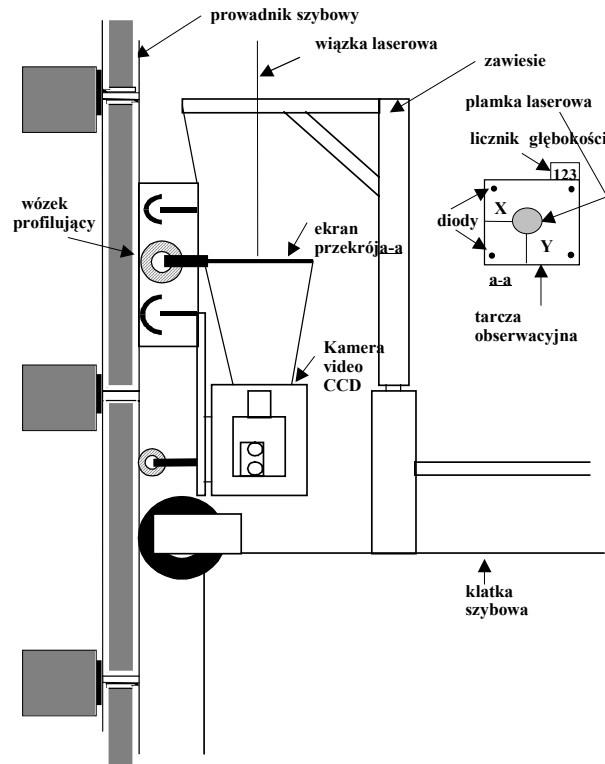
gdzie b – odległość głowic nadawczych od czołowych płaszczyzn przewodników

Z uwagi na brak dostępu do wyników pomiarowych niemożliwa jest ocena dokładności tej metody, a jej krótki opis dołączono dlatego, że, jak to wynika z opracowania – Kawulok, Bura (1990), prowadzono tym urządzeniem pomiary testowe w konkretnych szybach kopalnianych, uzyskując w ich wyniku możliwość rektyfikacji przebiegu ciągów przewodniczych dla zapewnienia spokojnego przejazdu klatki szybowej.

h) Wideodetekcja plamki laserowej

Dążenie do zautomatyzowania istotnej części prac wykonawczych w szybie celem jego inwentaryzacji i prowadzone w tym zakresie badania doprowadziły do opracowania metody wyznaczania przestrzennego przebiegu przewodników szybowych z zastosowaniem

kamery wideo, rejestrującej ślad pionowo ukierunkowanej wiązki światła laserowego na tarczy podziałowej, połączonej z kamerą wózkiem dociskającym do przewodnika podczas przejazdu klatki szypowej. Zasada działania urządzenia pokazana jest na rys. 2.15.



Rys.2.15 Schemat montażu wideoprofilografu na klatce szypowej.

Podobnie jak w metodzie pionowych linii profilowych – patrz ppkt **d**), jednorazowy zasięg pomiaru zależy od zakresu przenikliwości promienia laserowego przez atmosferę szypową, a więc w szypach wdechowych do ok. 300 m. Szyby głębsze wymagają stosowania dodatkowych stanowisk pionownika laserowego wraz z wyznaczaniem różnic sytuacyjnego położenia poszczególnych stanowisk.

Na błędy wyznaczenia położenia śladu plamki laserowej na tarczy wpływają:

- ocena środka figury utworzonej przez rozbieżność wiązki laserowej, objętej dodatkowo wpływem turbulencji i refrakcji,
- nierównomierność przemieszczania się wózka profilowego po przewodniku, wywołana nierównościami powierzchni czołowej oraz zmianami siły docisku wózka do przewodnika.

Przeprowadzone badania wskazują na to, że dla odcinka 300 m błędy turbulencji i refrakcji powodują błąd określenia środka plamki laserowej wynoszący:

$$m_{pl} \cong \pm 3 \text{ mm}$$

Natomiast łączna wartość średniego błędu wyznaczenia współrzędnych naroży prowadnika w nawiązaniu do wiązki laserowej wynosi:

$$m_{p_i} \cong \pm 7,5 \text{ mm}$$

2.4. Określanie wybranych wielkości deformacji szybu w oparciu o pomiary inwentaryzacyjne prowadzone w lokalnych systemach odniesienia

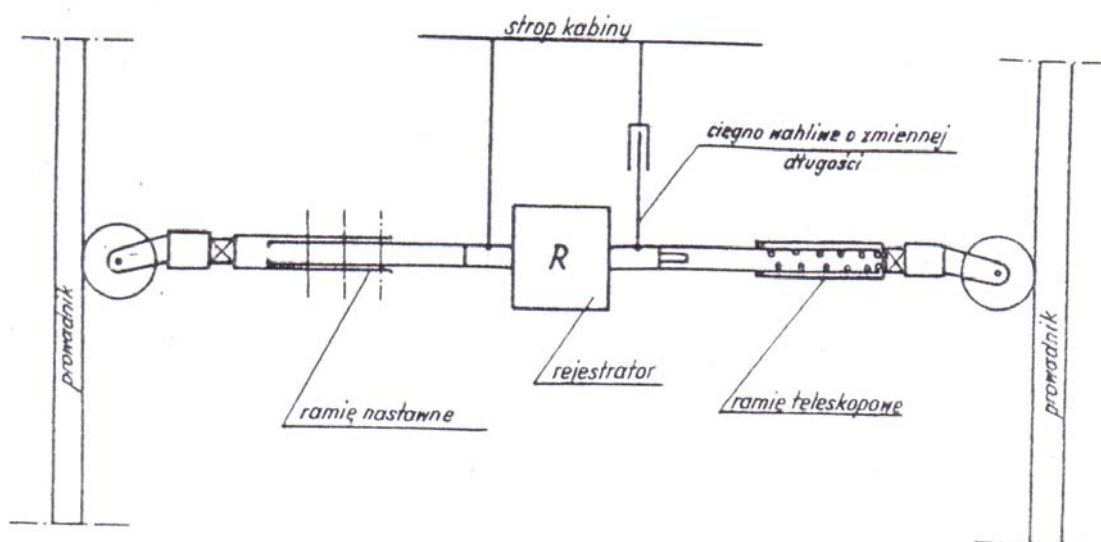
Pierwszym i najważniejszym sygnałem deformacji szybu jest nierównomierność jazdy naczyń wydobywczych, wynikająca z poziomych przemieszczeń poszczególnych odcinków prowadników szybowych. Przemieszczenia te, występujące szczególnie w kierunku podłużnej osi klatki, powodują zmniejszanie lub zwiększanie nominalnego rozstawu prowadników, co w skrajnych przypadkach może prowadzić do zaklinowania klatki, uszkodzenia prowadników lub nawet wypadnięcia klatki z prowadzenia. Stąd też, przy stwierdzeniu nierównomierności w przejeździe klatki szybowej, można w pierwszej kolejności kontrolę prowadzenia naczynia wydobywczego przeprowadzić w zakresie pomiaru rozstawu prowadników. Do tego celu wykorzystuje się profilografy szybowe. W literaturze można znaleźć wiele konstrukcji pozwalających na wyznaczenie rozstawu prowadników podczas przejazdu naczynia wyciągowego. Zwykle używane w tym celu konstrukcje mocowane są do klatki szybowej, a pomiar odbywa się przy zmniejszonej prędkości przejazdu (np. do 2 m/sek), a rozstaw prowadników wyznaczany jest z dwóch lub kilku przejazdów.

i) suwmiarka szybowa

Jako przykład takiego urządzenia podano poniżej opis tzw. *suwmiarki szybowej* – Borowiec (Opatentowany przez Urząd Patentowy Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej za nr 128658, otrzymując świadectwo autorskie nr 196643 w dniu 9 grudnia 1985 r.). Urządzenie, pokazane na rys. 2.16, pozwala na szybkie i obiektywne zarejestrowanie zmian rozstawu prowadników, dając w efekcie zapis stwierdzonych zmian w postaci wykresu. Urządzenie to zawieszane się we wnętrzu klatki szybowej w taki sposób, aby rolki opierały się o powierzchnie czołowe prowadników. Poziomość zawieszenia kontrolowana jest za pomocą libeli. Przejazd

2. Charakterystyka dotychczasowych metod pomiaru pionowości i prostoliniowości przewodników...

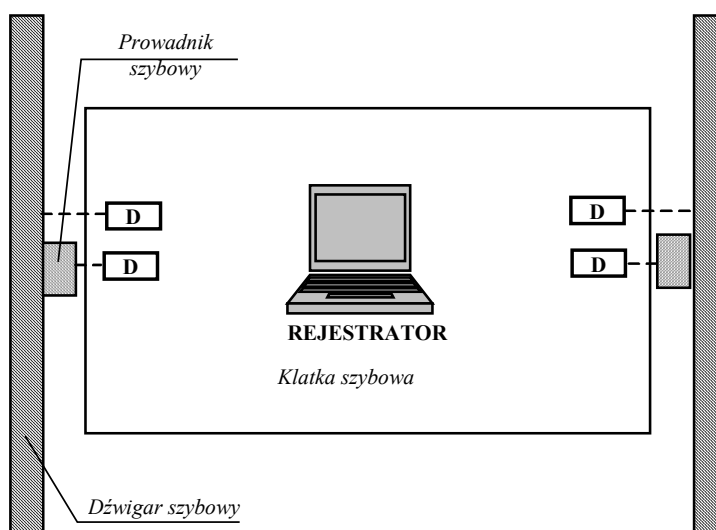
powinien być możliwie płynny, a jego prędkość powinna zawierać się w granicach 1 – 2 m/s. Kierunek przejazdu („w dół” czy „do góry”) jest w zasadzie obojętny. Przed rozpoczęciem przejazdu pomiarowego, jak i po jego zakończeniu, należy przeprowadzić bezpośredni pomiar (taśmą, ruletką) rozstawu przewodników na powierzchni. Uzyskana, podczas przejazdu pomiarowego, taśma papierowa z zapisem zmian rozstawu przewodników jest obiektywnym dokumentem, umożliwiającym dokonywanie pomiaru rozstawu na dowolnym horyzoncie. Dotychczasowe wyniki wskazują, że pomiar przy stosowaniu suwmiarki szybowej pozwala na wyznaczanie rozstawu przewodników szybowych ze średnim błędem ± 3 mm, przy czym istnieje zależność pomiędzy dokładnością, a wielkością rozstawu. Szczególne jednak korzyści stosowania suwmiarki szybowej wynikają z bardzo znacznej oszczędności czasu, potrzebnego na przeprowadzenie pomiaru, w porównaniu z czasem koniecznym do pomiaru taśmą.



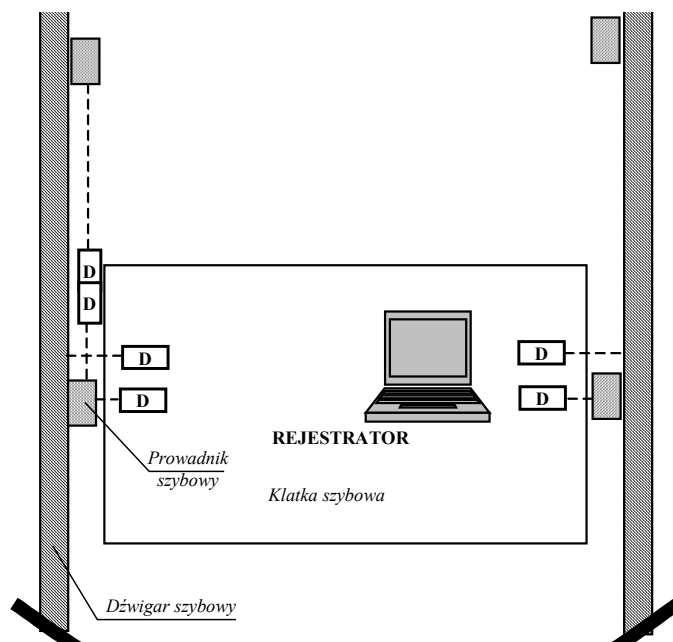
Rys.2.16 Schemat budowy suwmiarki szybowej

j) pomiary inwentaryzacyjne z zastosowaniem dalmierza DISTO plus

Ideę opracowanej przez dr inż. Wojciecha Jaśkowskiego (Jaśkowski (2006)), metody pomiarów odległości, potrzebnej do określenia geometrii ciągów przewodniczych (rozstaw między przewodnikami) oraz odległości ruchowych (domiary do dźwigarów, obudowy, innych urządzeń w szybie) przedstawiono na rysunkach 2.17 i 2.18. Zakłada ona zastosowanie co najmniej dwóch dalmierzy DISTO plus, zamocowanych w podstawkach, które w czasie pomiarów łączone są prostymi sposobami z naczyniem wyciągowym. Na rysunku 2.19 pokazano sposób, polegający na położeniu podstawki na podłodze przedziału klatki szybowej i jej dociążeniu. W zależności od liczby posiadanych dalmierzy można równocześnie podczas jednego przejazdu naczynia mierzyć od jednej (dwa dalmierze) do trzech (sześć dalmierzy) wielkości rozstawów czołowych i bocznych między przewodnikami lub innych potrzebnych domiarów (do obudowy, dźwigarów, innych urządzeń lub elementów uzbrojenia szybu).



Rys. 2.17. Schemat rozmieszczenia urządzeń w klatce szybowej w zestawie do pomiaru rozstawu czołowego przewodników oraz odległości między dźwigarami



Rys. 2.18 Schemat rozmieszczenia urządzeń w klatce szybowej w zestawie do pomiaru rozstawu czołowego, bocznego i odległości między dźwigarami.



Rys. 2.19. Pomiary rozstawu czołowego przewodników w szybie Campi kopalni KS Bochnia za pomocą dalmierzy laserowych Disto plus

Wyniki pomiarów odległości z dalmierzy są przesyłane łączami Bluetooth i rejestrowane na jednym komputerze przenośnym. Czasy rejestracji pomiarów z dalmierzy są zsynchronizowane, co pozwala później obliczać wartości rozstawów jako sumy mierzonych odległości do obu przewodników. Przy wykorzystaniu opcji pomiarów ciągłych dalmierze DISTO plus mierzą odległości z częstotliwością około 3Hz, co umożliwia

2. Charakterystyka dotychczasowych metod pomiaru pionowości i prostoliniowości przewodników....

przewodzenie pomiarów z poruszającą się wolno, w szybie, klatki. Przy prędkości klatki około 0,5 m/sek. możliwe jest uzyskanie pomiarów rozstawu w odstępach pionowych równych około 0,2-0,3 m. Po zamontowaniu dalmierzy DISTO w klatce i ich uruchomieniu, rozpoczyna się pomiar rozstawu przy ciągłej, wolnej jeździe naczynia wyciągowego w górę lub w dół. Pozycja (głębokość) naczynia jest sygnalizowana na komputerze w czasach odpowiadających przejazdowi na wysokości kolejnych dźwigarów zbrojenia szybu. Możliwe jest przy tym wykonywanie pomiarów przy ruchu naczynia wyciągowego w górę lub w dół. Przy prędkości ruchu równej 0,5 m/sek. czas dwukrotnego pomiaru jednego rozstawu w szybie o głębokości 500m nie przekroczy 40 minut. Pomiar może wykonać jedna osoba. Jest to zatem metoda ekonomiczna i bezkolizyjna. Pomiary wykonywane są bezstykowo i bezpiecznie. Wykorzystana funkcja ciągłego pomiaru dalmierzem laserowym oraz wykonanie pomiarów w ruchu pozwala na zaliczenie opracowanej metody do skanowania laserowego.

Po dodaniu do mierzonych odległości długości „bazy” między dalmierzami Disto otrzyma się wartości rozstawów między przewodnikami. Wyznaczone maksymalne wartości różnic rozstawów między przejazdami nie przekraczają $\pm 2\text{mm}$. Wartość tą można przyjąć za błąd standardowy opisywanej metody pomiarowej. Przeciętna wartość otrzymanej różnicy wynikająca z porównania pomierzonych rozstawów z pomiarami klasycznymi wynosi $\pm 0,9\text{mm}$

W poniższej tabeli 2.1 ujęto podstawowe wielkości oceniające dokładność przeprowadzenia kontrolnych pomiarów inwentaryzacyjnych szybów kopalnianych, przy stosowaniu opisanych powyżej technologii, dla głębokości szybu do 600 m.

Tabela 2.1 Podstawowe wielkości oceniające dokładność przeprowadzenia kontrolnych pomiarów inwentaryzacyjnych szybów kopalnianych dla głębokości szybu do 600 m

Metoda pomiaru inwentaryzacyjnego	Rodzaj osnowy	Błąd wyznaczenia punktu osnowy	Metoda pomiaru szczegółów na horyzontach pomiarowych	Błąd wyznaczenia położenia szczegółów sytuacyjnych	Zakres pomiaru w szybie	Uwagi
a) W oparciu o osnowę 4 wolnozwisających pionów	zewn.	$m_s(H) \cong \pm 1,4 \text{ mm}$	ortogonalna	$m_p(S) \cong \pm 2,0 \text{ mm}$	> 1000 m	
b) W oparciu o 4 ciąga stalowe odchylone od linii pionu	zewn.	$m_p' \cong \pm 3,5 \text{ mm}$ $m_s(H) \cong \pm (5-7) \text{ mm}$	ortogonalna	$m_p(S) \cong \pm 2,0 \text{ mm}$	> 1000 m	
c) Polaryzacyjna – przyrząd SVP	zewn.	$m_s(H) \cong \pm 27,8 \text{ mm}$	biegunowa	$m_p(S) \cong \pm 29 \text{ mm}$	> 1000 m	
d) Metoda pionowych linii pomiarowych	wewn	$m_{p_i} \cong \pm (3-7) \text{ mm}$	ew. ortogonalna	$m_p(S) \cong \pm (4-7,5) \text{ mm}$	< 300 m	dla pojedynczego ustawienia pionownika laserowego
e) Inercyjny pomiar – przyrząd ISSM	wewn	$m_{p_i} \cong \pm 20 \text{ mm}$	ortogonalna	$m_p(S) \leq \pm 80 \text{ mm}$	> 1000 m	
f) Przyrząd SI	wewn	$m_{p_i} \cong \pm 13 \text{ mm}$	ew. ortogonalna	$m_p(S) \leq \pm 16 \text{ mm}$	> 1000 m	
g) Metoda wideodetekcji wiązki laserowej	wewn	$m_{p_i} \cong \pm 7,5 \text{ mm}$	ortogonalna	$m_p(S) \leq \pm 8 \text{ mm}$	< 300 m	

Uwagi:

m_p' - błąd wyznaczenia miejsca odchylenia ciągu od linii pionu

$m_s(H)$ - błąd wyznaczenia punktu osnowy na głębokości 600 m (dla ciągów odchylonych dotyczy przypadku, gdy występuje 2-4 odcinków odchylonych)

m_{p_i} - błąd wyznaczenia położenia narożnika prowadnika

2. Charakterystyka dotychczasowych metod pomiaru pionowości i prostoliniowości przewodników...

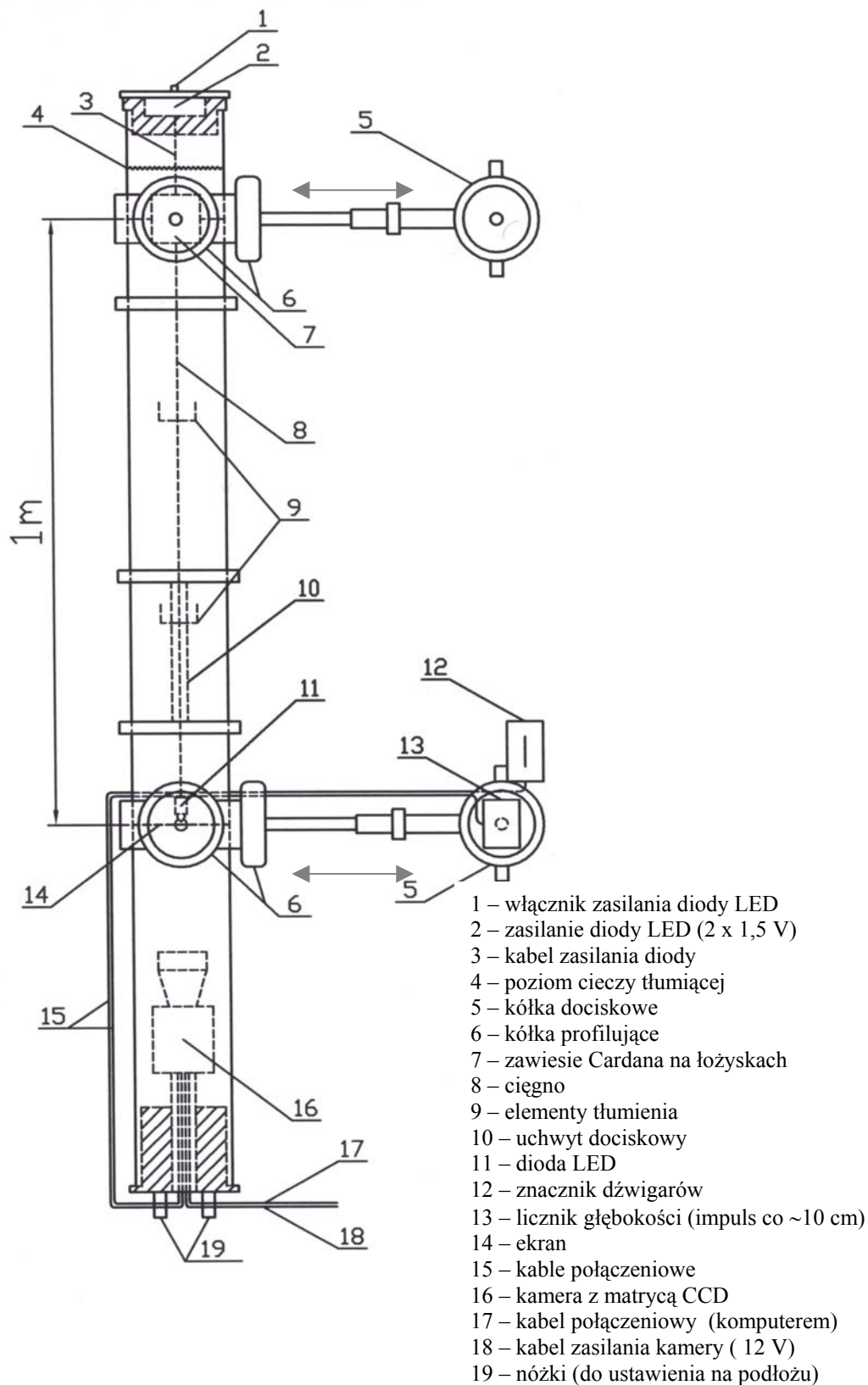
3. Technologia wykonywania pomiarów przebiegu przewodników szybowych przy wykorzystaniu inklinometru szybowego z komputerową detekcją zmian wychyleń.

3.1. Budowa inklinometru szybowego.

Uciążliwość wykonywania klasycznych metod pomiarowych zrodziła potrzebę opracowania urządzenia pozwalającego na pomiar prostoliniowości i pionowości przewodników szybowych, który nazwano inklinometrem szybowym (zgłoszenie patentowe nr P.381 685). Twórcami tego urządzenia są dr inż. Wojciech Jaśkowski i dr inż. Mieczysław Jóźwik. Głównymi atutami nowego urządzenia miało być bezpieczeństwo wykonywania pomiarów przy jego zastosowaniu, krótki czas wykonywania pomiarów połączony z ich zautomatyzowaniem oraz porównywalna dokładność otrzymanych wyników z dokładnością metod klasycznych. Schemat budowy inklinometru szybowego przedstawiono na rys. 3.1.

Inklinometr szybowy bazuje na rozwiązaniu, polegającym na ciągłym pomiarze wychyleń wahadła (sztywnego ciężna) o długości 1m zanurzonego w cieczy tłumiącej (wodzie). Realizowane jest to poprzez komputerowy system detekcji światła emitowanego przez diodę LED (light-emitting diode – dioda świetlna), w którym zastosowano kamerę video z matrycą CCD (charge coupled device – układ elementów światłoczułych odczytujących natężenie światła w danym punkcie matrycy) służącą jako odbiornik fotodetekcyjny, mierzący przemieszczenia wahadła, zakończonego źródłem światła. Sam inklinometr składa się z rurowej obudowy (rys. 3.1), na której w górnej i dolnej części (w odległości 1m) osadzono dwie pary ułożyskowanych kółek profilujących, które przykładane są w trakcie pomiarów do czołowej i bocznej powierzchni przewodnika. W celu stabilizacji ruchu inklinometru po przewodniku na jego obudowie zamocowano również dwa kółka dociskowe, z których jedno mierzy przebytą drogę inklinometru w czasie pomiarów. Istnieje możliwość regulacji odległości pomiędzy kółkiem profilującym (przykładanym do płaszczy bocznej przewodnika) a kółkiem dociskowym tak by odległość tę dostosować do szerokości nominalnej badanego przewodnika. Dzięki temu urządzenie może zostać precyzyjnie i stabilnie przyłożone do badanego przewodnika a podczas przejazdu zapobiega się w ten sposób wypadnięciu instrumentu z ciągu przewodniczego. Wewnątrz obudowy inklinometru na poziomie górnych kółek profilujących zamocowano sztywne wahadło na

przegubie Cardana, na którego końcu umieszczona jest dioda świetlna zasilana przez dwie baterie 1,5V.



Rysunek 3.1. Schemat budowy inklinometru szybowego

3.2. Technologia pomiarów z wykorzystaniem prototypu.

Pomiar inklinometrem szybowym polega na przyłożeniu urządzenia do badanego przewodnika (z wykorzystaniem przenośnego zawiesia – rys. 3.2) z przedziału klatki szybowej. Następnie dokonuje się ciągłej rejestracji wychyleń wahadła (z częstotliwością 50 Hz) podczas przejazdu klatki (z prędkością rewizyjną) na długości badanego ciągu przewodniczego (z dołu do góry). Pomiar wykonywany jest przy przejeździe klatki „z dołu do góry” ze względu na sposób zamocowania inklinometru na „zawiesiu”. Inklinometr zamocowany jest do „zawiesia” w swojej górnej części. Po przyłożeniu go do płaszczyzn przewodnika w czasie przejazdu wzdłuż ciągu, trudno byłoby utrzymać kółka profilujące w płaszczyznach zgodnych z płaszczyznami głównymi badanego przewodnika gdyby przejazd odbywał się „z góry do dołu”. Spowodowane jest to brakiem zamocowania dolnej części instrumentu względem podłogi klatki i możliwością dociskania instrumentu przez obsługującego (przy pomocy specjalnego uchwytu na inklinometrze) jedynie w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny czołowej przewodnika. W sytuacji przejazdu „z góry do dołu” przyczyniałoby się do częstszych wybić instrumentu (spowodowanych nierównościami na płaszczyznach przewodników i ewentualną nierównomierną prędkością przejazdu) zaburzających otrzymywane wyniki. Zmienne pochylenie przewodnika, do którego przyłożony jest inklinometr szybowy, powoduje zmiany położenia diody LED (zamontowanej na końcu wahadła) względem środka matrycy (w kamerze), które rejestrowane jest przez komputer. Podczas pomiaru wystarczy obecność dwóch osób, z których jedna kontroluje rejestrację danych na przenośnym komputerze (rys.3.4), zaś druga realizuje docisk kółek profilujących do płaszczyzn głównych przewodnika (rys. 3.3). Technologia pomiaru nie stwarza fizycznego zagrożenia dla osób wykonujących takie pomiary, spełniając wymogi bezpiecznego ich prowadzenia, co w przypadku pomiarów szybowych posiada istotne znaczenie.



Rysunek 3.2. Inklinometr szybowy na przenośnym zawieszu ustawionym w klatce szybowej.

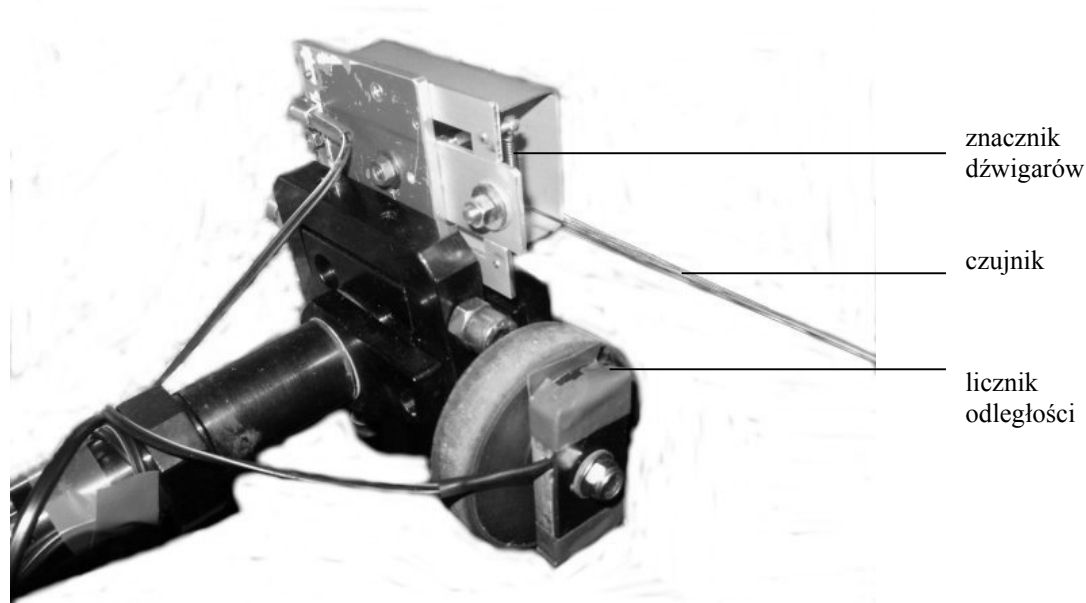


Rysunek 3.3. Pomiar ciągu przewodniczego z wykorzystaniem inklinometru szybowego.



Rysunek 3.4. Komputer rejestrujący dane pomiarowe.

Podczas pomiarów, oprócz zapisu współrzędnych X i Y położenia diody LED (w układzie matrycy) i interwału czasu, prowadzona jest rejestracja przebytej drogi poprzez zastosowany „licznik odległości”. Działanie „licznika” polega na dociśnięciu do płaszczyzny bocznej przewodnika dolnego kołka dociskowego o obwodzie ~20 cm, które podczas przejazdu, generuje sygnał po przebyciu przez urządzenie kolejnych ~10 cm odległości. Dodatkowo rejestrowany jest sygnał ze „znacznika dźwigarów” który pozwala uchwycić moment przejazdu dolnej pary kółek profilujących obok dźwigara. W „znaczniku” zastosowano układ rejestrujący odchylenie przez dźwigar wystającego czujnika. Odchylenie czujnika powoduje zamknięcie obwodu i wygenerowanie sygnału. Obydwa elementy zamontowane są na dolnym ramieniu dociskowym inklinometru. Licznik odległości i znacznik dźwigarów przedstawiono na rys. rys. 3.5.



Rysunek 3.5. Licznik odległości i znacznik dźwigarów.

Dane pomiarowe rejestrowane są na podłączonym do inklinometru komputerze przy zastosowaniu programu „det_plam.exe”. Zapis informacji odbywa się w formie plików tekstowych, w których record pomiarowy (linia tekstu generowana przez program) zawiera informacje przedstawione w tab. 3.1. Każdorazowo (w zdefiniowanym przez użytkownika odstępie czasu związanym z ustawioną częstotliwością pomiarów) wygenerowana przez program linia rekordu, zawiera kolejno następujące informacje:

- zarejestrowana wartość współrzędnej X oraz Y środka plamki (z diody LED);
- ilości linii na matrycy, z których określany jest tenże środek;
- kolejny numer rekordu;
- czas systemowy (1 sekunda = 1 193 180 jednostek czasu systemowego)
- kod identyfikacji sygnałów pochodzących z „licznika głębokości” i „znacznika dźwigarów” (odpowiednio 0, 1, 2 lub 3)

Kod identyfikacji pozwala określić w którym momencie generowane są sygnały informujące o przebyciu kolejnych 10 cm odległości (sygnał z „licznika głębokości”) lub o przejeździe dolnej pary kółek profilujących obok dźwigara (sygnał ze „znacznika dźwigarów”). Kod identyfikacji wynoszący „0” określa, iż nie ma sygnału zarówno ze „znacznika dźwigarów” jak i z „licznika głębokości”. Kod „1” oznacza informację o sygnale ze „znacznika dźwigarów” (chwilowe wygięcie wskaźnika, który w momencie przejazdu opierając się o dźwigar zamyka obwód). Kod „2” dotyczy informacji, iż licznik głębokości wskazuje

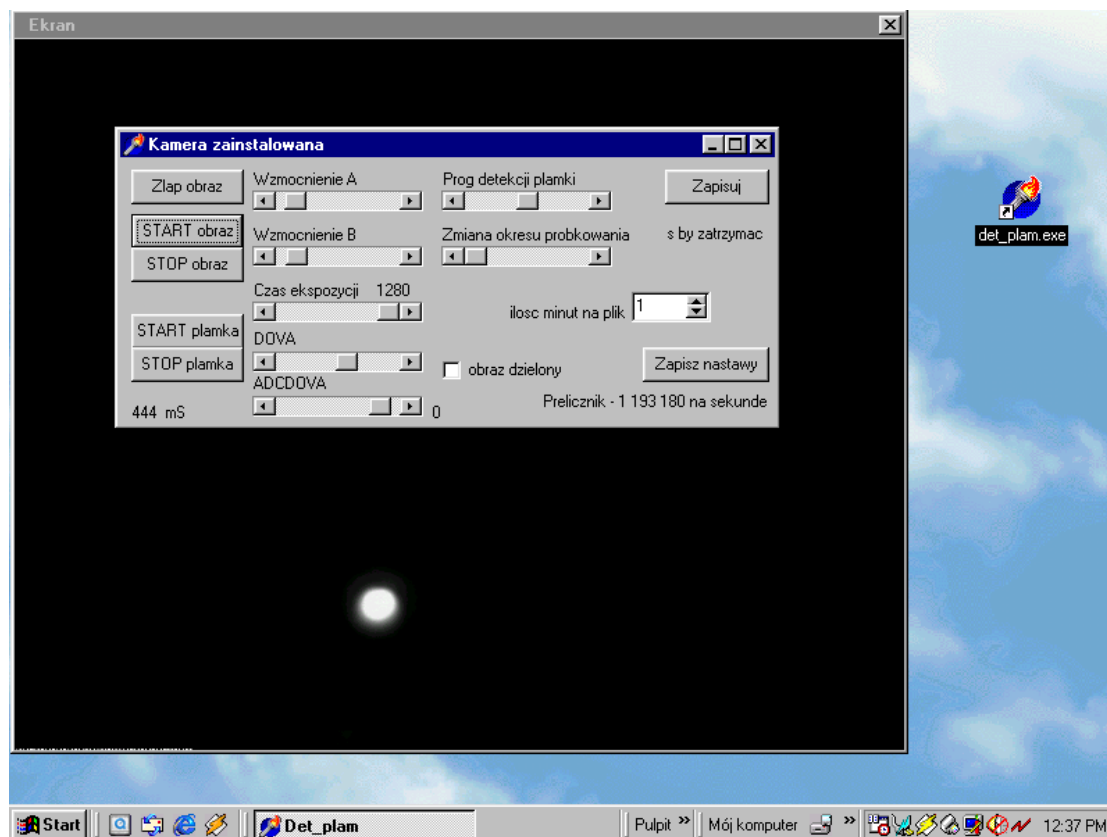
przebycie kolejnych 10 cm drogi podczas ruchu inklinometru wzdłuż ciągu przewodniczego. Natomiast kod „3” oznacza, iż w tym momencie nakładają się na siebie sygnały generowane ze „znacznika dźwigarów” i „licznika głębokości”, czyli odpowiada to sytuacji gdy inklinometr przemieścił się o kolejne 10 cm odległości a podczas przejazdu mijany był dźwigar.

Tabela 3.1. Format rejestrowanego pliku wynikowego.

X [piksel]	Y [piksel]	Ilość linii	Nr obserwacji	Czas systemowy	Kod identyfikacji
317	218	24	1	2559472207	0
317	218	24	2	2559493369	0
316	217	24	3	2559514532	1
315	215	24	4	2559535695	1
310	210	24	5	2559556857	2
310	210	24	6	2559578018	2
300	200	24	7	2559599182	3
300	200	24	8	2559620347	3
Ilość linii odpowiada rejestrowanemu natężeniu światła generowanego przez diodę LED Stała służąca do przeliczania czasu systemowego na sekundy: 1 s = 1 193 180 Kody identyfikacji: 0 – brak sygnałów, 1 – znacznik dźwigara, 2 – licznik głębokości, 3 – znacznik dźwigara + licznik głębokości					

Program „det_plam.exe” służy do sterowania urządzeniem do detekcji światła emitowanego przez diodę LED (plamki) i rejestracji danych na komputerze. Po jego uruchomieniu i włączeniu zapisu rejestruje on współrzędne środka plamki w układzie matrycy kamery i tworzy plik rejestracyjny w formacie opisanym powyżej. Możliwe jest ustawienie czasu po jakim program zakończy zapis w pierwszym pliku rejestracyjnym (wynikowym pliku w którym rejestruje się dane według podanej kolejności) i rozpocznie zapis w kolejnym pliku (opcja menu „ilość minut na plik”). Program umożliwia obserwację w czasie rzeczywistym położenia plamki na matrycy kamery. Po wcześniejszym podłączeniu inklinometru do komputera i włączeniu programu, uruchomienie opcji „START obraz” powoduje włączenie trybu obserwacji plamki (światło emitowane przez diodę LED) na matrycy kamery (czarne tło). Względne zmiany położenia plamki na matrycy obserwuje się

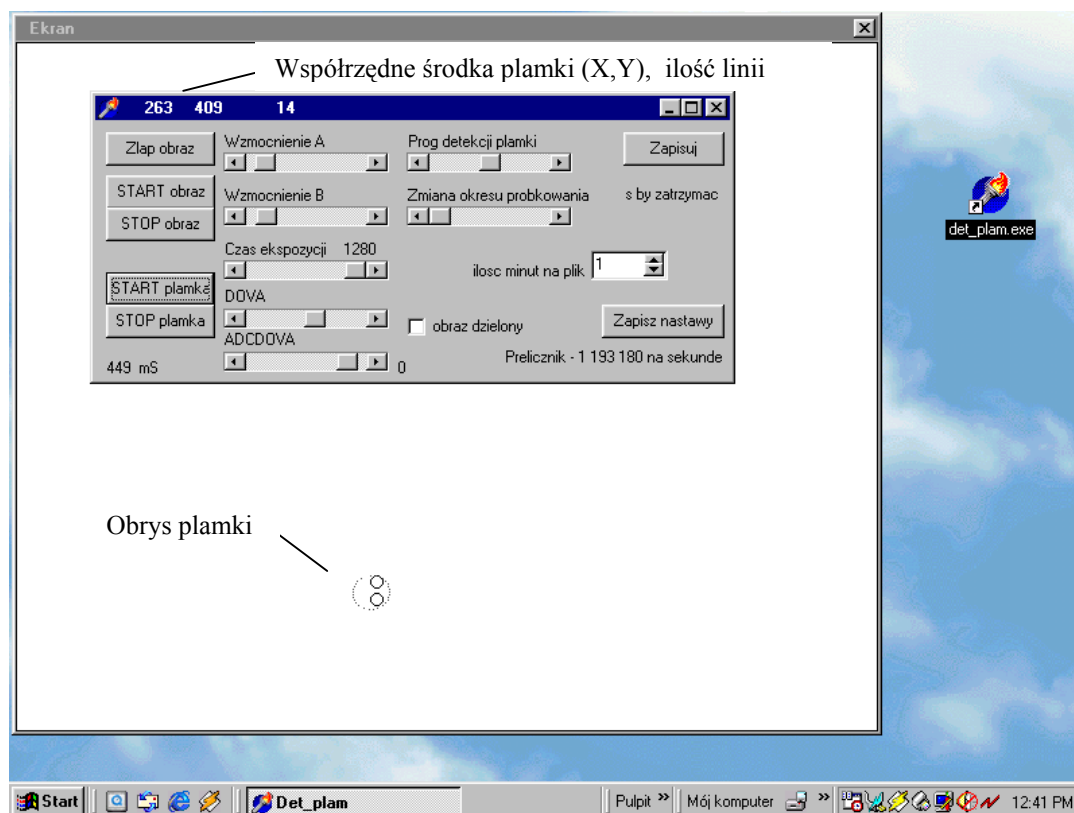
w czasie rzeczywistym na ekranie komputera. Widok programu włączonego w powyżej opisanym trybie przedstawia rysunek 3.6.



Rysunek 3.6. Interfejs programu detekcji plamki (wizualizacja położenia plamki)

Przy pomocy „wskaźników suwakowych” w menu program pozwala na dobranie parametrów wzmocnienia rejestrowanego sygnału („Wzmocnienie A”, „Wzmocnienie B”) co odpowiada wzmocnieniu dwukanałowego sensora zastosowanego na matrycy oraz ustawieniu progu czerni dla tego sensora („DOVA”, „ACDOVA”) Ustawieniu w programie podlega również parametr regulujący głębię ostrości obrazu przy zastosowaniu tzw. przysłony regulującej ilość odbieranego światła („Czas ekspozycji”). „Okres próbkowania” jest parametrem odpowiadającym za częstotliwość zapisu (od maksymalnej- 50Hz do minimalnej - co 2s), zaś „Próg detekcji plamki” określa granicę rozpoznawalności obszaru, w którym znajduje się obraz plamki świetlnej, powyżej zadanego przez obserwatora progu detekcji.

Program pozwala określić współrzędne X, Y (w jednostkach pikselowych) środka plamki w układzie matrycy kamery. Po uruchomieniu opcji „START plamka” na ekranie wyświetlony zostaje obrys wyznaczonej przez program plamki na matrycy kamery (białe tło). Dodatkowo wyświetlane zostają współrzędne środka plamki. Współrzędne te wyznaczone są na podstawie określenia ilości linii (nr piksela) na matrycy (wzdłuż osi X i Y) na których uzyskano detekcję światła z diody. W oparciu o ilość linii na których uzyskano obraz (zakres wyznaczany przez początkową i końcową linię) wyznaczana jest linia odpowiadająca środkowi zakresu i tym samym określa się odpowiadającą środkowi plamki współrzędną. Określenie powyższych informacji odbywa się poprzez detekcję światła emitowanego przez diodę LED (rysunek 3.7). W tym trybie programu uruchomienie opcji „zapisuj” rozpoczyna ciągłą rejestrację wyznaczonych przez program współrzędnych środka plamki na matrycy.



Rysunek 3.7. Interfejs programu detekcji plamki (określenie współrzędnych środka plamki)

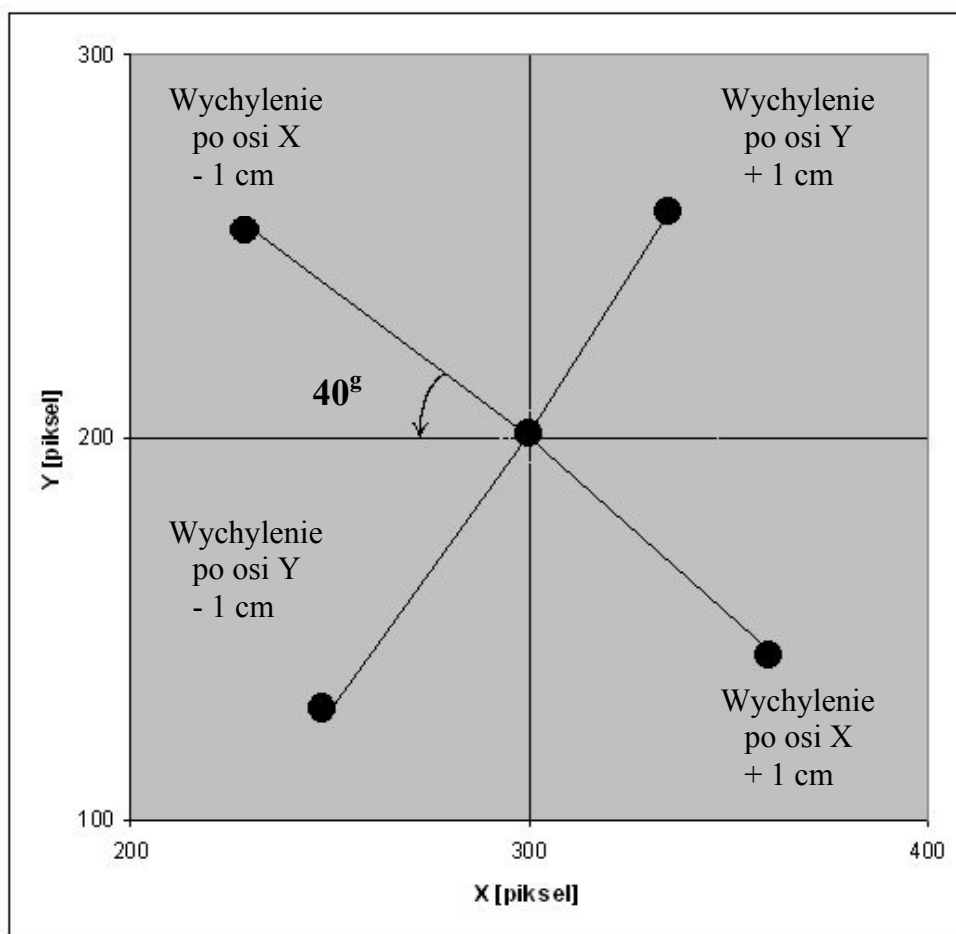
3.3. Wyniki badań testowych inklinometru szybowego.

Dla potrzeb przetestowania prototypu zbudowano specjalne stanowisko pomiarowe (przewodnik badawczy - rysunek 3.8.) umiejscowione w szybie doświadczalnym pawilonu C-4 AGH. Pomiary testowe miały na celu określenie zakresu pomiarowego urządzenia oraz wyznaczenie metrycznych wielkości odpowiadających jednostkom pikselowym na matrycy (Skulich M. (2008)).



Rysunek 3.8 Stanowisko badawcze inklinometru.

W pierwszym etapie badań sprawdzono warunek zgodności ustawienia osi głównych kółek profilujących z osiami matrycy kamery. Dokonano tego poprzez rejestrację współrzędnych plamki dla przypadków zmian wychyleń wahadła w kierunkach głównych, tzn. prostopadłych do płaszczyzn dociskowych kółek profilujących. Po przyłożeniu inklinometru do przewodnika badawczego wykonano rejestrację zmian wychyleń wahadła po podłożeniu podkładki o grubości 1cm kolejno pomiędzy każde koło profilujące i płaszczyznę przewodnika. Skręcenie osi głównych matrycy kamery w stosunku do osi głównych kółek profilujących wynoszące 40 gradów określono na podstawie współrzędnych położenia plamki w pozycji wyjściowej (środkowej) i w pozycjach odpowiadających odpowiednim wychyleniom. Na tej podstawie stwierdzono, iż nie ma zgodności ustawienia osi głównych kółek profilujących w stosunku do osi matrycy kamery. Określenie wartości skręcenia osi pozwoliło na dokonanie korekty wzajemnego ustawienia osi poprzez obrót kamery o wartość 40 gradów i jej zamocowanie w takim położeniu. Wykres zarejestrowanych zmian położenia plamki przed korektą przedstawia rys. 3.9.



Rysunek 3.9 Położenia plamki na matrycy dla wychyleń w kierunkach głównych przed korektą.

W dalszym etapie badań testowych dokonano sprawdzenia poprawności wykonanej korekty i wyznaczenia metrycznych wielkości odpowiadających jednostkom pikselowym na matrycy kamery. W tym celu ponownie wykonano obserwację wychyleń wahadła dla przypadków zmiany położenia instrumentu w czterech głównych kierunkach prostopadłych do płaszczyzn dociskowych kółek profilujących o stałą, zadaną wielkość (1 cm). Pomiary wykonywane były dwukrotnie niezależnie. Współrzędne X oraz Y plamki dla położenia centralnego i dla poszczególnych wychyleń z pierwszego i drugiego wyznaczenia różniły się w granicach ± 3 piksele i rozbieżności te miały charakter przypadkowy.

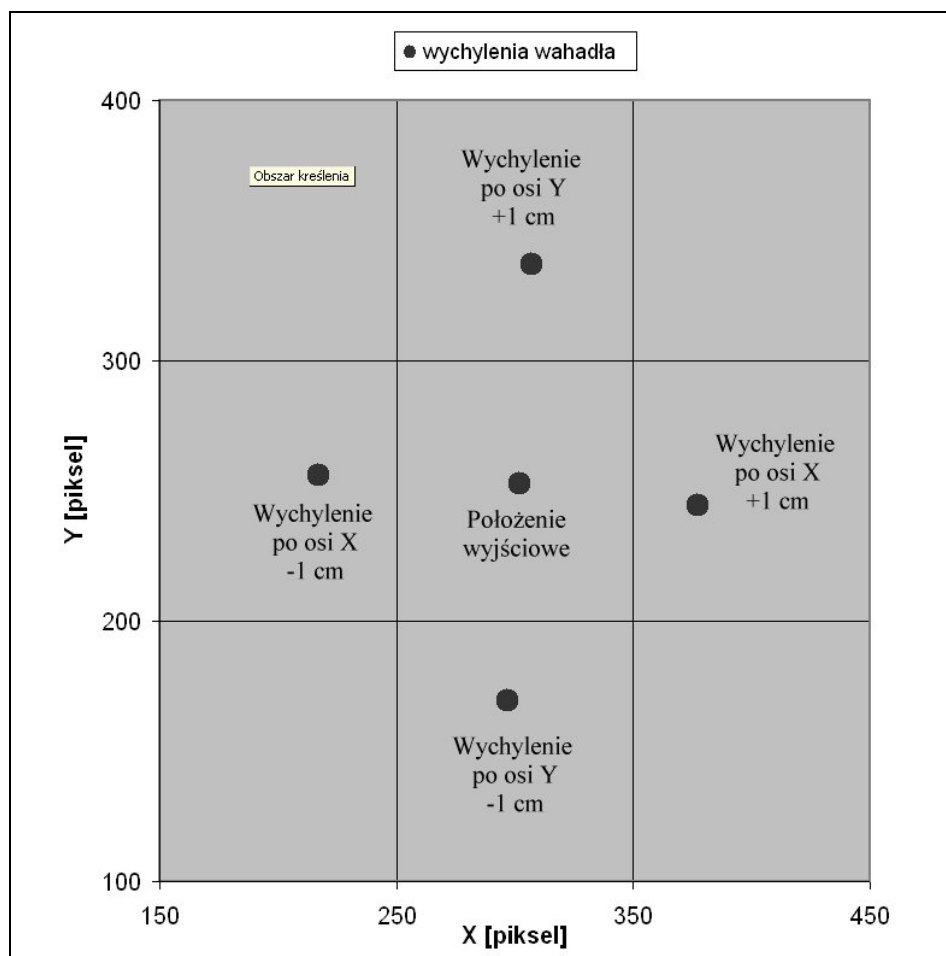
Wykresy wychyleń wahadła w kierunkach głównych przedstawiono na rys. 3.10. Położenie wyjściowe odpowiadało wskazaniu inklinometru dla przypadku przyłożenia instrumentu do wybranej płaszczyzny przewodnika badawczego. Obserwowane wartości dla poszczególnych wychyleń przedstawiono w tabeli 3.2. Uzyskane wyniki wskazują na wystąpienie nieznacznego wzajemnego skrócenia osi (około 4 grady) przy czym w praktyce skrócenie to nie wpływa znacząco na wyniki pomiarów (dla przypadku $dx=5$ pikseli, $dy=84$ piksele, odchylenie liniowe końca wahadła inklinometru wynosi $p=\sqrt{dx^2 + dy^2} = \sqrt{5^2 + 84^2} = 84$ piksele).

Tabela 3.2. Wychylenia wahadła w kierunkach głównych po korekcie.

Położenie	X [piksel]	Y [piksel]	dx [piksel]	dy [piksel]	1cm=pic	1pic=mm
wyjściowe	302	253				
przód dół +1cm	378	244	76	-9	76	0,13
przód góra +1cm	217	256	-85	3	85	0,12
bok dół +1cm	307	337	5	84	84	0,12
bok góra +1cm	297	169	-5	-84	84	0,12

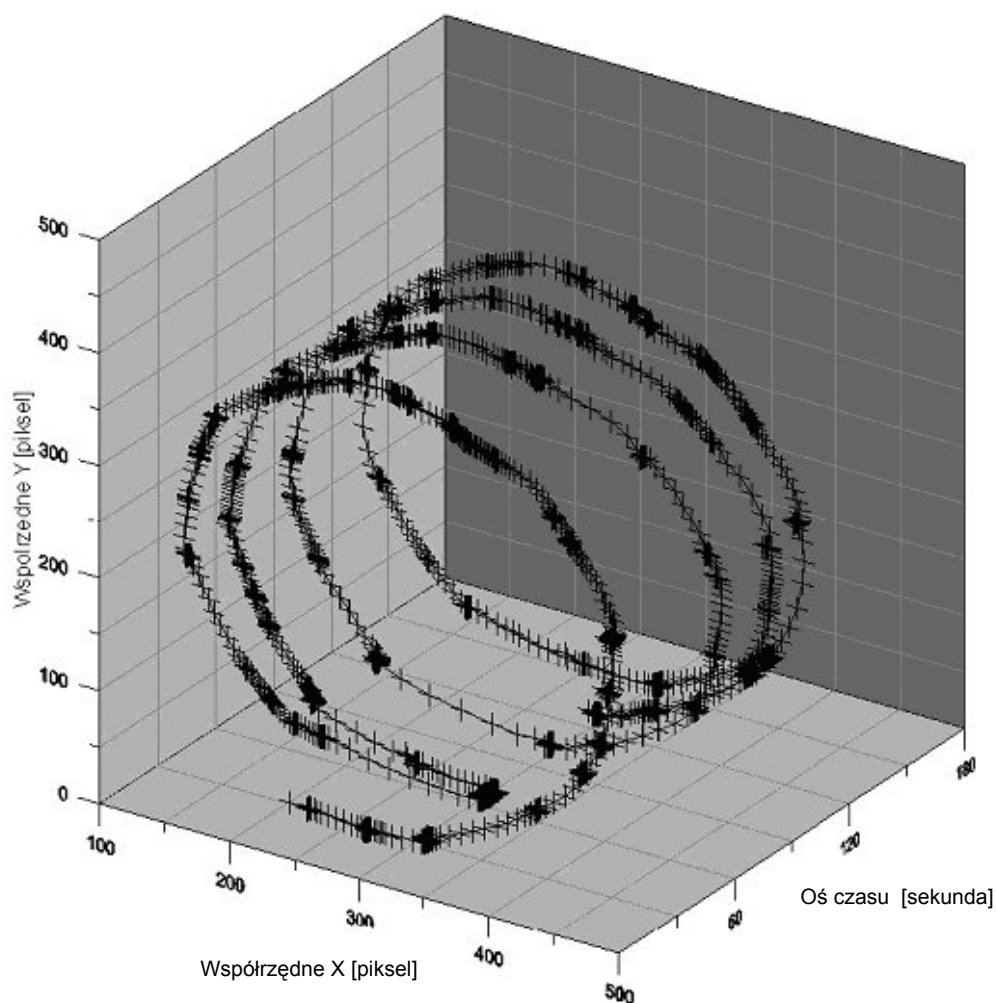
Otrzymane wielkości wychyleń w pikselach przeliczono na jednostkę metryczną i uśredniono, otrzymując zależność:

$$1 \text{ piksel} = 0,12 \text{ mm.}$$



Rysunek 3.10. Wyznaczone wychylenia wahadła w kierunkach głównych po korekcie.

Określenie zakresu pomiarowego instrumentu polegało na rejestracji wskazań inklinometru podczas wychylenia wahadła do granicznej wartości w całym zakresie powstającego stożka położeń wahadła. Otrzymane wartości współrzędnych zakresu pomiarowego przedstawiono na rys. 3.11 (przestrzenny obraz wykresu uwzględnia współrzędne X,Y plamki emitowanej przez diodę na matrycy kamery oraz oś czasu obrazującą kolejność wychyleń instrumentu dla jakich wykonywane były obserwacje).

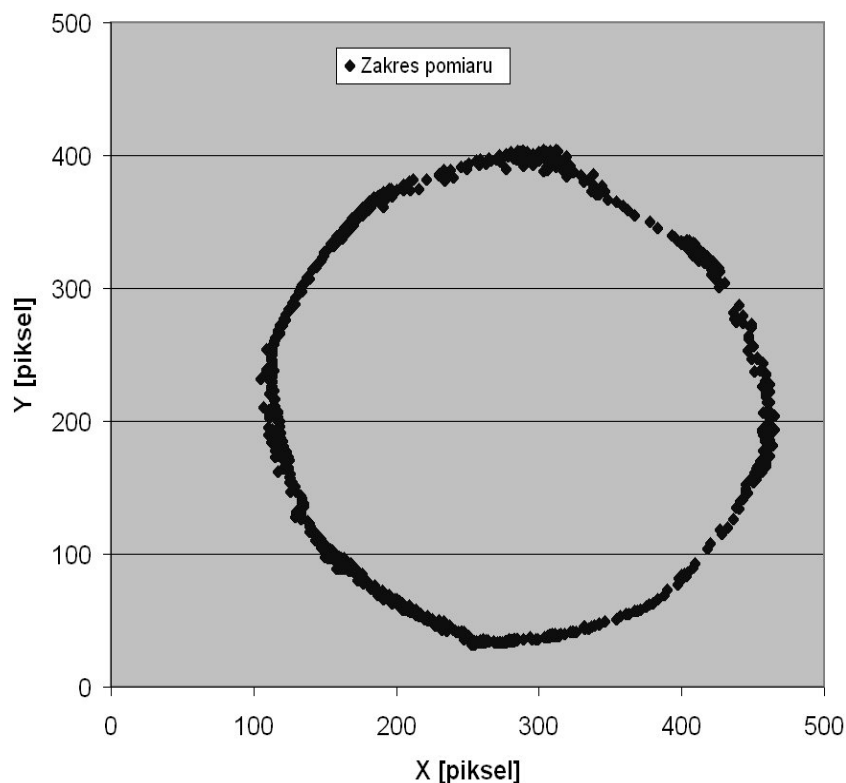


Rysunek 3.11. Cząso-przestrzenny obraz zakresu pomiarowego inklinometru.

Na podstawie przeprowadzonych badań uzyskano obraz zakresu pomiarowego w jednostkach matrycy kamery (piksel), przedstawiony na rys. 3.12, oraz określono maksymalne i minimalne wskazania współrzędnych wzdłuż osi X i Y przedstawione w tabeli 3.3. Wartości te pozwoliły na stwierdzenie, iż zakres pomiarowy inklinometru ma kształt zbliżony do koła o średnim promieniu **180 pikseli**.

Tabela 3.3. Minimalne i maksymalne wskazania współrzędnych wzdłuż osi X i Y.

	X [piksel]	Y [piksel]
Minimalna wartość	105	38
Maksymalna wartość	465	400
obliczona średnica okręgu	360	362
obliczony promień okręgu	180	181



Rysunek 3.12. Płaski obraz zakresu pomiarowego inklinometru.

Dodatkowo wyznaczono położenie plamki na matrycy odpowiadające pionowemu ustawieniu instrumentu – odwzorowanie zawieszenia wahadła przy pionowym położeniu inklinometru, które w dalszej części opracowania będzie nazywane „położeniem środkowym”.

Wartość ta została wyznaczona na podstawie określenia współrzędnych plamki na matrycy kamery dla przypadków przyłożenia inklinometru do każdej z czterech płaszczyzn głównych przewodnika badawczego (położenia wyjściowe z każdej strony przewodnika badawczego). Otrzymane wartości współrzędnych położen wyjściowych (tabela 3.4.) z czterech stron przewodnika uśredniono, otrzymując „położenie środkowe” na matrycy wynoszące:

$$X = 291 \text{ pikseli}$$

$$Y = 234 \text{ pikseli}$$

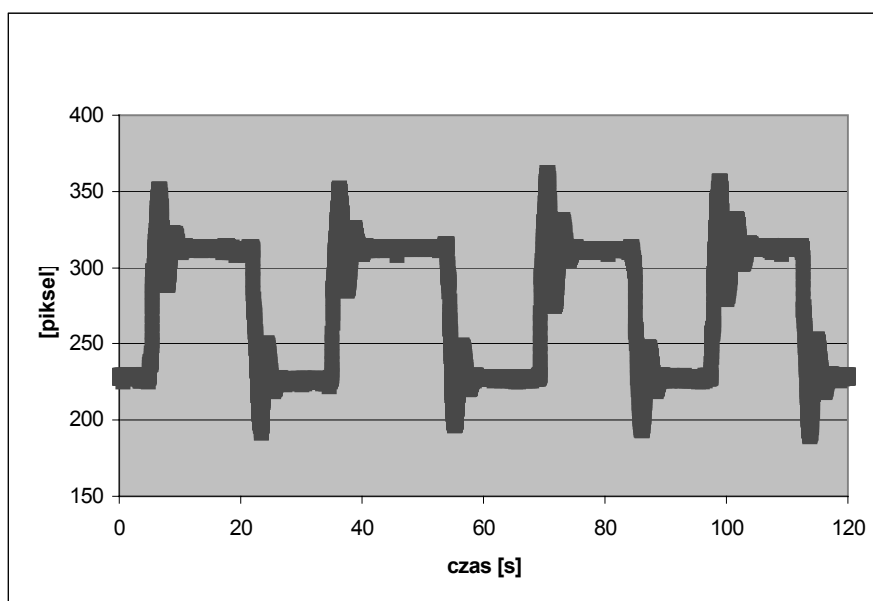
Wartość tych współrzędnych odpowiada rzeczywistemu „położeniu środkowemu” na matrycy przy założeniu, iż przekrój poziomy przewodnika badawczego stanowi regularną figurę geometryczną, oraz że położenie wahadła w stanie spoczynku pokrywa się z linią pionu.

Tabela 3.4. Współrzędne położen wyjściowych z czterech stron przewodnika badawczego.

Plaszczyzna przewodnika	X [piksel]	Y [piksel]
przód	300	253
tył	282	216
prawy bok	305	226
lewy bok	278	241

Na podstawie określonej wcześniej wartości metrycznej, stanowiącej miarę wielkości piksela matrycy kamery określono, iż zakres pomiarowy od położenia środkowego matrycy wynosi **21,6 mm** w każdym z kierunków głównych co odpowiada maksymalnej wartości wychylenia jaką może zarejestrować inklinometr.

Badanie bezwładności układu wykonano dla przypadków wielokrotnego podkładania pod płaszczyzny kółek profilujących podkładki o grubości 1cm i jej szybkiego usunięcia, co powodowało *quasi*-natychmiastowy powrót inklinometru do położenia wyjściowego. Określono na tej podstawie czas wytlumienia drgań wywołanych przemieszczeniem diody LED na końcu wahadła oraz skontrolowano powtarzalność wskazań wychyleń dla obu współrzędnych. Schemat wytlumienia drgań wahadła i powtarzalność zmian położenia współrzędnych plamki na matrycy przedstawia rysunek 3.13.



Rysunek 3.13. Tłumienie wahan obrazu oraz powtarzalność wychyleń inklinometru.

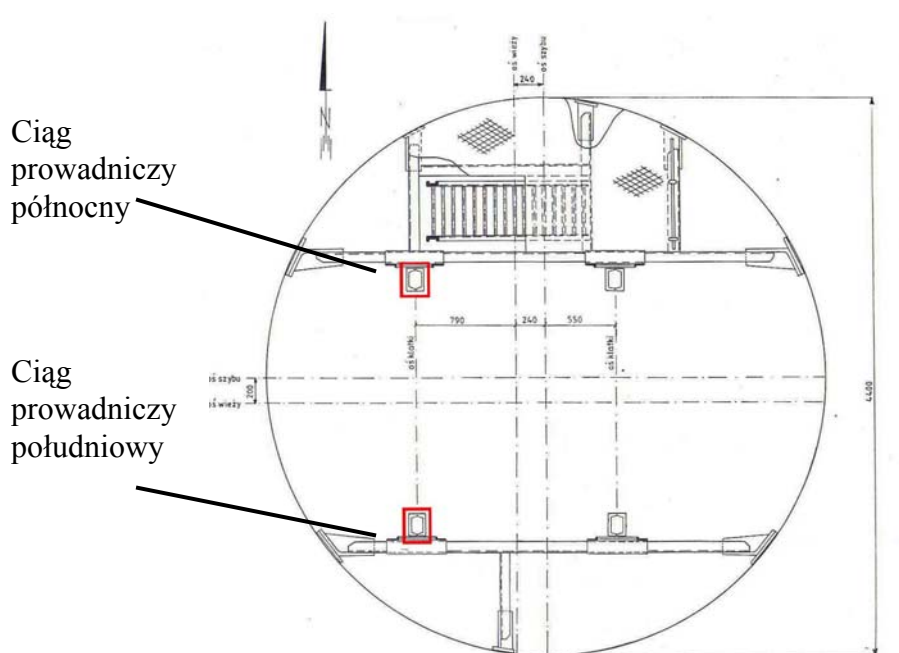
Na podstawie przeprowadzonej kontroli stwierdzono, iż przy gwałtownym przemieszczeniu inklinometru o zadaną wielkość, wytlumienie powstałych drgań wahadła następuje po **5 sekundach** a powtarzalność wskazań mieści się w granicach ± 3 piksele (rozbieżność ma charakter przypadkowy).

4. Wykonanie pomiarów prostoliniowości i pionowości prowadników w szybach.

W celu praktycznego sprawdzenia możliwości zastosowania inklinometru szybowego do prowadzenia pomiarów inwentaryzacyjnych z wymaganą dla nich dokładnością wykonano pomiary ciągów prowadniczych *in situ* w wybranych szybach kopalnianych. Pomiary wykonywane były na trzech wymienionych poniżej obiektach:

1. Szyb „Campi” w Kopalni Soli Bochnia
(pomiar wykonany w dniu 3 listopada 2006 r) ;
2. Szyb „Wschodni” Kopalni Węgla Kamiennego „Halemba-Wirek”
(pomiar wykonany w dniu 16 listopada 2007 r);
3. Szyb „Zygmunt-August” Doświadczalnej Kopalni „Barbara-Chorzów”
(pomiar wykonany w dniu 13 grudnia 2007 r).

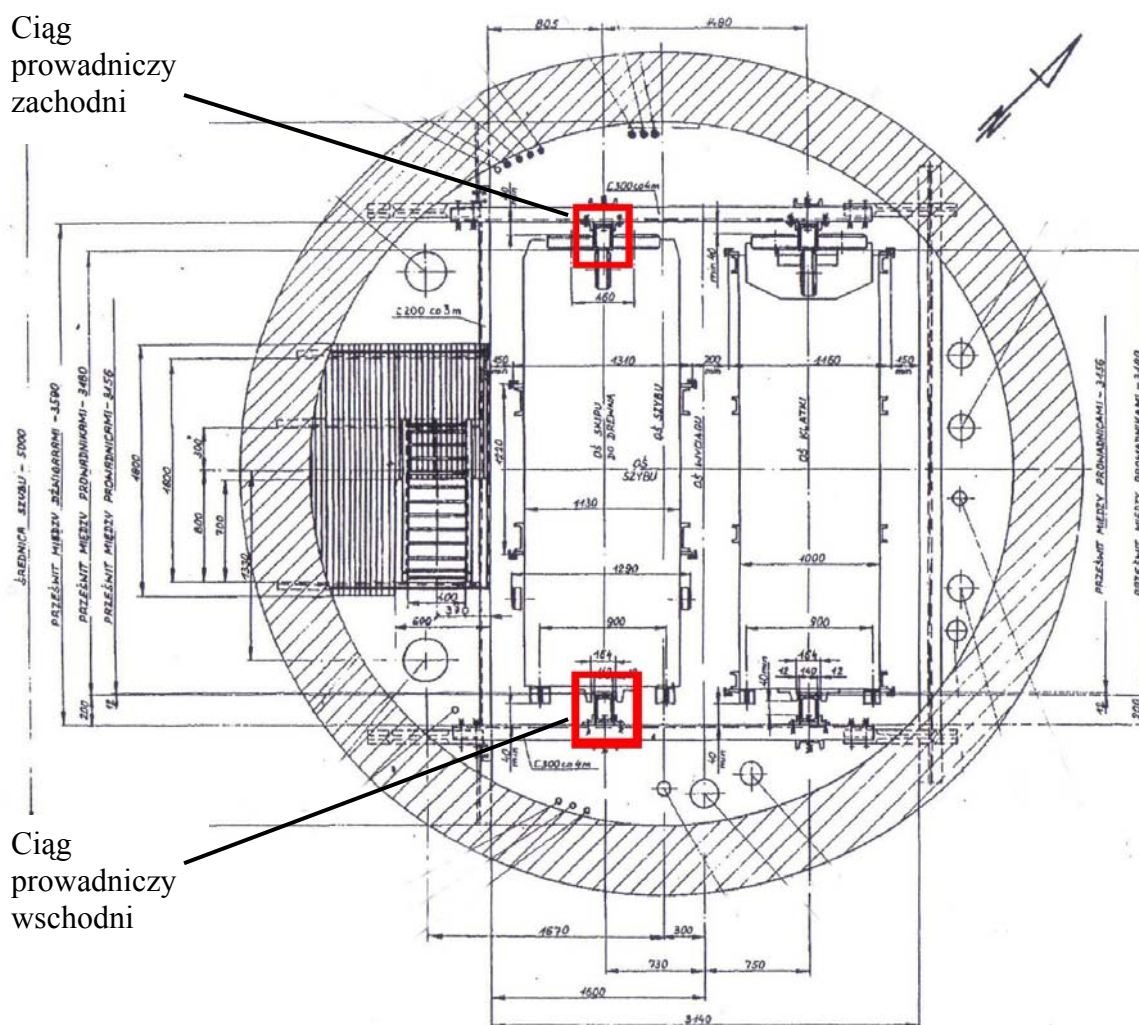
W Kopalni Soli Bochnia pomiar obejmował obserwację dwóch naprzeciwległych ciągów prowadniczych w przedziale klatkowym zachodnim szybu „Campi” (rys. 4.1). Pomiar każdego ciągu wykonano dwukrotnie niezależnie na długości 203m (od poziomu dźwigara nr 69 do zrębu szybu). Ciągi prowadnicze w tym szybie wykonane są z 6-metrowych stalowych prowadników o przekroju prostokątnym. Początek i koniec każdego odcinka ciągu prowadniczego mocowane są do dźwigarów szybowych, a w miejscu mocowania istnieje możliwość przeprowadzenia rektyfikacji ich położenia.



Rysunek 4.1. Przekrój poprzeczny tarczy szybu „Campi”, z zaznaczonymi pomierzonymi ciągami prowadniczymi.

4. Wykonanie pomiarów prostoliniowości i pionowości przewodników...

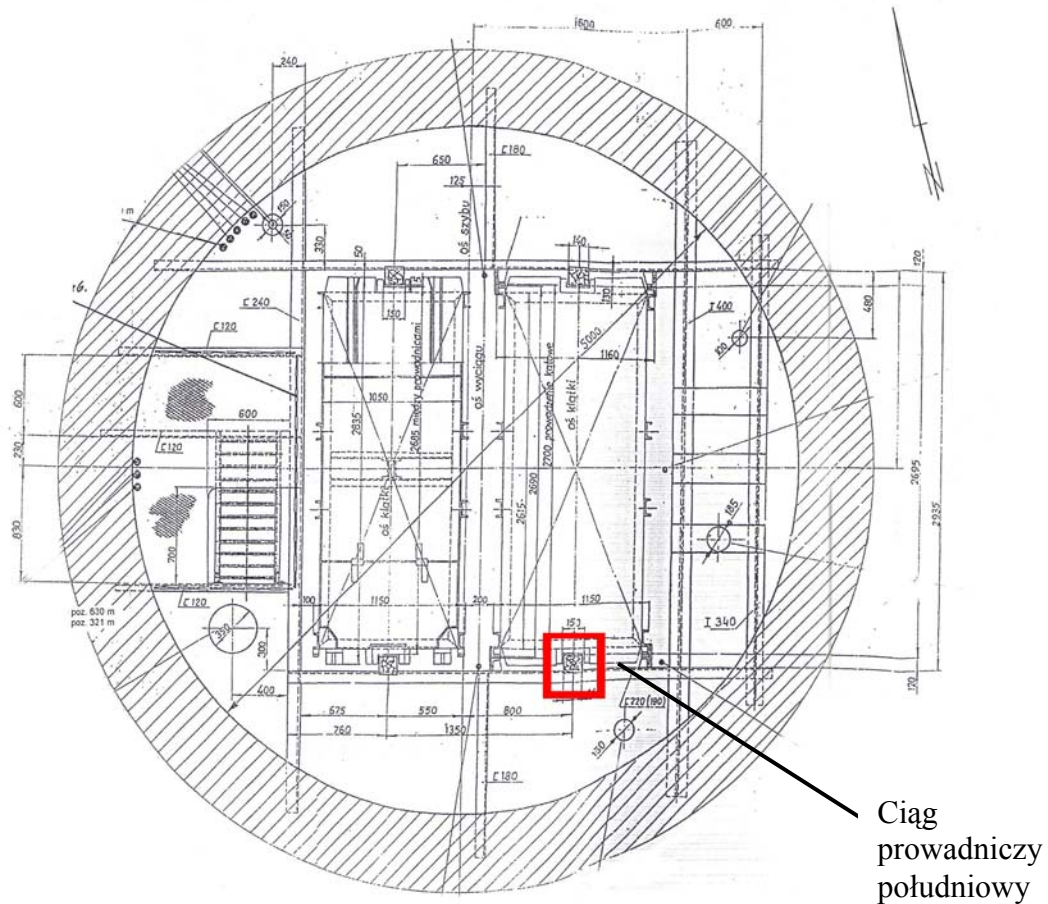
W Kopalni Węgla Kamiennego „Halemba-Wirek” pomiar obejmował obserwację dwóch naprzeciwnych ciągów przewodniczych w przedziale klatkowym południowym szybu „Wschodni” (rys 4.2). Pomiar każdego ciągu wykonano dwukrotnie niezależnie na długości 480 m (od poziomu dźwigara nr 121 do zrębu szybu). Ciągi przewodnicze w tym szybie wykonane są również z 6-metrowych stalowych przewodników o przekroju prostokątnym. Początek i koniec każdego odcinka ciągu przewodniczego mocowane są do dźwigarów szybowych, a w miejscu mocowania istnieje możliwość przeprowadzenia rektyfikacji ich położenia.



Rysunek 4.2. Przekrój poprzeczny tarczy szybu „Wschodni” z zaznaczonymi pomierzonymi ciągami przewodniczymi.

4. Wykonanie pomiarów prostoliniowości i pionowości przewodników...

W Doświadczalnej Kopalni „Barbara-Chorzów” pomiar obejmował obserwację jednego ciągu przewodniczego (południowego) w przedziale klatkowym wschodnim szybu „Zygmunt-August” (pomiar naprzeciwległego ciągu uniemożliwiła awaria komputera rejestrującego). Pomiar ciągu wykonano dwukrotnie niezależnie na długości 610 m (od poziomu dźwigara nr 205 do zrębu szybu). Ciągi przewodnicze w tym szybie wykonane są z 6-metrowych drewnianych przewodników o przekroju prostokątnym. Początek i koniec każdego odcinka ciągu przewodniczego mocowane są do dźwigarów szybowych, a w miejscu mocowania istnieje możliwość przeprowadzenia rektyfikacji ich położenia.



Rysunek 4.3. Przekrój poprzeczny tarczy szybu „Zygmunt-August” z zaznaczonym pomierzonym ciągiem przewodniczym.

Wszystkie pomiary wykonywane były przy zachowaniu opisanej w pkt. 3.2. technologii. Określenie metrowych odcinków na przewodnikach, odpowiadających długości bazy inklinometru, dokonywane było na podstawie zidentyfikowanych położów dźwigarów w bazie rejestrowanych danych (sygnały ze znacznika dźwigarów). Na podstawie zidentyfikowania rekordów odpowiadających kolejnym metrowym odcinkom określono odpowiadające im wskazania inklinometru.

4.1. Interpretacja wyników badań.

Wychylenie prowadnika od pionowej linii odniesienia określa się według wzoru:

$$W_i = \sum_{i=1}^{i=K} p_i = \sum_{i=0}^{i=K} s \cdot \sin \alpha_i \quad (4.1)$$

gdzie:

p – odchylenie jednostkowe inklinometru szybowego od pionu

(dla odcinka 1m wzdłuż ciągu prowadniczego),

s - długość inklinometru (1m),

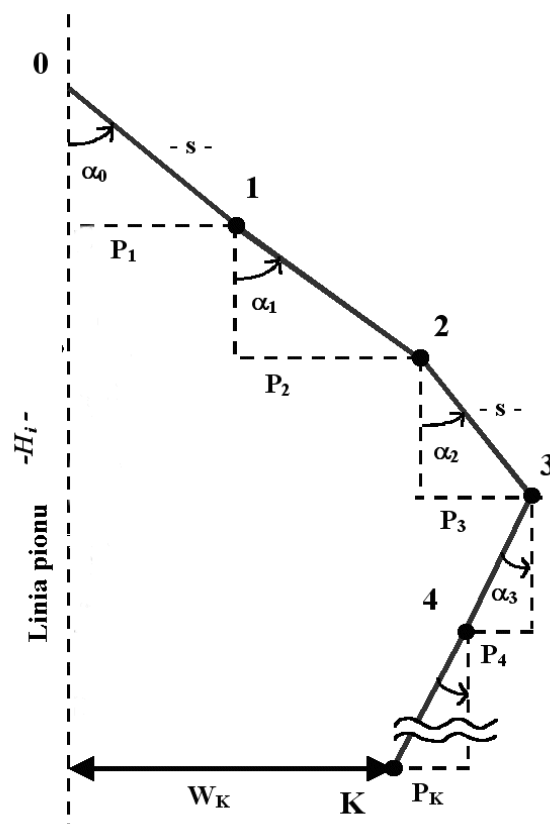
α - kąt odchylenia prowadnika od pionu, przy czym

+ α dla kierunku niezgodnego z ruchem wskazówek zegara,

- α dla kierunku zgodnego z ruchem wskazówek zegara.

Ze względu na bardzo małe wartości kątów odchylenia α_i można obliczenia prowadzić bezpośrednio w oparciu o jego łukową miarę i wówczas:

$$W_i = s \sum_{i=0}^{i=K} \alpha_i \quad (4.2)$$



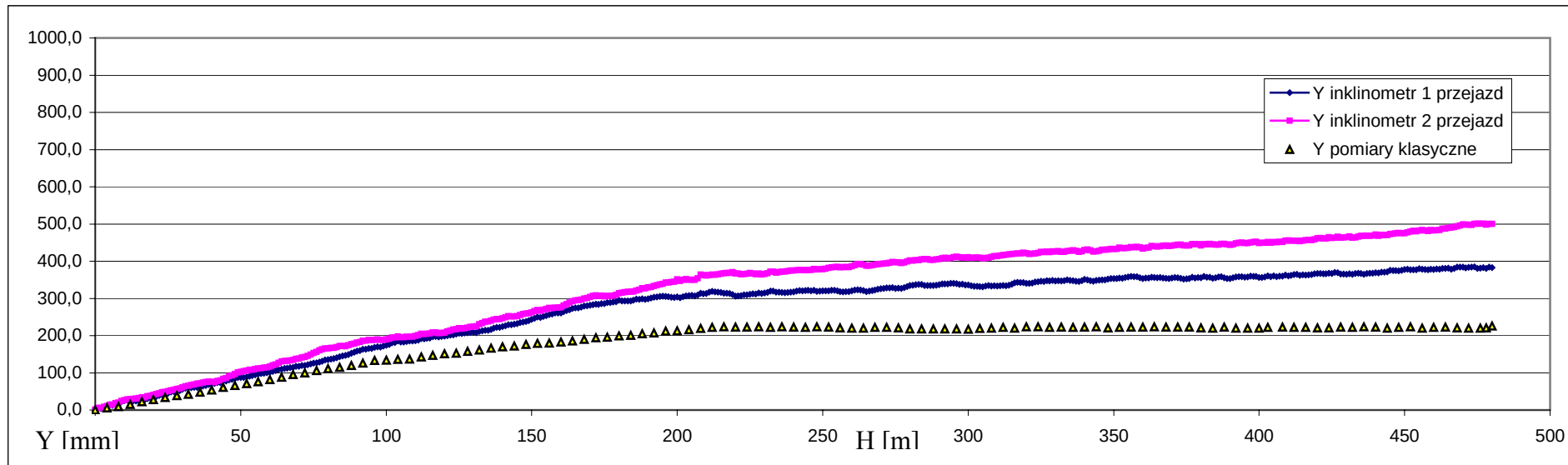
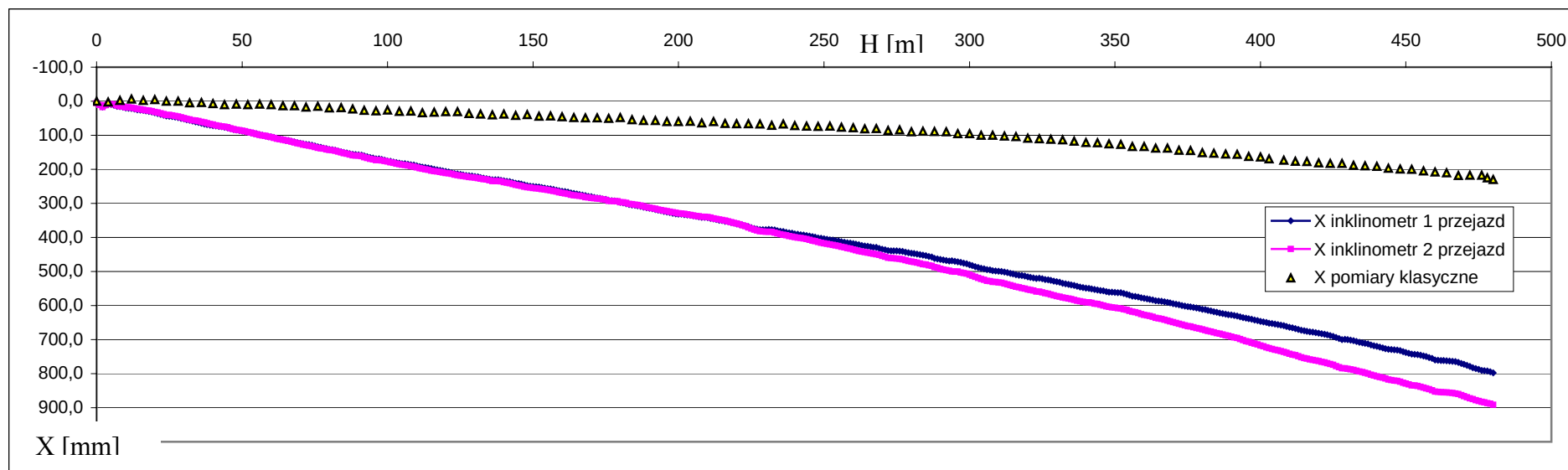
Rysunek 4.4. Schemat zasady wyznaczania poziomych odchyleń prowadnika inklinometrem szybowym.

5. Porównanie otrzymanych wyników badań z wynikami z klasycznych metod pomiarowych

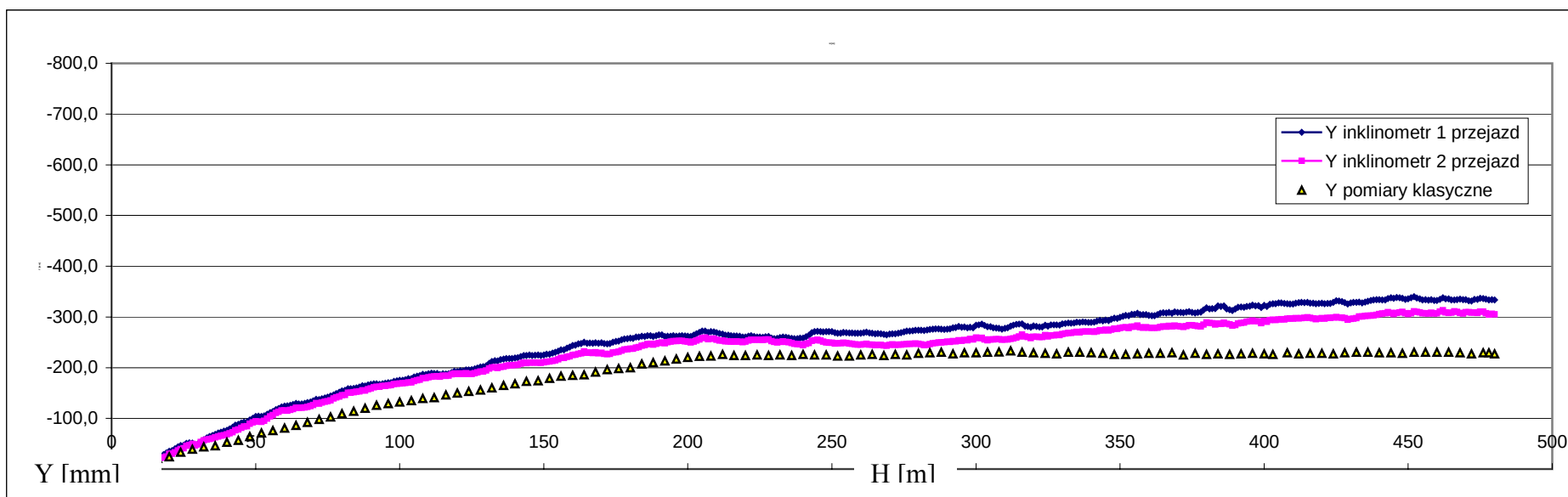
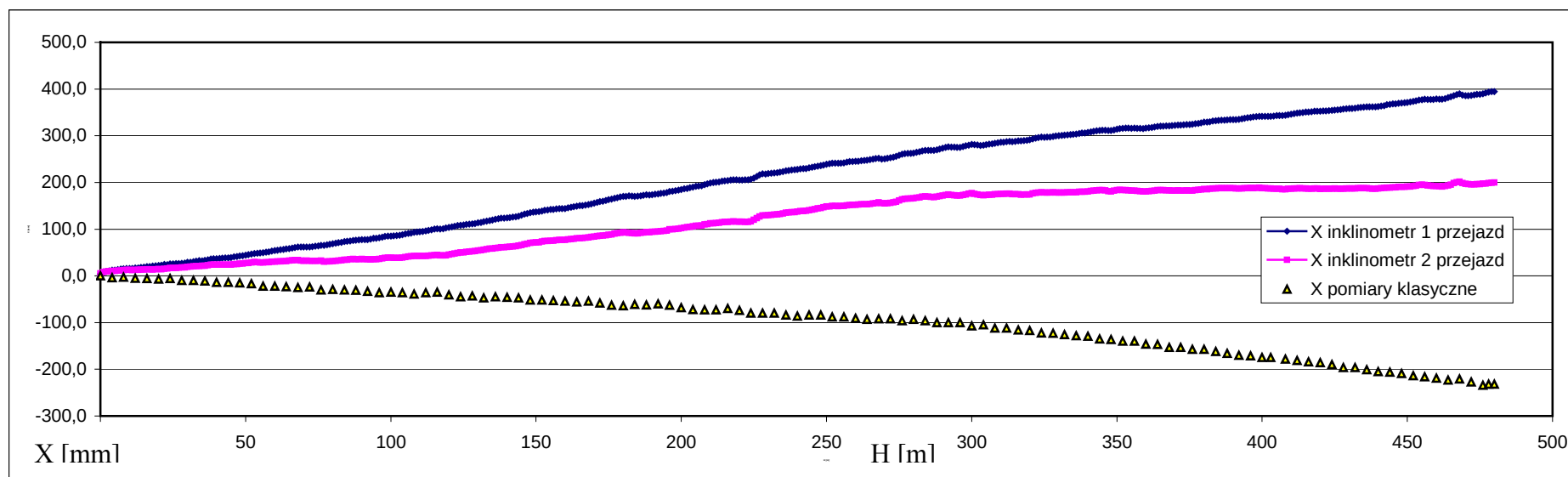
W wyniku obliczeń określono profile ciągów prowadniczych jako sumę wychyleń jednostkowych prowadników od poziomu zrębu szybu (rys. 4.4). Tak obliczone wartości reprezentują profil ciągu prowadniczego w dwóch płaszczyznach, bez jego dokładnego odniesienia do linii pionu. Określenie orientacji profilu w przestrzeni wymaga dodania wartości korekcyjnej do pomierzonych wychyleń odcinkowych, którą to wartość można wyznaczyć z różnicy między przemieszczeniami dwóch punktów naroża prowadnika otrzymanych z pomiaru inklinometrem a wynikiem pomiaru ich przestrzennego położenia metodą geodezyjną, spełniającą wymagane dokładności pomiaru inwentaryzacyjnego, lub na drodze precyzyjnego określenia „położenia środkowego” na podstawie którego można otrzymać poprawne wartości wychyleń jednostkowych. W celu wyznaczenia wartości korekcyjnych posłużono się wynikami pomiarów przeprowadzonych w badanych szybach przez Dział Mierniczy Kopalni KS Bochnia - dla szybu „Campi”, oraz Przedsiębiorstwo Miernictwa Górniczego (PMG) – dla szybów „Wschodni” KWK „Halemba-Wirek” i „Zygmunt-August” KWK „Barbara-Chorzów”.

5. Porównanie otrzymanych wyników badań z wynikami z klasycznych metod pomiarowych.

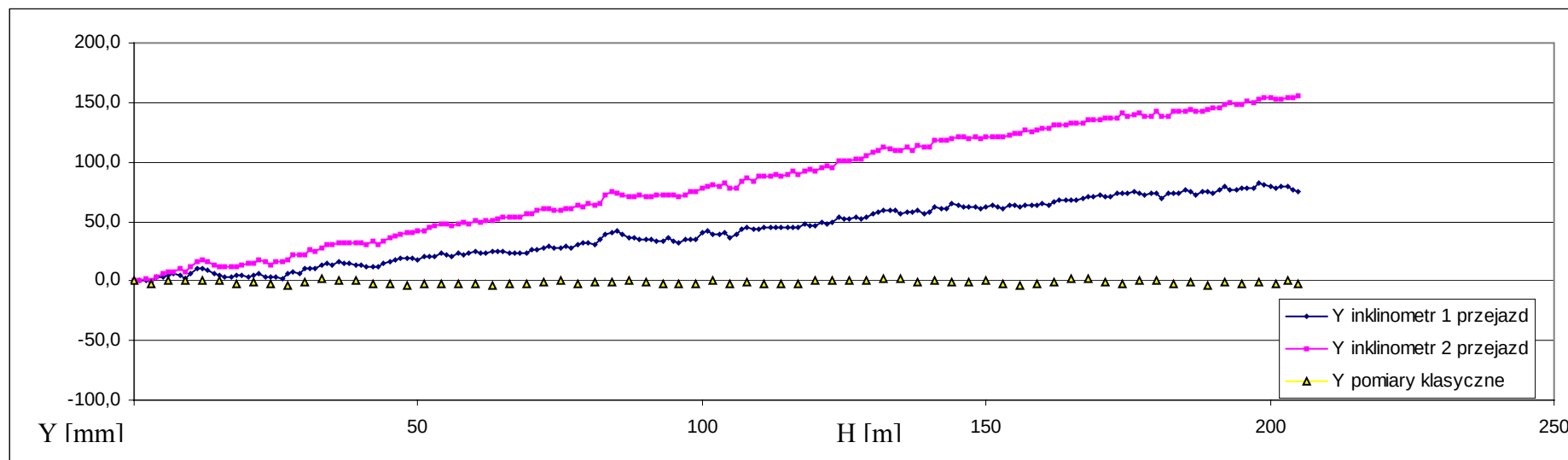
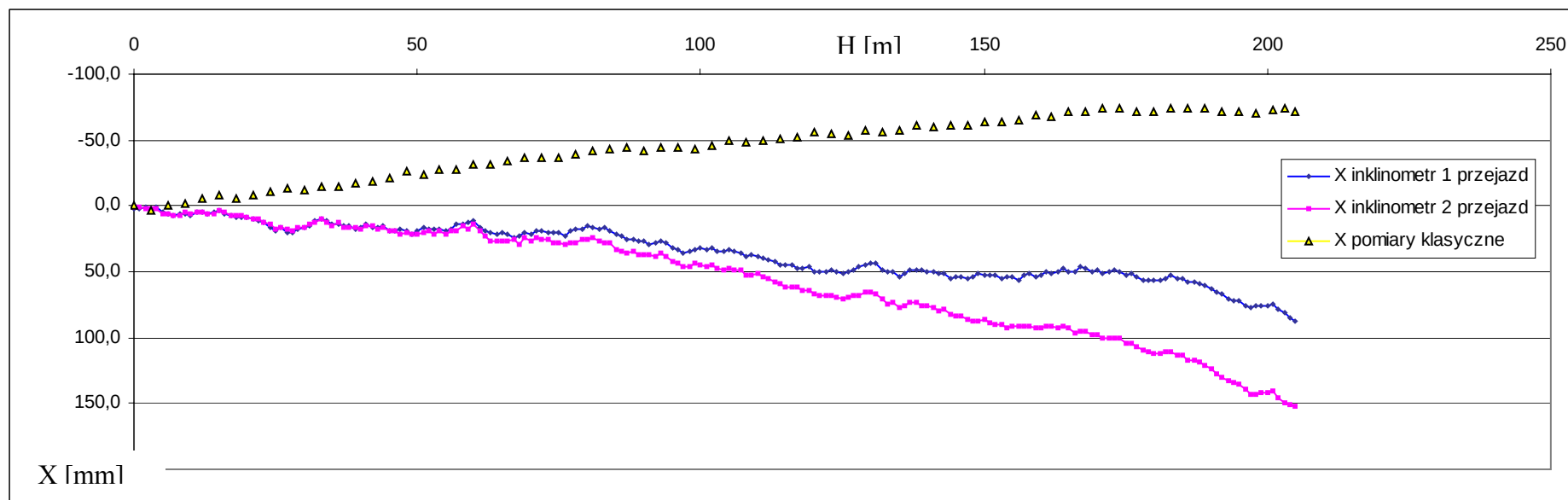
Wyznaczone z pomiarów inklinometrycznych profile ciągów prowadniczych porównano z przebiegami ciągów prowadniczych uzyskanymi na podstawie pomiarów klasycznych, wykonanych w oparciu o 4 pionowe wolno-zwisające (Szyb „Campi”) lub w przypadku pomiarów PMG, przy zastosowaniu technologii pomiarów opisanej w rozdz. 2. Profile te obrazują przebieg ciągu prowadniczego wzdłuż osi X odpowiadającej płaszczyźnie czołowej prowadników w ciągu oraz wzdłuż osi Y odpowiadającej płaszczyźnie bocznej prowadników w ciągu. Jako punkt wyjściowy dla obu przebiegów (inklinometr i metoda klasyczna) przyjęto wyznaczone położenie ciągów prowadniczych na poziomie zrębu szybu. Otrzymane wykresy profili z pomiarów inklinometrem (z pierwszego i drugiego przejazdu) wraz z odpowiadającymi im przebiegami z pomiarów klasycznych przedstawiono na rysunkach od 5.1 do 5.5.



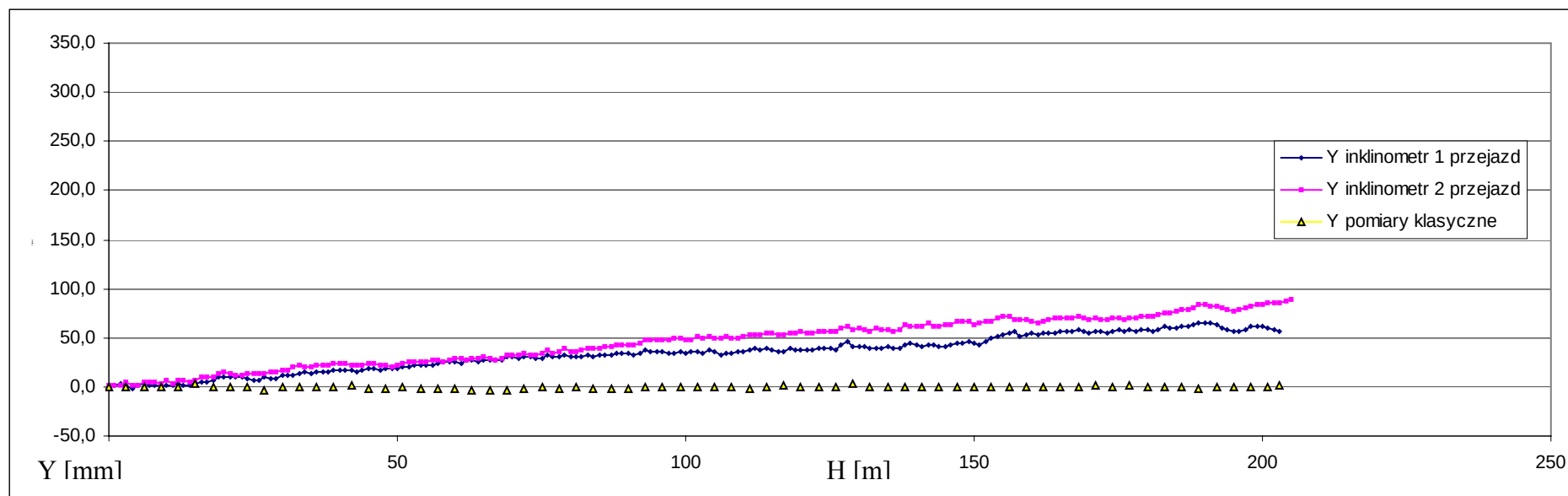
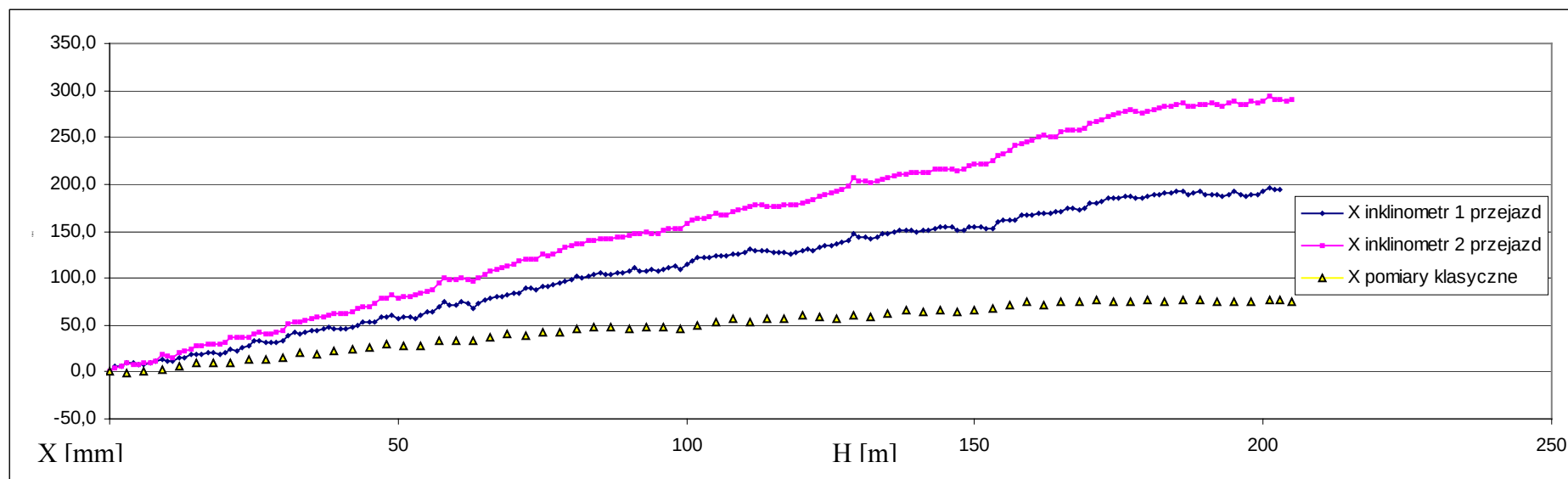
Rys. 5.4. Wykres przebiegu ciągu przewodniczego wschodniego w szybie „Wschodnim” KWK „Halemba-Wirek”



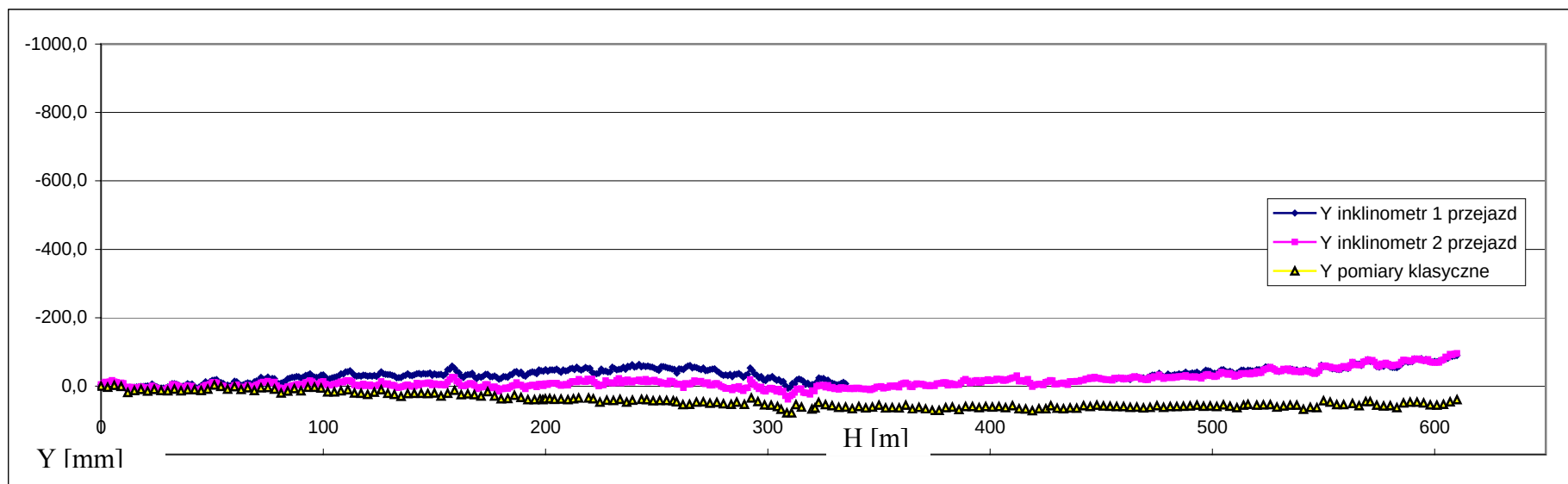
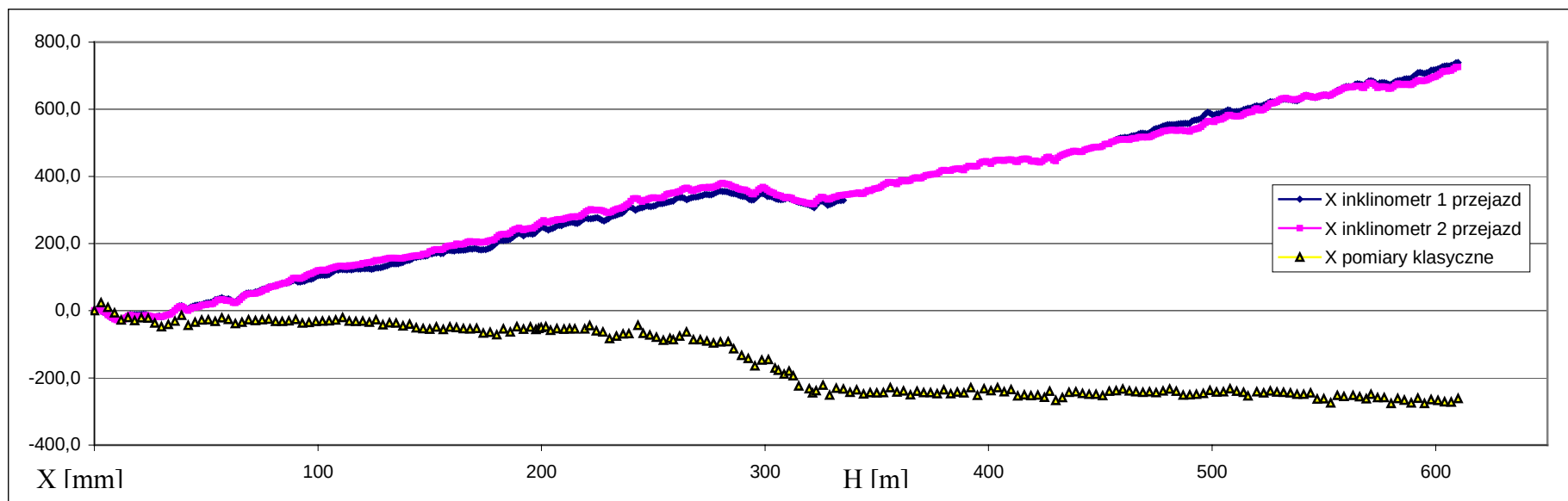
Rys. 5.3. Wykres przebiegu ciągu przewodniczego zachodniego w szybie „Wschodnim” KWK „Halemba-Wirek”



Rys. 5.2. Wykres przebiegu ciągu przewodniczego północnego w szybie „Campi” KS „Bochnia”



Rys. 5.1. Wykres przebiegu ciągu przewodniczego południowego w szybie „Campi” KS „Bochnia”



Rys. 5.5. Wykres przebiegu ciągu prowadniczego południowego w szybie „Zygmunt-August” KWK „Barbara-Chorzów”

Na podstawie otrzymanych przebiegów ciągów przewodniczych można stwierdzić (przyjmując pomiar klasyczny jako referencyjny), iż wyniki uzyskane z pomiarów inklinometrem obarczone są wpływem błędu systematycznego. Obrazuje to „rozchodzenie się” profili otrzymanych z inklinometru w stosunku do ich przebiegu z pomiarów klasycznych, które od poziomu wyjściowego (zrąb szybu) narasta wraz z głębokością. Wielkość różnicy otrzymanych wartości z obu metod dla końcowego punktu profilu nie jest taka sama dla współrzędnej X i dla współrzędnej Y (w ramach tego samego profilu). Wyraźnie widać mniejsze odchylenie końcowych wartości profili otrzymanych z inklinometru w stosunku do profili z metody klasycznej dla współrzędnej Y.

Dla przypadku pomiarów w szybie „Campi” KS Bochnia (rys. 5.1, 5.2) na głębokości ok. 200 m, wielkość wzajemnego odchylenia wyników z obu metod wynosi 200 mm wzdłuż osi X i 75 mm wzdłuż osi Y.

Dla wartości uzyskanych z pomiarów w szybie „Wschodni” KWK „Halemba-Wirek” (rys. 5.3, 5.4) na głębokości ok. 450 m wielkość wzajemnego odchylenia wyników z obu metod wynosi 600 mm wzdłuż osi X i 150 mm wzdłuż osi Y.

Dla pomiarów wykonanych w szybie „Zygmunt-August” KWK „Barbara-Chorzów” (rys. 5.5) na głębokości około 600 m wielkość wzajemnego odchylenia wyników z obu metod wynosi 900 mm wzdłuż osi X i 200 mm wzdłuż osi Y.

Stwierdzając wyraźną zależność narastania rozbieżności pomiędzy profilami wyznaczonymi z pomiarów inklinometrycznych i pomiarów klasycznych określono, iż źródłem występowania tego błędu systematycznego jest nieprawidłowe wyznaczenie „położenia środkowego” na matrycy kamery (co mogło być spowodowane błędnością założeń jakie przyjęto w stosunku do przewodnika badawczego – patrz pkt. 3.3). Obserwowana rozbieżność wyników wzdłuż osi X i Y nie jest taka sama co wskazuje na występowanie błędu wyznaczenia współrzędnych „położenia środkowego”, różnego co do wartości dla poszczególnych osi, a wywołanego nie pionowym położeniem wahadła w stanie spoczynku. Związane jest to z błędem zamocowania wahadła na wale Cardana lub, zgodnie z poglądem wyrażonym przez twórcę urządzenia (M. Jóźwik), nieprawidłowym wyważeniem wahadła. Przyczyna ta wyraża się poprzez niestalość „położenia środkowego” toteż w dalszym ciągu opracowania każde powołanie się na „położenie środkowe” należy interpretować jako powołanie się na położenie bezbłędne, które odpowiada pionowemu usytuowaniu wahadła.

Wychylenia jednostkowe wyliczane są na podstawie różnicy wskazań inklinometru na danym poziomie i wartości wskazania odpowiadającej pionowemu położeniu inklinometru (położenie środkowe na matrycy). Obarczone błędem wyznaczenie położenia środkowego na

matrycy generuje uzyskanie zawyżonych bądź zaniżonych (o stałą wartość) wielkości wychyleń jednostkowych, które sumowane w procesie wyliczania przebiegu profilu powodują systematyczne jego „odchylanie się” od rzeczywistego przebiegu. Zjawisko to potwierdziło się gdy porównano przebieg otrzymanych profili tego samego ciągu przewodniczego, określonych na podstawie przejazdu inklinometrem dla dwóch wariantów. Warianty te obejmowały wyliczanie odchyleń jednostkowych w oparciu o „położenie środkowe” na matrycy wyznaczone z przewodnika badawczego i w oparciu o „położenie środkowe” na matrycy wyznaczone metodą kolejnych przybliżeń (zmiany współrzędnych teoretycznego położenia środkowego na matrycy i obserwacja wpasowania otrzymanego profilu w stosunku do przebiegu uzyskanego z pomiarów klasycznych). Obliczenia te wykonano dla wszystkich przypadków otrzymanych profili ciągów przewodniczych w trzech badanych szybach kopalniach. Jako ostateczną wartość „położenia środkowego” przyjęto średnią wartość wyznaczonych „położeń”, przy czym rozbieżności otrzymanych wartości nie przekraczały ± 1 piksela. Otrzymane wyniki przedstawiono na przykładzie ciągu przewodniczego zachodniego w szybie „Wschodni” KWK „Halemba-Wirek” (rys. 5.6, 5.7 - str. 65).

Na podstawie wykonanych obliczeń można zatem stwierdzić, iż położenie środkowe na matrycy odpowiada współrzędnym o wartościach:

$$X = 302 \text{ piksele}$$

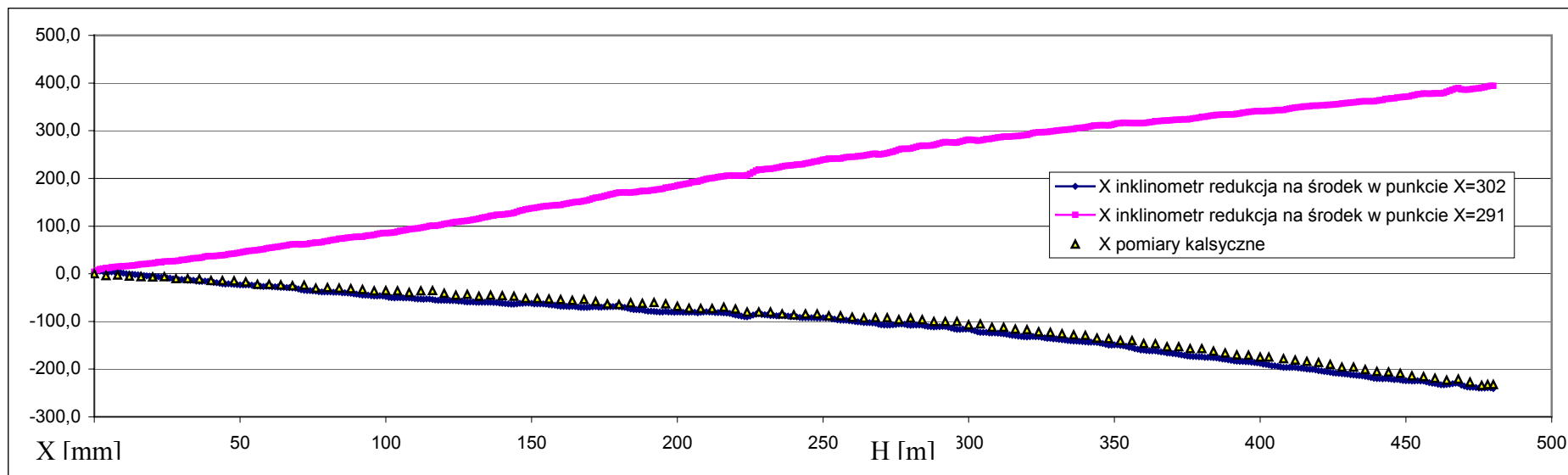
$$Y = 232 \text{ piksele.}$$

Różnice w stosunku do wyznaczonych pierwotnie współrzędnych odpowiadających położeniu środkowemu (z przewodnika badawczego) wynoszą odpowiednio 11 pikseli po osi X i 2 piksele po osi Y. Potwierdza to zaobserwowany wcześniej efekt większej rozbieżności wyników pomiarów inklinometrycznych w stosunku do pomiarów klasycznych wzdłuż osi X w stosunku do rozbieżności wzdłuż osi Y.

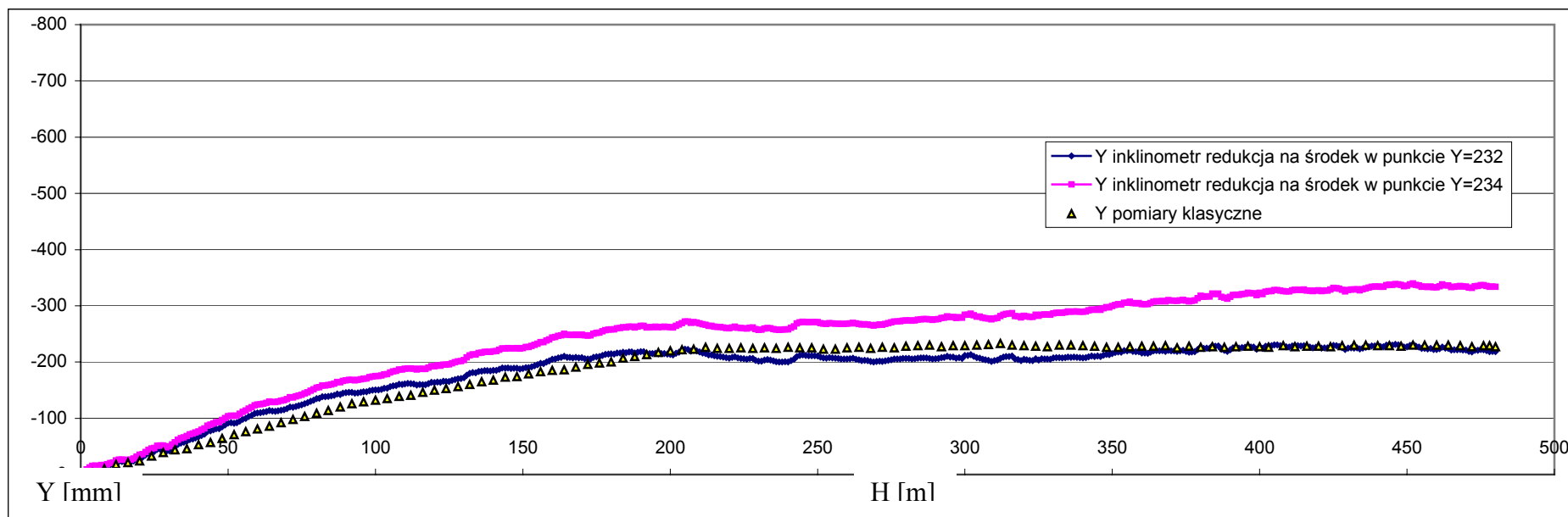
Pomimo wysokiej zgodności wpasowania profili z pomiarów inklinometrycznych w stosunku do profili z pomiarów klasycznych, przy przyjęciu wyznaczonej metodą kolejnych przybliżeń wartości „położenia środkowego” na matrycy, nie można być pewnym, iż jest to rzeczywista wartość „położenia środkowego” na matrycy. Związane jest to z opisanymi poniżej błędami przypadkowymi, które miały wpływ na pomiary i wyznaczoną *a posteriori* wartością odpowiadającą „położeniu środkowemu” na matrycy. Dodatkowo współrzędne te mogą się nieznacznie zmieniać (w granicach kilku pikseli) w związku z drganiami jakich może doznawać instrument podczas transportu (lub wstrząsu podczas „wybicia” w czasie przejazdu), co generuje potrzebę każdorazowej ich kontroli przed i po pomiarze.

Porównując profile poszczególnych ciągów otrzymane z pierwszego i drugiego przejazdu inklinometrem zaobserwowano występujące (nie we wszystkich przypadkach) rozbieżności w otrzymanych wynikach. Wielkość tych rozbieżności nie jest związana z głębokością, nie jest stała i nie pojawia się w każdym z profili co wskazuje na występowanie błędu przypadkowego powodującego to zjawisko. Chcąc określić źródło występowania tego błędu określono przebiegi profili ciągów prowadniczych z wyników uzyskanych inklinometrem wykorzystując dwie metody obliczeniowe. Profile wyznaczone były z tych samych wychyleń jednostkowych na drodze sumowania wychyleń od poziomu zrębu szybu i sumowania wychyleń od końcowego punktu ciągu prowadniczego. Otrzymane maksymalne wartości różnic pomiędzy pierwszym i drugim przejazdem z obu metod obliczeniowych były takie same. Natomiast sam wzajemny przebieg profili z pierwszego i drugiego przejazdu był już wyraźnie zależny od metody obliczeniowej. Przykład wyznaczenia przebiegu profili z pierwszego i drugiego przejazdu w zależności od sposobu obliczeniowego przedstawiono na rys. 5.8, 5.9 (str. 66). Przykład ten odnosi się do pomiarów wykonywanych na ciągu prowadniczym wschodnim w szybie „Wschodni” KWK „Halemba-Wirek”. Można zatem stwierdzić, iż źródłem występujących rozbieżności pomiędzy wynikami inklinometrycznymi z pierwszego i drugiego przejazdu jest niewielkie pojedyncze lub kilkukrotne „wybicie” jakiemu uległ inklinometr w czasie jednego z przejazdów (pierwszego bądź drugiego lub w obydwóch), które łącznie ze zbadaną wcześniej bezwładnością układu (pkt. 3.3 opracowania) wywołuje występowanie błędu przypadkowego. Dodatkowo może wystąpić niewielka zmiana wartości współrzędnych „położenia środkowego” związana ze wstrząsem jakiemu poddany został instrument podczas wybijania. Zaobserwowane zmiany położenia środkowego podczas pomiarów na badanych obiektach nie przekraczają **± 1 piksela** (zarówno wzdłuż osi X jak i Y) co jednak w kontekście metody obliczania wychyleń jednostkowych powoduje opisane wcześniej zjawisko wzajemnego „rozchodzenia się” przebiegu profili. Potwierdza to również porównanie wskazań inklinometru (wartości z których oblicza się wychylenia jednostkowe) pomiędzy pierwszym i drugim przejazdem (opisane w kolejnym punkcie opracowania) – wyraźne różnice można zaobserwować w pojedynczych miejscach na całej długości przejazdu i wskazują one odcinki na których nastąpiło „wybicie” na którymś z przejazdów.

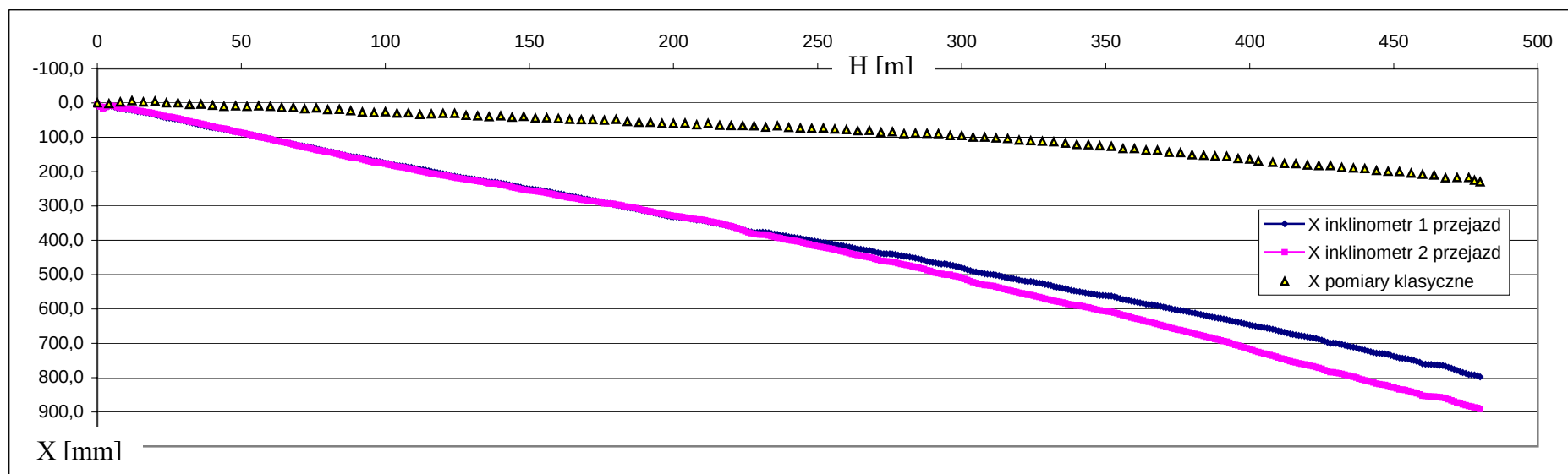
Przebiegu profilu ciągu prowadniczego obarczony jest zatem błędem systematycznym (niepoprawność wyznaczenia „położenia środkowego” na matrycy) który łącznie z mogącym wystąpić podczas pomiarów przypadkowym „wybiciem” powoduje odchylenia obliczanych profili ciągów w stosunku do ich rzeczywistych przebiegów.



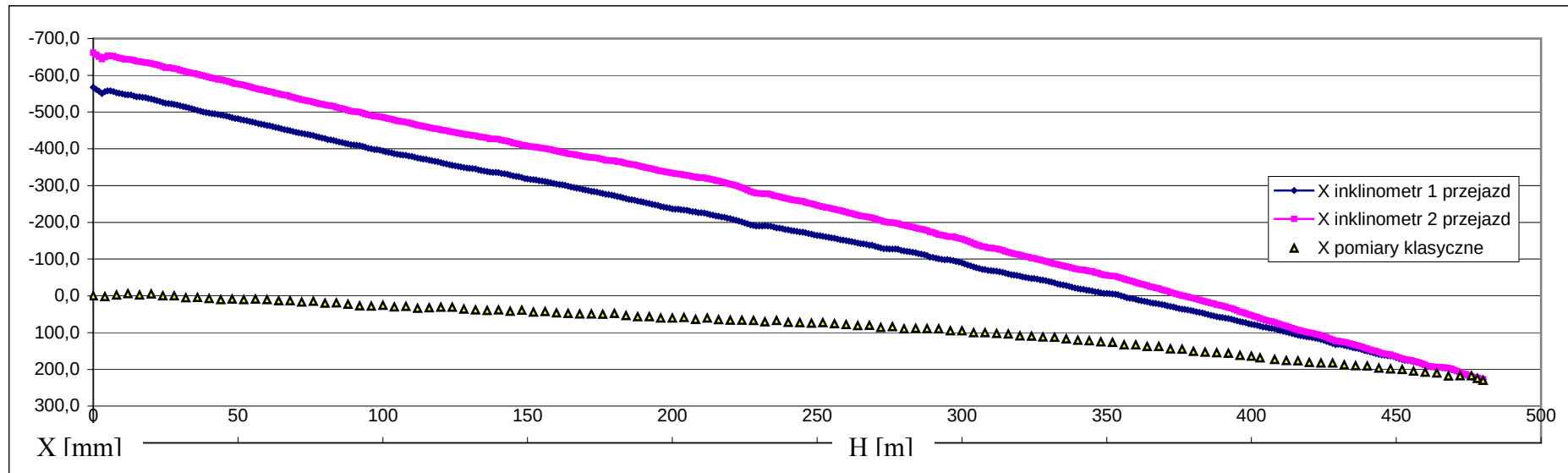
Rys. 5.6. Porównanie profili wzdłuż osi X wyznaczonych na podstawie dwóch wariantów położenia centralnego na matrycy .



Rys. 5.7. Porównanie profili wzdłuż osi Y wyznaczonych na podstawie dwóch wariantów położenia centralnego na matrycy .



Rys. 5.8. Metoda sumowania odchyleń jednostkowych inklinoetru od poziomu zrebu szybu.

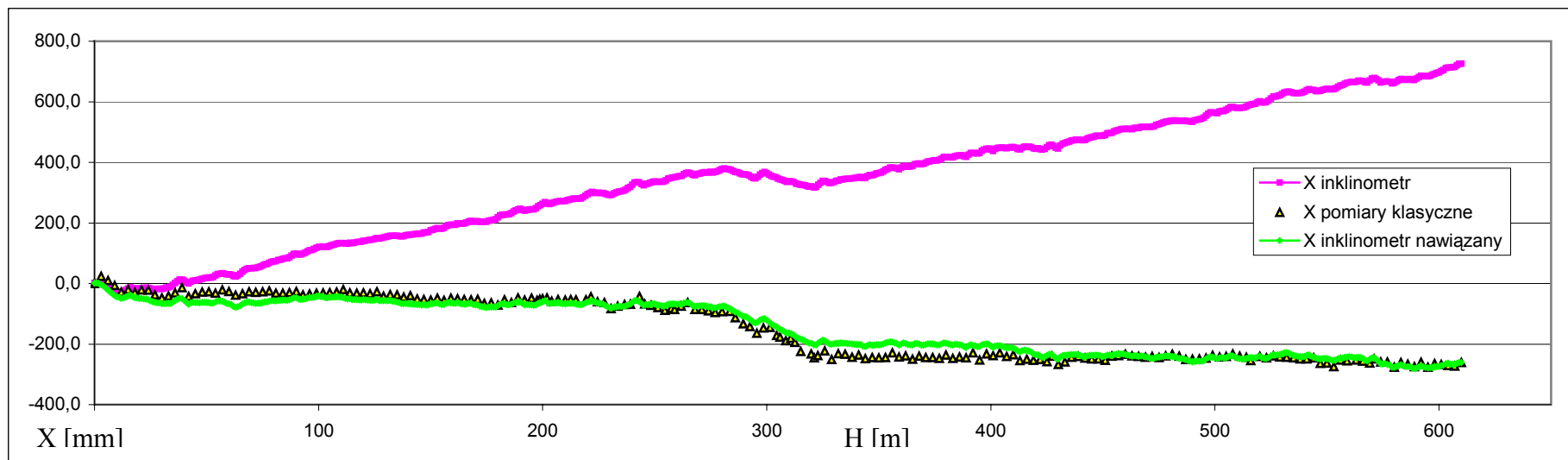


Rys. 5.9. Metoda sumowania odchyleń jednostkowych inklinoetru od najniższego poziomu ciągu prowadniczego.

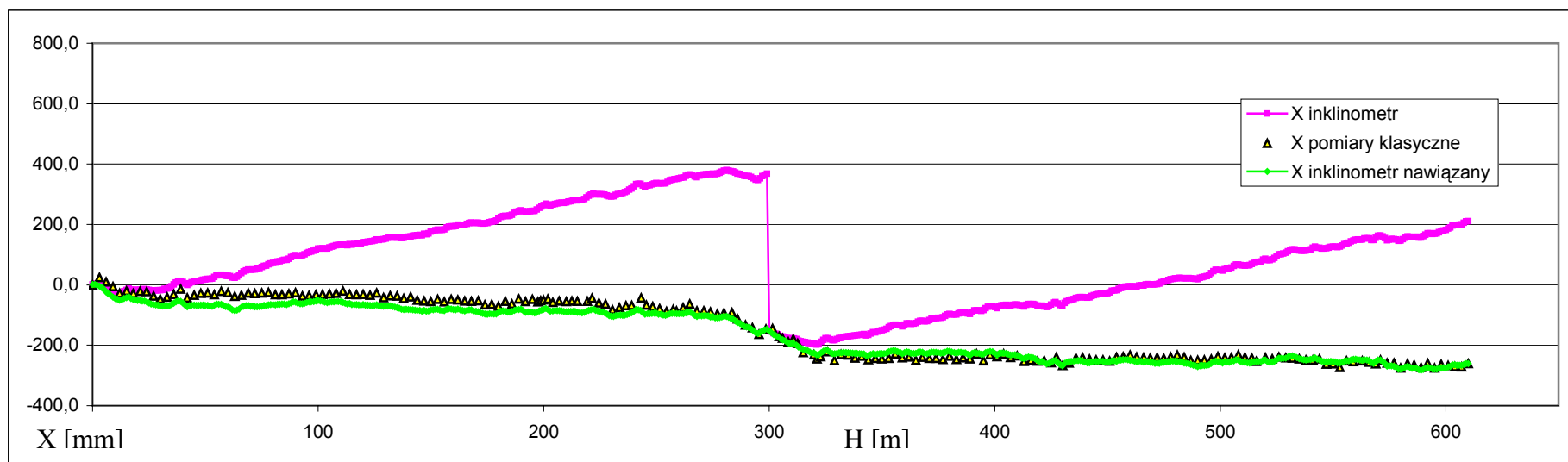
5.1. Nawiązanie profilu inklinometrycznego.

W celu wyeliminowania wpływu błędu systematycznego, związanego z nieprawidłowym określeniem „położenia środkowego” na matrycy, przy jednoczesnym zminimalizowaniu wpływu błędu przypadkowego związanego z „wybiciem” inklinometru podczas jego przejazdu po ciągu prowadniczym koniecznym jest nawiązanie profilu inklinometrycznego. Nawiązanie to należy przeprowadzać w oparciu o wyznaczone wcześniej przy pomocy metod geodezyjnych wartości wychyleń wybranych poziomów ciągu prowadniczego. Na przykładzie pomiarów wykonywanych w szybie „Zygmunt-August” KWK „Barbara-Chorzów” (ze względu na największą długość badanego na tym obiekcie ciągu prowadniczego wynoszącą ok. 600m) przeprowadzono badanie zależności przyjmowanych odległości pomiędzy punktami nawiązania profilu inklinometrycznego w stosunku do otrzymanych dokładności jego wpasowania (względem referencyjnego przebiegu ciągu prowadniczego, uzyskanego z pomiarów klasycznych). Lokalizację wzajemnego nawiązania ciągów przyjęto dla czterech wariantów obliczeń: co 100 m (6 punktów nawiązania), co 200m (3 punkty nawiązania), co 300m (2 punkty nawiązania), oraz dla przypadku jednokrotnego nawiązania ciągu (w końcowym punkcie). Otrzymane graficzne wyniki wariantów nawiązania przedstawiono na rys. od 5.10 do 5.13.

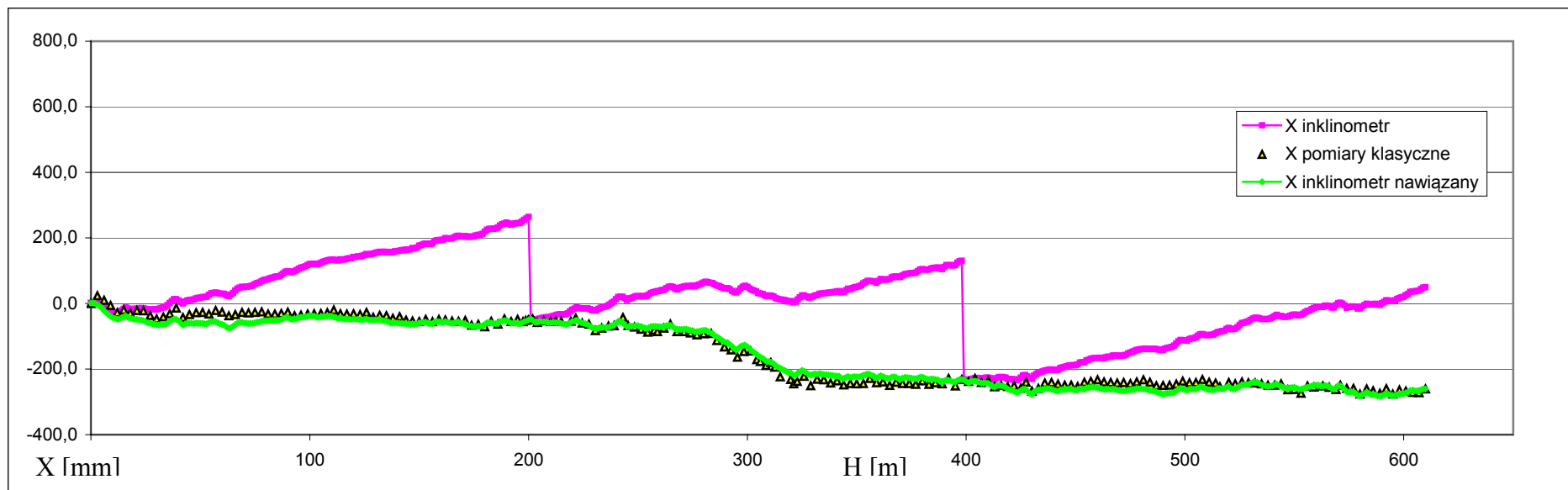
Opis wyników wraz z ich interpretacją zamieszczono w kolejnym rozdziale opracowania (rozdział 5.2).



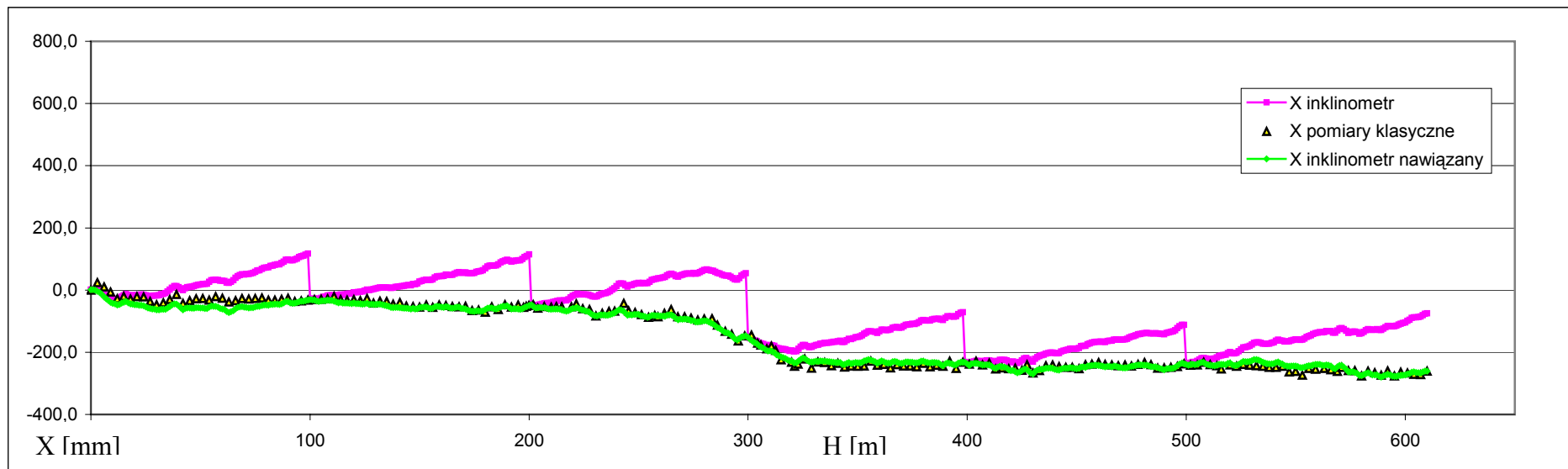
Rys. 5.10. Pojedyncze nawiązanie profilu (do końcowego punktu ciągu prowadniczego).



Rys. 5.11. Podwójne nawiązanie profilu (do końcowego i środkowego punktu ciągu prowadniczego).



Rys. 5.12. Wielokrotne nawiązanie profilu (nawiązanie co 200 m względem ciagu prowadniczego).



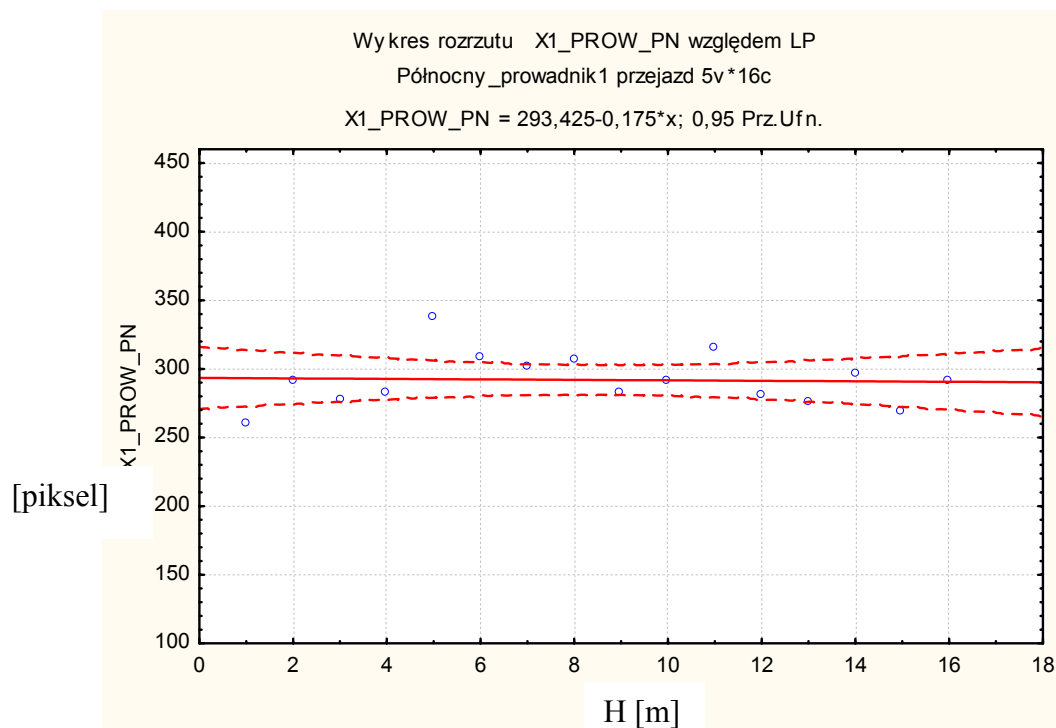
Rys. 5.13. Wielokrotne nawiązanie profilu (nawiązanie co 100 m względem ciagu prowadniczego).

5.2. Badania regresji liniowej wyników pomiarów inklinometrycznych i rozkładu reszt.

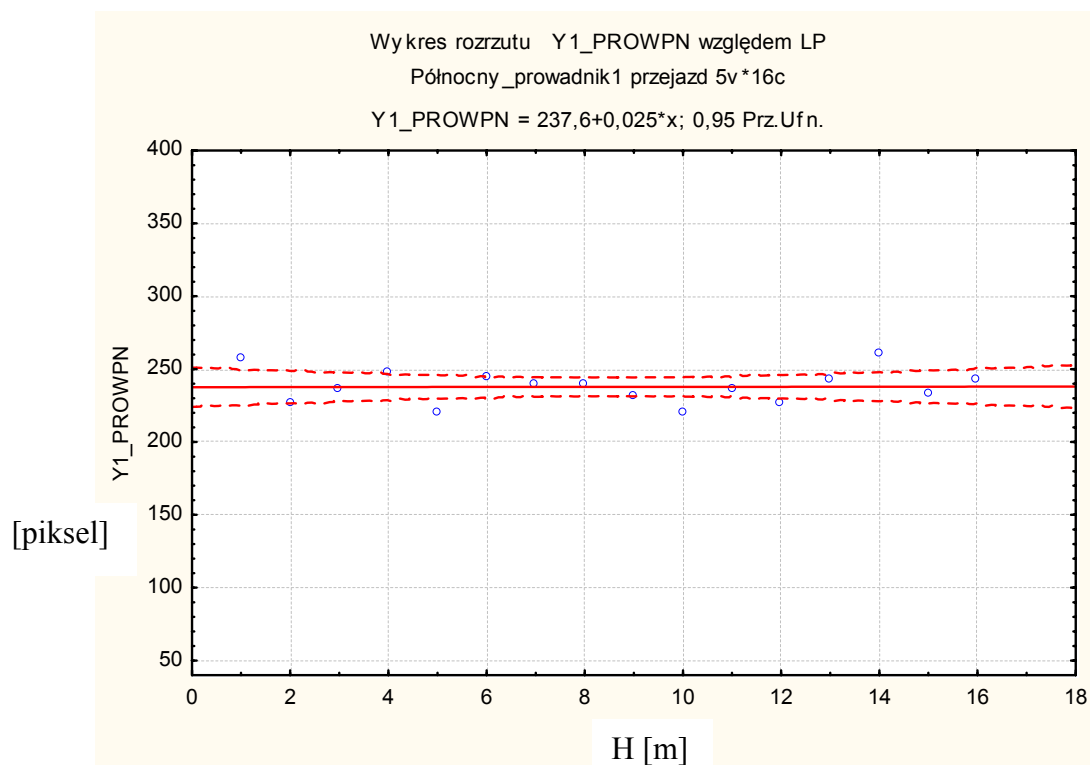
Zgodnie z omawianym wcześniej (punkt 1.1. opracowania) **Rozporządzeniem...** i **Załącznikiem...** w którym to zawarto stwierdzenie że, *prostoliniowość torów prowadzenia naczyni* zakłada, iż w przypadku pomiaru inwentaryzacyjnego należy określić odchyłki realnego przebiegu przewodników od linii prostej oraz wyznaczyć wartości koniecznych przemieszczeń tych przewodników dla uzyskania ich przebiegu po prostej, otrzymane z pomiarów inklinometrycznych wartości współrzędnych naroży ciągu przewodniczego aproksymowano liniowo, wyliczając na ich podstawie proste regresji. Ze względu na nominalną odległość pomiędzy dźwigarami, na poziomie których następuje łączenie jednostkowych przewodników w badanych ciągach przewodniczych, wynoszącą 3m, na długości tej uzyskano 4 wskazania współrzędnych z inklinometru. Aby zobrazować stopień dopasowania wyliczonych prostych regresji w stosunku do otrzymanych wyników z inklinometru (na większej próbie) proste wpasowywano dla wyników pomiaru na odcinkach 5 kolejnych dźwigarów w ciągu przewodniczym (16 wskazań z inklinometru). Wybór 15 metrowych odcinków wynikał z doboru optymalnego zakresu na którym możliwym będzie wychwycenie ewentualnych zaburzeń w liniowym przebiegu ciągu przewodniczego z uwzględnieniem faktu, iż przebieg przewodników (na całej długości ciągu przewodniczego) po linii ściśle odpowiadającej prostej jest z praktycznego punktu widzenia nie do spełnienia (punkt 1.1. opracowania). Analizie poddano wyniki pomiarów inklinometrycznych ze wszystkich obiektów badawczych.

Na podstawie wyliczonych (za pośrednictwem programu Statistica 8.0 PL) równań prostych regresji zarówno w płaszczyźnie czołowej przewodnika (współrzędna X) jak i w płaszczyźnie bocznej przewodnika (współrzędna Y) stwierdzono dużą zgodność wpasowania danych z inklinometru, w pas regresji modelu liniowego dla przedziału ufności 0.95.

Przykładowe wykresy przebiegu prostych regresji (dla współrzędnych X i Y) wyliczonych w oparciu o dane otrzymane z inklinometru przedstawiono na rysunkach 5.14, 5.15.



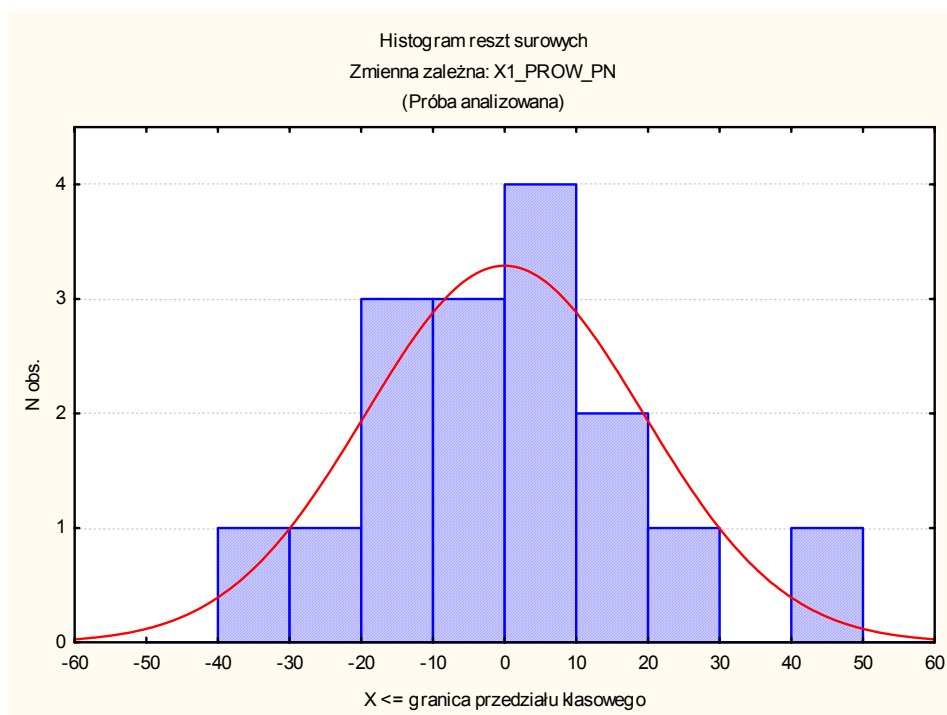
Rysunek. 5.14. Przykładowy obraz wpasowania prostej regresji w stosunku do wyników pomiarów inklinometrycznych wzdłuż płaszczyzny czołowej ciągu prowadniczego (współrzędna X).



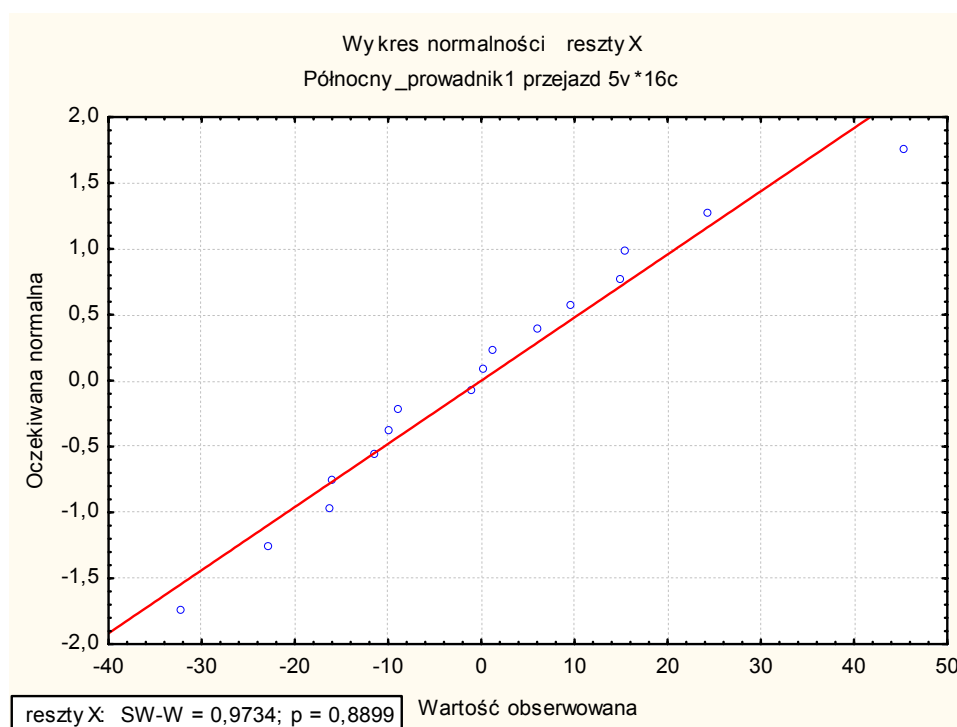
Rysunek 5.15. Przykładowy obraz wpasowania prostej regresji w stosunku do wyników pomiarów inklinometrycznych wzdłuż płaszczyzny bocznej ciągu prowadniczego (współrzędna Y).

Mając na uwadze fakt, iż wyznaczane proste regresji dotyczą piętnastometrowych odcinków ciągu przewodniczego, zbadano liniowe wartości nieciągłości w przebiegu całego ciągu przewodniczego. Nieciągłości te wynikają z niejednoznaczności określenia współrzędnych w miejscach odpowiadających stykowi następujących po sobie prostych regresji (np. dla dwóch pierwszych odcinków w ciągu przewodniczym będzie to 15 metr, dla którego współrzędne można określić zarówno z prostej regresji dotyczącej odcinka 1-15m, jak i z prostej regresji dotyczącej odcinka 15-30m). Otrzymane wyniki wskazują na liniowe wartości nieciągłości wynoszące $\pm 1,0$ mm wzdłuż płaszczyzny czołowej przewodnika, oraz $\pm 1,5$ mm wzdłuż płaszczyzny bocznej przewodnika, co jest wartością dopuszczalną w kontekście wymaganych dokładności jakie powinny spełniać technologie pomiarów inwentaryzacyjnych przewodników szybowych.

W celu zbadania rozkładu różnic otrzymanych na podstawie porównania wartości oczekiwanych (wynikających z prostych regresji) w stosunku do wartości uzyskanych bezpośrednio z pomiarów, wykorzystano test Shapiro-Wilka służący do badania normalności rozkładu. Przykładowy histogram reszt oraz „wykres normalności”, (wykres rozrzutu reszt względem wartości "oczekiwanych dla rozkładu normalnego") przedstawiono na rysunkach 5.16, 5.17.



Rysunek 5.16. Przykładowy histogram reszt otrzymanych z porównania wartości oczekiwanych (wynikających z prostych regresji) w stosunku do wartości uzyskanych bezpośrednio z pomiarów.

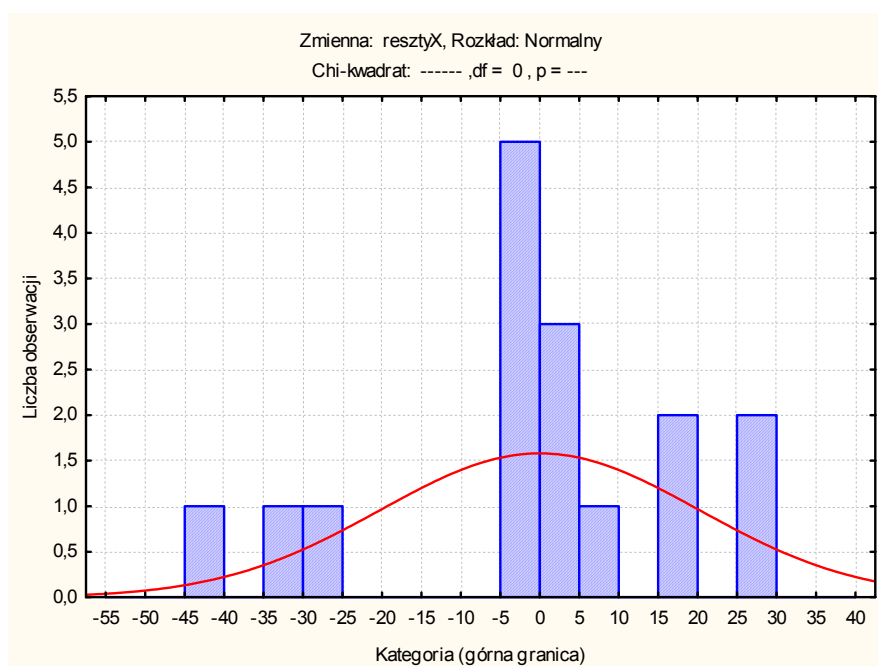


Rysunek 5.17. Przykładowy wykres rozrzutu reszt względem wartości oczekiwanych dla rozkładu normalnego.

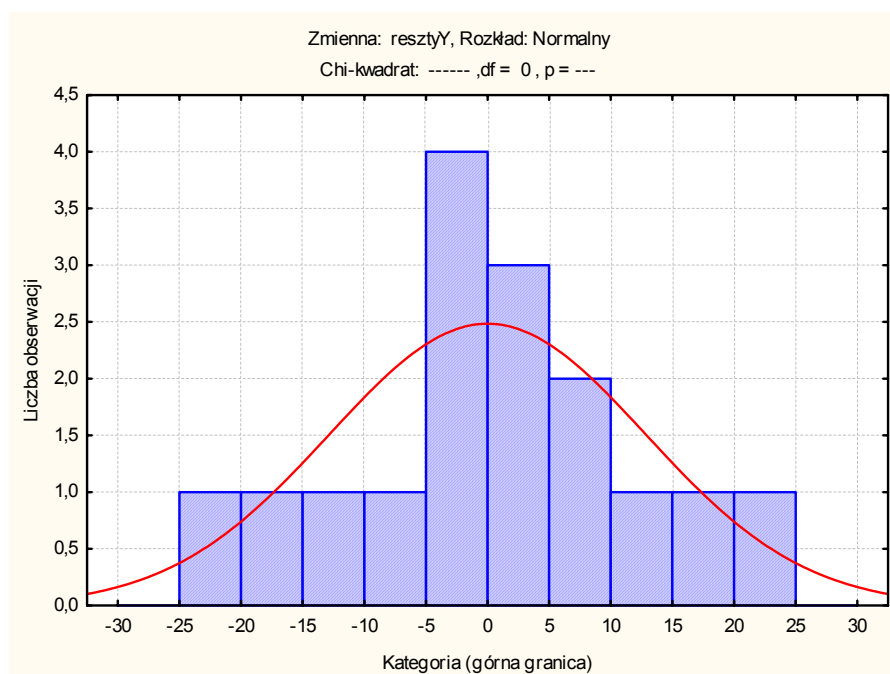
Wyszczególniona na powyższym wykresie wartość p odpowiada prawdopodobieństwu (wyliczonemu na podstawie Testu Shapiro-Wilka), z jakim nie możemy wykluczyć normalności rozkładu badanych reszt.

Wyniki rzutowania reszt, wyznaczone z regresji liniowych, na podprzestrzeń ortogonalną potwierdziło słusność zastosowania liniowego modelu wpasowania wyników pomiarów inklinometrycznych (suma wartości reszt wynosi zero).

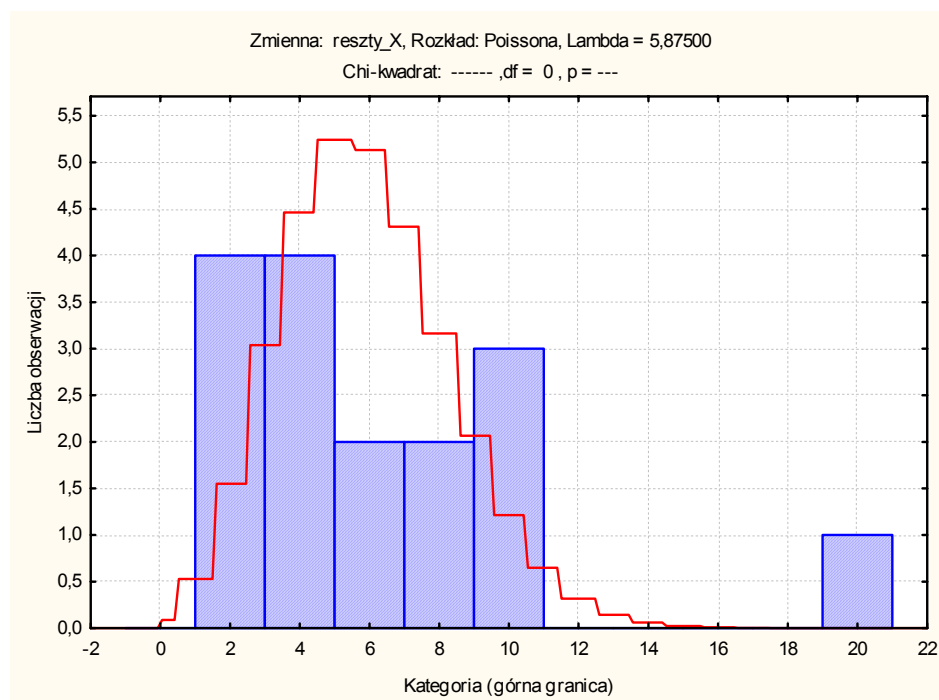
Reszty rzutowane na podprzestrzeń ortogonalną (różnice pomiędzy wartością oczekiwaną z regresji liniowej, a wartością wynikającą z pomiaru, wyznaczane prostopadle do prostej regresji), przeanalizowano pod kątem określenia rozkładu ich wartości. Analiza ta wykazała brak zgodności dopasowania wartości reszt zarówno w stosunku do rozkładu normalnego jak i rozkładu Poissona, we wszystkich badanych przypadkach. Jednakże z uwagi na uzyskany w teście Shapiro-Wilka duży stopień prawdopodobieństwa dopasowania rozkładu normalnego uznano, iż do oceny dokładności pomiarów *a posteriori* można zastosować metodę różnic spostrzeżeń – Kochmański T. (1952). Przykładowe zobrazowanie próby dopasowania wartości reszt do rozkładu normalnego oraz rozkładu Poissona przedstawiono na rys. od 5.18 do 5.21.



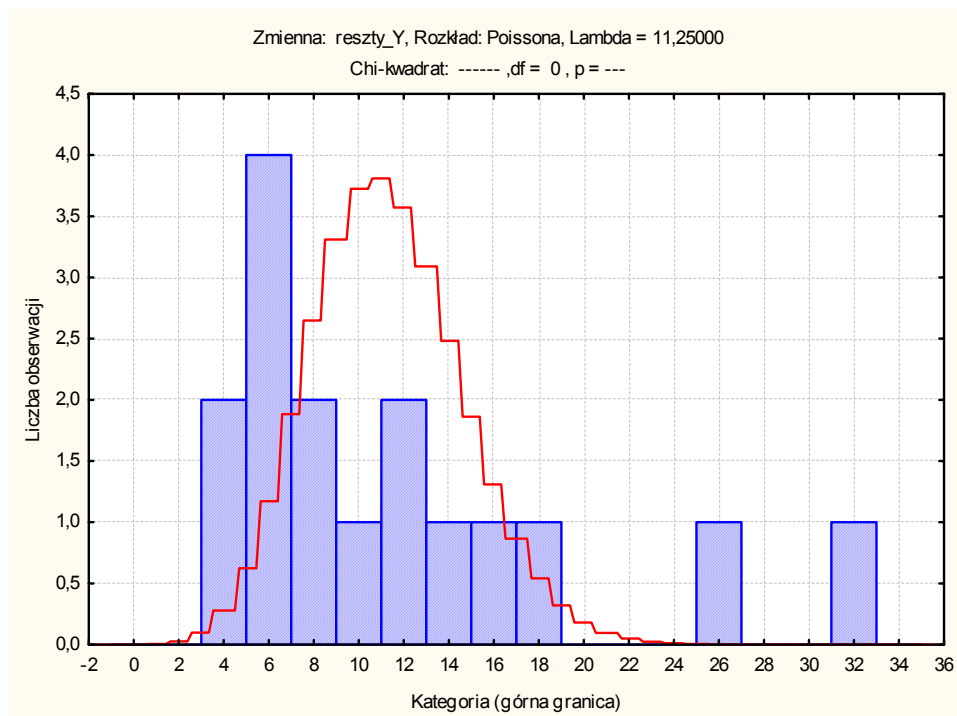
Rysunek 5.18. Przykładowy wykres dopasowania reszt współrzędnych X względem rozkładu normalnego.



Rysunek 5.19. Przykładowy wykres dopasowania reszt współrzędnych Y względem rozkładu normalnego.



Rysunek 5.20. Przykładowy wykres dopasowania reszt współrzędnych X względem rozkładu Poissona.



Rysunek 5.21. Przykładowy wykres dopasowania reszt współrzędnych Y względem rozkładu Poissona.

Biorąc pod uwagę fakt, iż proste regresji określano zarówno w oparciu o wartości niezależne (punkty pomiarowe wyznaczone na poziomach łączach przewodników jednostkowych) jak i w oparciu o wartości zależne (punkty pomiarowe wyznaczone na długości przewodnika jednostkowego) do wyznaczenia stopnia dopasowania obserwacji względem wartości oczekiwanych przyjęto model stochastyczny, uwzględniający wpływ zakłóceń losowych.

Z modelu stochastycznego wynika, iż wielkości na podstawie których wyznaczone są proste regresji (obserwacje wychyleń wahadła) są **ciągami wielkości skorelowanych**, których dokładność wyznacza się z poniższej zależności:

$$m_{reg} = \pm \sqrt{\frac{[d_{ort}d_{ort}]}{n}} \text{ [mm]} \quad (5.1)$$

gdzie:

m_{reg} – błąd określenia wskazania inklinometru dla przypadku aproksymacji wyników regresją liniową;

d_{ort} – odległość pomiędzy wartością oczekiwaną z prostej regresji a wskazaniem z inklinometru, rzutowana na podprzestrzeń ortogonalną;

n – ilość wskazań inklinometru z których wyznacza się prostą regresji.

Dla przyjętych piętnasto-metrowych odcinków ciągu przewodniczego otrzymane wartości błędów m_{reg} wynoszą **$\pm 1,5 \text{ mm}$** dla wszystkich analizowanych przypadków aproksymacji wyników pomiarów prostymi regresji.

Po określeniu przebiegów dwóch naprzeciwnych ciągów przewodniczych (uzyskanych na drodze wyliczania prostych regresji dla kolejnych odcinków ciągu), możliwym staje się kontrola zmian wielkości rozstawów czołowych pomiędzy odpowiadającymi sobie przewodnikami w naprzeciwnych ciągach. Dzięki określonym (z prostych regresji) współrzędnym odpowiadających sobie poziomów w ciągach przewodniczych i porównaniu wyliczonych na ich podstawie wielkości rozstawów z rozstawami nominalnymi, wyznacza się wartości korekcyjne służące do rektyfikacji przebiegu ciągów przewodniczych w miejscach łączenia przewodników.

5.3. Porównanie wyników z pomiarów inklinometrem z pomiarami klasycznymi.

Na podstawie porównania wyników przebiegu badanych ciągów przewodniczych otrzymanych z pomiarów inklinometrem szybowym, oraz wyników uzyskanych z klasycznych metod pomiarowych, dla każdej z metod nawiązania, wyliczono błędy ich wzajemnego dopasowania. Porównanie to charakteryzuje dokładność pomiaru wykonanego przy użyciu inklinometru szybowego przy założeniu bezbłędności pomiarów klasycznych.

Na podstawie teorii par spostrzeżeń – Kochmański T. (1952), każdorazowo wyliczono średni błąd pojedynczej obserwacji ze wzoru:

$$m = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{2n}} \text{ [mm]} \quad (5.2)$$

gdzie:

d – różnica pomiędzy współrzędną z inklinometru i z metody klasycznej dla danego poziomu,
n – liczba par spostrzeżeń.

W tabeli 5.1. zestawiono otrzymane średnie błędy pojedynczej obserwacji (wyliczone wg wzoru 5.2) w zależności od przyjętej metody nawiązania profilu inklinometrycznego (na przykładzie współrzędnej X odpowiadającej położeniu płaszczyzny czołowej przewodników w ciągu).

Tabela. 5.1. Wpływ przyjętej metody nawiązania na wzajemne wpasowanie profili.

Metoda nawiązania	co 100m	co 200m	co 300m	w końcowym punkcie
m_x [mm]	9,4	12,3	16,5	16,2

Na podstawie powyższego zestawienia widać, iż znaczący wzrost zgodności dopasowania uzyskuje się dla przypadku nawiązania co 200m (nawiązanie „na koniec” odpowiadające sześciuset metrom i nawiązanie co 300m dało niemal identyczne rezultaty). Dalsze zagęszczenie nawiązania (co 100m) skutkuje wprawdzie uzyskaniem wyższej zgodności wzajemnego dopasowania co jednak w kontekście wykorzystania tej technologii w praktyce nie jest uzasadnione ze względu dużo wyższą pracochłonność.

W celu określenia stopnia wzajemnego dopasowania przebiegu wszystkich nawiązanych ciągów prowadniczych otrzymanych z pomiarów wykonanych przy użyciu inklinometru i z pomiarów wykonywanych metodą klasyczną każdorazowo wyliczono średnie błędy pojedynczej obserwacji (wzór 5.2). Ilość punktów nawiązania przyjmowano w zależności od maksymalnej długości badanego ciągu prowadniczego jednak nie rzadziej niż co 200m.

W każdym z przypadków błąd ten wyliczono na podstawie wyników pomiarów (wykonanych przy użyciu inklinometru) otrzymanych z pierwszego i drugiego przejazdu oraz dla średniej z obu przejazdów.

Wartości średnich błędów pojedynczej obserwacji wyliczono również dla przypadków porównania wskazań inklinometru z obu przejazdów na każdym z ciągów prowadniczych w celu określenia dokładności wewnętrznej instrumentu (powtarzalności wyników pomiarowych). Wartość tę wyliczono ze wzoru:

$$m_{ink} = \pm \sqrt{\frac{[d_{ink} d_{ink}]}{2n}} \text{ [mm]} \quad (5.3)$$

gdzie:

d_{ink} – różnica pomiędzy współrzędną z inklinometru z pierwszego i drugiego przejazdu dla danego poziomu,

n – liczba par spostrzeżeń.

Dodatkowo określono wartość błędu średniej arytmetycznej dwóch pomiarów (dwóch przejazdów) wynikającą z porównania dwóch niezależnych wartości otrzymanych z inklinometru z pierwszego i drugiego przejazdu na każdym z ciągów prowadniczych. Wartość tę wyliczono ze wzoru:

$$M_{sr} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d_{ink} d_{ink}]}{n}} \text{ [mm]} \quad (5.4)$$

gdzie:

d_{ink} – różnica pomiędzy współrzędną z inklinometru z pierwszego i drugiego przejazdu dla danego poziomu,

n – liczba par spostrzeżeń.

Wyznaczono również wartości maksymalne różnic (inklinometr – kopalnia lub pomiędzy pierwszym a drugim przejazdem inklinometru).

Średnie błędy pojedynczej obserwacji, obliczone z różnic współrzędnych między przejazdami inklinometru szybowego a pomiarem klasycznym oraz dokładności wewnętrzne pomiarów zestawiono w tabelach 5.2 do 5.7. Wartości te wyznaczono dla całej długości ciągu prowadniczego oraz dla pierwszych 100m ciągu. Stopień dopasowania (wartości średnich błędów) dla odcinków pierwszych 100m są porównywalne we wszystkich obiektach badawczych. Związane jest to z charakterem dolnej części szybów kopalnianych, które są najmniej narażone na ewentualne wpływy eksploatacji górniczej oraz wpływy odwodnienia górotworu, oraz wykazują najmniejszy stopień zużycia prowadników. Powyższe przesłanki sugerują, iż porównanie wyników pomiarów ciągów prowadniczych przeprowadzonych na tych odcinkach szybu pozwala określić dokładność zewnętrzną pomiarów inklinometrycznych nie obarczoną dodatkowymi wpływami.

5. Porównanie otrzymanych wyników badań z wynikami z klasycznych metod pomiarowych

Tabela 5.2. Parametry charakteryzujące dokładność pomiarów w szybie „Campi” (203m).

Prowadnik południowy	X (płaszczyzna czołowa prowadnika)			Y (płaszczyzna boczna prowadnika)		
	K-I	K-II	K-Śr	K-I	K-II	K-Śr
Przejazdy						
Wartość maksymalna różnicy [mm]	11,3	17,1	13,1	16,1	10,0	12,2
Średni błąd różnicy [mm]	3,6	3,9	3,5	5,9	3,7	4,5

Prowadnik południowy	X (płaszczyzna czołowa prowadnika)		Y (płaszczyzna boczna prowadnika)	
	I-II		I-II	
Przejazdy				
Wartość maksymalna różnicy [mm]	4,4		5,5	
Średni błąd różnicy [mm]	1,0		1,1	
Błąd średniej arytmetycznej [mm]	0,7		0,8	

Prowadnik północny	X (płaszczyzna czołowa prowadnika)			Y (płaszczyzna boczna prowadnika)		
	K-I	K-II	K-Śr	K-I	K-II	K-Śr
Przejazdy						
Wartość maksymalna różnicy [mm]	13,9	22,1	14,1	11,2	12,1	11,3
Średni błąd różnicy [mm]	4,2	9,3	5,2	3,4	3,6	3,4

Prowadnik północny	X (płaszczyzna czołowa prowadnika)		Y (płaszczyzna boczna prowadnika)	
	I-II		I-II	
Przejazdy				
Wartość maksymalna różnicy [mm]	4,4		4,1	
Średni błąd różnicy [mm]	1,1		1,2	
Błąd średniej arytmetycznej [mm]	0,8		0,9	

I – pierwszy przejazd inklinometru;
 II – drugi przejazd inklinometru;
 Śr – średnia wartość z obu przejazdów inklinometrem;
 K – wyniki pomiarów klasycznych.

5. Porównanie otrzymanych wyników badań z wynikami z klasycznych metod pomiarowych

Tabela 5.3. Parametry charakteryzujące dokładność pomiarów w szybie „Campi” (pierwsze 100m pomiaru).

Prowadnik południowy	X (płaszczyzna czołowa prowadnika)			Y (płaszczyzna boczna prowadnika)		
Przejazdy	K-I	K-II	K-Śr	K-I	K-II	K-Śr
Wartość maksymalna różnicy [mm]	11,3	17,1	13,1	14,9	9,3	11,5
Średni błąd różnicy [mm]	3,7	4,9	4,0	5,7	3,2	4,0

Prowadnik południowy	X (płaszczyzna czołowa prowadnika)	Y (płaszczyzna boczna prowadnika)
Przejazdy	I-II	I-II
Wartość maksymalna różnicy [mm]	4,4	4,4
Średni błąd różnicy [mm]	1,1	1,1
Błąd średniej arytmetycznej [mm]	0,7	0,8

Prowadnik północny	X (płaszczyzna czołowa prowadnika)			Y (płaszczyzna boczna prowadnika)		
Przejazdy	K-I	K-II	K-Śr	K-I	K-II	K-Śr
Wartość maksymalna różnicy [mm]	13,9	18,4	14,1	11,2	10,8	11,0
Średni błąd różnicy [mm]	5,3	9,5	5,8	4,4	4,0	4,1

Prowadnik północny	X (płaszczyzna czołowa prowadnika)	Y (płaszczyzna boczna prowadnika)
Przejazdy	I-II	I-II
Wartość maksymalna różnicy [mm]	4,0	4,1
Średni błąd różnicy [mm]	1,0	1,2
Błąd średniej arytmetycznej [mm]	0,7	0,8

I – pierwszy przejazd inklinometru;
 II – drugi przejazd inklinometru;
 Śr – średnia wartość z obu przejazdów inklinometrem;
 K – wyniki pomiarów klasycznych.

Tabela 5.4. Parametry charakteryzujące dokładność pomiarów w szybie „Wschodnim” (480m).

Prowadnik zachodni	X (płaszczyzna czołowa prowadnika)			Y (płaszczyzna boczna prowadnika)		
Przejazdy	K-I	K-II	K-Śr	K-I	K-II	K-Śr
Wartość maksymalna różnicy [mm]	15,7	24,4	20,0	29,9	29,0	27,5
Średni błąd różnicy [mm]	5,1	6,5	5,1	10,5	10,1	10,1

Prowadnik zachodni	X (płaszczyzna czołowa prowadnika)	Y (płaszczyzna boczna prowadnika)
Przejazdy	I-II	I-II
Wartość maksymalna różnicy [mm]	2,2	3,6
Średni błąd różnicy [mm]	0,4	0,7
Błąd średniej arytmetycznej [mm]	0,3	0,5

Prowadnik wschodni	X (płaszczyzna czołowa prowadnika)			Y (płaszczyzna boczna prowadnika)		
Przejazdy	K-I	K-II	K-Śr	K-I	K-II	K-Śr
Wartość maksymalna różnicy [mm]	18,7	17,1	17,6	37,6	25,9	26,5
Średni błąd różnicy [mm]	6,0	5,2	5,2	11,1	8,1	9,1

Prowadnik wschodni	X (płaszczyzna czołowa prowadnika)	Y (płaszczyzna boczna prowadnika)
Przejazdy	I-II	I-II
Wartość maksymalna różnicy [mm]	2,2	5,0
Średni błąd różnicy [mm]	0,4	1,0
Błąd średniej arytmetycznej [mm]	0,3	0,7

I – pierwszy przejazd inklinometru;
 II – drugi przejazd inklinometru;
 Śr – średnia wartość z obu przejazdów inklinometrem;
 K – wyniki pomiarów klasycznych.

5. Porównanie otrzymanych wyników badań z wynikami z klasycznych metod pomiarowych

Tabela 5.5. Parametry charakteryzujące dokładność pomiarów w szybie „Wschodnim” (pierwsze 100m pomiaru).

Prowadnik zachodni	X (płaszczyzna czołowa prowadnika)			Y (płaszczyzna boczna prowadnika)		
Przejazdy	K-I	K-II	K-Śr	K-I	K-II	K-Śr
Wartość maksymalna różnicy [mm]	10,7	5,7	7,5	10,3	9,2	9,4
Średni błąd różnicy [mm]	4,4	2,3	2,9	4,5	2,7	3,2

Prowadnik zachodni	X (płaszczyzna czołowa prowadnika)	Y (płaszczyzna boczna prowadnika)
Przejazdy	I-II	I-II
Wartość maksymalna różnicy [mm]	1,3	3,6
Średni błąd różnicy [mm]	0,5	1,0
Błąd średniej arytmetycznej [mm]	0,3	0,7

Prowadnik wschodni	X (płaszczyzna czołowa prowadnika)			Y (płaszczyzna boczna prowadnika)		
Przejazdy	K-I	K-II	K-Śr	K-I	K-II	K-Śr
Wartość maksymalna różnicy [mm]	10,2	11,8	10,1	10,2	8,1	8,7
Średni błąd różnicy [mm]	2,7	4,5	3,1	4,8	2,8	3,1

Prowadnik wschodni	X (płaszczyzna czołowa prowadnika)	Y (płaszczyzna boczna prowadnika)
Przejazdy	I-II	I-II
Wartość maksymalna różnicy [mm]	1,6	4,4
Średni błąd różnicy [mm]	0,4	1,1
Błąd średniej arytmetycznej [mm]	0,3	0,8

I – pierwszy przejazd inklinometru;
 II – drugi przejazd inklinometru;
 Śr – średnia wartość z obu przejazdów inklinometrem;
 K – wyniki pomiarów klasycznych.

5. Porównanie otrzymanych wyników badań z wynikami z klasycznych metod pomiarowych

Tabela 5.6. Parametry charakteryzujące dokładność pomiarów w szybie „Zygmunt-August” (610 m).

Prowadnik południowy	X (płaszczyzna czołowa prowadnika)			Y (płaszczyzna boczna prowadnika)		
Przejazdy	K-I	K-II	K-Śr	K-I	K-II	K-Śr
Wartość maksymalna różnicy [mm]	32,7	34,5	32,2	22,4	16,7	19,6
Średni błąd różnicy [mm]	8,1	9,4	8,0	4,9	3,6	3,9

Prowadnik południowy	X (płaszczyzna czołowa prowadnika)	Y (płaszczyzna boczna prowadnika)
Przejazdy	I-II	I-II
Wartość maksymalna różnicy [mm]	11,4	18,0
Średni błąd różnicy [mm]	1,4	2,8
Błąd średniej arytmetycznej [mm]	1,0	2,0

I – pierwszy przejazd inklinometru;
 II – drugi przejazd inklinometru;
 Śr – średnia wartość z obu przejazdów inklinometrem;
 K – wyniki pomiarów klasycznych.

Tabela 5.7. Parametry charakteryzujące dokładność pomiarów w szybie „Zygmunt-August” (pierwsze 100m pomiaru).

Prowadnik południowy	X (płaszczyzna czołowa prowadnika)			Y (płaszczyzna boczna prowadnika)		
Przejazdy	K-I	K-II	K-Śr	K-I	K-II	K-Śr
Wartość maksymalna różnicy [mm]	13,5	24,2	15,1	14,8	10,1	12,0
Średni błąd różnicy [mm]	5,0	7,6	4,2	4,5	3,5	3,7

Prowadnik południowy	X (płaszczyzna czołowa prowadnika)	Y (płaszczyzna boczna prowadnika)
Przejazdy	I-II	I-II
Wartość maksymalna różnicy [mm]	3,6	8,2
Średni błąd różnicy [mm]	1,1	2,0
Błąd średniej arytmetycznej [mm]	0,8	1,4

I – pierwszy przejazd inklinometru;
 II – drugi przejazd inklinometru;
 Śr – średnia wartość z obu przejazdów inklinometrem;
 K – wyniki pomiarów klasycznych.

Porównując otrzymane wyniki średnich błędów pojedynczej obserwacji stwierdzono, iż dla przypadków pomiaru ciągu przewodniczego inklinometrem na odcinku pierwszych 100m wynoszą one $\pm 4,0 \text{ mm}$ zarówno w płaszczyźnie czołowej jak i bocznej przewodnika. Zgodność otrzymanych wyników na wszystkich obiektach pomiarowych sugeruje, iż porównanie wyników pomiarów ciągów przewodniczych przeprowadzonych na tych odcinkach szybu pozwala określić dokładność zewnętrzną pomiarów inklinometrycznych. Wybór tych odcinków związany jest z najmniejszymi wpływami eksploatacji górniczej, wpływami odwodnienia górotworu i stopniem zużycia przewodników jakie występują na nich w stosunku do całkowitej długości ciągów przewodniczych.

Wartości średniego błędu pojedynczej obserwacji dla całej długości ciągu przewodniczego jest nawet dwukrotnie większa dla przypadku najdłuższego ciągu przewodniczego (Szyb „Zygmunt-August” KWK „Barbara-Chorzów”), co spowodowane jest zarówno wystąpieniem opisanych powyżej wpływów jak i założeniem bezbłędności wyników pomiarów referencyjnych (klasycznych), które przecież obarczone są również błędami wyznaczenia. Dodatkowo mogą mieć w tym przypadku wpływ niewielkie zmiany geometrii szybu występujące na skutek ruchów górotworu w otoczeniu rury szybowej, związane z odstępem czasu jaki był pomiędzy pomiarami klasycznymi i inklinometrycznymi.

Otrzymane maksymalne wartości różnic pomiędzy wynikami z pomiarów inklinometrem i pomiarami klasycznymi, różne co do wielkości dla porównania pierwszego i drugiego przejazdu w ramach tej samej współrzędnej na danym obiekcie badawczym, sugerują występowanie błędów przypadkowych związanych z miejscowymi „wybiciami” inklinometru podczas któregoś z przejazdu (tam gdzie zaobserwowano większe wartości maksymalne różnic).

Wartości średnich błędów pojedynczej obserwacji wynikające z porównania wskazań inklinometru z pierwszego i drugiego przejazdu (niezależnie od porównania pierwszych 100m przejazdu czy całej długości ciągu przewodniczego) nie przekraczają $\pm 1,5 \text{ mm}$ w płaszczyźnie czołowej przewodnika i $\pm 3,0 \text{ mm}$ w płaszczyźnie bocznej co potwierdza wysoką zgodność wewnętrzną pomiarów.

5.4. Określenie szczegółowej technologii pomiarów przy użyciu inklinometru.

Doświadczenie praktyczne uzyskane dzięki pomiarom na przemysłowych obiektach badawczych i otrzymanie wyniki badań porównane z wynikami otrzymanymi z metod klasycznymi pozwoliły na uszczegółowienie i weryfikację technologii wykonywania pomiarów pionowości i prostoliniowości przewodników w szybach przy użyciu inklinometru szybowego. Poniżej przedstawiono uzupełnienie technologii wykonywania pomiarów z użyciem prototypu która opisana została w pkt. 3 opracowania:

1. Pomiar każdego ciągu przewodniczego należy przeprowadzić przynajmniej **dwukrotnie niezależnie** na całej jego długości i jako wynik ostateczny należy przyjąć wartość średnią.
2. Pomiar należy wykonywać od najniższego poziomu ciągu do poziomemu zrębu szybu, przy zachowaniu **jednostajnej prędkości przejazdu klatki szybowej** i prędkość ta powinna być jak najmniejsza.
3. W celu otrzymania przestrzennego przebiegu ciągu przewodniczego należy każdorazowo precyzyjnie określić **położenie środkowe na matrycy** i na jego podstawie obliczyć wychylenia jednostkowe i ukierunkowany profil. Jeśli istnieje możliwość należy **nawiązać profil** inklinometryczny do wyników pomiarów klasycznych jednak nie częściej niż **co 200m** co spowoduje wyeliminowanie błędów systematycznych i zminimalizowanie wpływu błędów przypadkowych.

W oparciu o zebrane doświadczenia wynikające z przeprowadzonych pomiarów przebiegu profili ciągów przewodniczych, sporządzono „Instrukcję wykonywania pomiarów profili ciągów przewodniczych inklinometrem szybowym” oraz opisano syntetycznie procedury związane z nawiązaniem profilu ciągu przewodniczego otrzymanego z pomiarów inklinometrem szybowym wraz z metodą obliczeń współrzędnych punktów wyznaczających profil ciągu przewodniczego.

INSTRUKCJA WYKONYWANIA POMIARÓW PROFILI CIĄGÓW PROWADNICZYCH INKLINOMETREM SZYBOWYM

Procedury związane z pomiarem profilu ciągu przewodniczego z wykorzystaniem inklinometru szybowego wykonywane na nadszybiu:

1. Dostosowanie do wartości nominalnej, odpowiadającej szerokości przewodnika, szerokości pomiędzy kółkami profilującymi przyłożonymi do płaszczyzny bocznej przewodnika a kółkami dociskowymi.
2. Ustalenie odległości dźwigarów od przewodników w ciągu i dostosowanie do niej długości czujnika w „liczniku dźwigarów”.
3. Ustawienie przenośnego zawiesia wewnątrz klatki szybowej w pobliżu mierzonego ciągu przewodniczego
4. Umieszczenie inklinometru wewnątrz klatki szybowej i podłączenie inklinometru do przenośnego komputera (wystarczy obecność dwóch osób wykonujących pomiar).
5. Włączenie zasilania inklinometru i sprawdzenie łączności pomiędzy urządzeniem a przenośnym komputerem (opcja „start obraz” w programie rejestrującym).
6. Dostosowanie długości pojedynczego pliku rejestrującego do przewidywanego czasu przejazdu wzdłuż ciągu przewodniczego.
7. Kontrola wykonania zapisu z opcją manualnego generowania sygnałów ze znacznika dźwigarów i licznika odległości (opcja „start plamka” i „start zapis” w programie rejestrującym).

Po otrzymaniu pozytywnych wyników powyższych kontroli zjazd klatką do poziomu końcowego odcinka mierzonego ciągu przewodniczego (poniżej poziomu ostatniego mierzonego dźwigara).

8. Zamontowanie inklinometru na przenośnym zawiesiu i przyłożenie płaszczyzn kółek profilujących do odpowiadających im płaszczyzn przewodnika (czołowej i bocznej).
9. Kontrola poprawności wzajemnego przyłożenia płaszczyzn kółek profilujących do płaszczyzn przewodnika wykonywana nieprzerwanie do końca pomiaru przez jedną z osób znajdującą się w klatce szybowej (osoba ta przy pomocy specjalnego uchwytu na inklinometrze dociska urządzenie do płaszczyzn przewodnika)
10. Ponowna kontrola łączności pomiędzy inklinometrem i komputerem.

11. Uruchomienie opcji zapisu i jej kontrola wykonywana nieprzerwanie do końca pomiaru przez drugą z osób znajdujących się w klatce szybowej.
12. Przekazanie sygnału o możliwości rozpoczęcia ruchu klatki w kierunku zrębu szybu z jednostajną, możliwie najmniejszą prędkością.
13. Ciągła rejestracja wskazań inklinometru – wychyleń wzdłuż osi X (płaszczyzna czołowa prowadnika) i Y (płaszczyzna boczna prowadnika) oraz sygnałów ze „znacznika głębokości” i „licznika dźwigarów” w czasie przejazdu wzdłuż ciągu prowadniczego.

Po dojechaniu do poziomu zrębu szybu:

14. Zakończenie zapisu wskazań inklinometru.
15. Odstawienie inklinometru od płaszczyzn prowadnika i zdjęcie inklinometru z przenośnego zawiesia.
16. Kontrola uzyskania pliku danych z rejestracji.

Powtórzenie procedury od 7 punktu instrukcji (w celu uzyskania kolejnego niezależnego wyniku pomiaru)

PROCEDURY ZWIĄZANE Z NAWIĄZANIEM PROFILU CIĄGU PROWADNICZEGO OTRZYMANEGO Z POMIARÓW INKLINOMETREM SZYBOWYM:

Metoda 1 – W celu uzyskania wychyleń jednostkowych inklinometru, których wartości nie są obciążone błędem systematycznym, należy każdorazowo określić „położenie środkowe” na matrycy bezpośrednio przed, jak i zaraz po wykonaniu pomiarów profili ciągów prowadniczych przy użyciu inklinometru szybowego. Konieczność takiej kontroli wynika z możliwości zmiany wartości tego „położenia” na skutek wstrząsów jakich doznał inklinometr w trakcie transportu. Wartości zmian położenia tego „środku” rzędu 1 piksela (0,12 mm) spowodują systematyczne odchylenie uzyskanego z pomiarów inklinometrem profilu ciągu prowadniczego narastające wraz z głębokością (dla głębokości 1000m może to spowodować odchylenie nawet o 12 cm).

Określenie współrzędnych „położenia środkowego” można przeprowadzić przy użyciu dwóch zrektyfikowanych teodolitów, których stanowiska wybrane zostaną w ten sposób, aby osie celowe teodolitów przecinały się pod kątem 90^0 w miejscu ustawienia inklinometru a odległości obu teodolitów od inklinometru były takie same (około 10m). Po wtyczeniu kółek profilujących w płaszczyzny kolimacyjne teodolitów należy odczytać wskazania inklinometru odpowiadające jego pionowemu ustawieniu. Na czas wtyczania inklinometr powinien być w górnej części podwieszony na „zawiesiu”, od dołu postawiony na stabilnym podłożu na nóżkach (patrz rys. 3.1, str. 36), a w celu precyzyjnego wtyczenia dodatkowo podparty z dwóch stron (np. przy pomocy podpór do łat niwelacyjnych).

Określenie współrzędnych „położenia środkowego” można uzyskać również, na drodze porównania precyzyjnie wyznaczonej wartości odchylenia od pionu wyjściowego i końcowego prowadnika w ciągu prowadniczym, w stosunku do wartości odchylenia od pionu tego prowadnika wyznaczonej ze wskazań inklinometru. Pomiar początkowego i końcowego prowadnika w ciągu pozwala na skontrolowanie ewentualnej zmiany współrzędnych „położenia środkowego” jaka mogła wystąpić na skutek „wybicia” inklinometru podczas przejazdu. Do precyzyjnego wyznaczenia wartości odchylenia od pionu może posłużyć „Przyrząd do kontroli i ustawiania pionowości elementów konstrukcyjnych”, którego twórcami są: dr inż. Władysław Borowiec i inż. Stefan Kozak. Urządzenie to umożliwia wyznaczenie wartości odchylenia od pionu badanego elementu z dokładnością $\pm 0,1$ mm/m co odpowiada wielkości poniżej 1 piksela i jest wystarczające dla celów określenia „położenia środkowego”. Znajomość rzeczywistego odchylenia od pionu początkowego i końcowego prowadnika w ciągu i odpowiadających mu wskazań z inklinometru pozwala precyzyjnie wyznaczyć wartość i skontrolować niezmiennosć „położenia środkowego”.

Po właściwym określeniu „położenia środkowego” na matrycy otrzymane z pomiarów inklinometrem profile ciągów prowadniczych będą odpowiadać ich przestrzennemu usytuowaniu w rurze szybowej w lokalnym układzie współrzędnych. W celu nawiązania tych wyników do układu obowiązującego w danej kopalni należy dokonać wyznaczenia współrzędnych naroży prowadników na poziomie nadszybia. Do nawiązania można zastosować metodę biegunową ze stanowiska, którego współrzędne określone są w układzie kopalnianym. W celu dodatkowej kontroli należy wykonać pomiar rozstawu czołowego pomiędzy naprzeciwległymi ciągami prowadniczymi na poziomie nadszybia i na najniższym poziomie ciągu prowadniczego (od którego rozpoczynany był pomiar inklinometrem).

Metoda 2 – Jeżeli z jakichś względów nie jest możliwe precyzyjne wyznaczenie „położenia środkowego” na matrycy wówczas należy nawiązać wyniki pomiarów wykonanych przy użyciu inklinometru szybowego (uzyskany przebieg profili) do wyników uzyskanych z klasycznych metod z użyciem pionów mechanicznych lub pionów laserowych. Nawiązanie takie pozwoli zredukować wpływ błędu systematycznego, którym obarczone są wyniki pomiarów inklinometrycznych. Pomiary nawiązawcze (określenie położenia przestrzennego przewodnika na danym poziomie ciągu przewodniczego) należy wykonać analogicznie do metod opisanych w rozdziale 2.1. Należy wykonać domiary na poziomie nadszybia i na najniższym poziomie ciągu przewodniczego, od którego rozpoczyna się pomiar inklinometrem, przy czym domiary od pionów do przewodników należy wykonywać na całej długości ciągu przewodniczego nie częściej niż co 200m. Analogicznie do poprzedniej metody w celu nawiązania tych wyników do układu obowiązującego w danej kopalni należy dokonać wyznaczenia współrzędnych pionów na poziomie nadszybia i pomiar rozstawu między przeciwległymi ciągami przewodniczymi.

METODA OBLICZEŃ WSPÓLRZĘDNYCH PUNKTÓW WYZNACZAJĄCYCH PROFIL CIĄGU PROWADNICZEGO.

Dla wyników pomiarów profili ciągów przewodniczych uzyskanych przy nawiązaniu Metodą 1 współrzędne uzyskujemy wprost wykorzystując metodę sumowania odchyleń jednostkowych opisaną w punkcie 4.1. Jako wyjściowe przyjmuje się określone z pomiarów współrzędne naroży przewodnika na poziomi nadszybia (w układzie kopalnianym), od których sumuje się (wraz ze wzrostem głębokości) otrzymane z inklinometru odchylenia jednostkowe, uzyskując w ten sposób współrzędne naroży ciągu przewodniczego na całej mierzonej długości szybu.

W przypadku wyników pomiarów profili ciągów przewodniczych, uzyskanych przy nawiązaniu Metodą 2 w pierwszej kolejności należy dokonać korekty przebiegu profilu w oparciu o wyznaczone współrzędne punktów nawiązania. Określając wartości różnic współrzędnych punktów, wyznaczających profil z pomiarów inklinometrycznych, w stosunku do współrzędnych uzyskanych z pomiarów klasycznych korygujemy wartości uzyskane z pomiaru inklinometrem. W pierwszej kolejności wyznaczamy odchyłkę dla poziomu na którym wykonany został pomiar nawiązania. Korekta polega na dodaniu

poprawek do wartości odchyłeń jednostkowych uzyskanych z inklinometru. Poprawki te wyznaczane są zgodnie z zależnością:

$$p_i = \frac{-V_k}{H_k} \cdot h_i \quad (5.5)$$

gdzie:

p_i – poprawka korekcyjna na i -tym poziomie wyrażona w mm

(od $i=1$ (poziom wyjściowy) do $i=k$, gdzie „ k ” odpowiada poziomowi na którym wykonany był pomiar nawiązawczy),

V_k – odchyłka pomiarów inklinometrycznych w stosunku do wartości z pomiarów klasycznych dla poziomu „ k ” wyrażona w mm,

H_k – głębokość od poziomu „1” do poziomu „ k ” wyrażona w metrach,

h_i – głębokość od poziomu „1” do poziomu „ i ” wyrażona w metrach.

Po wykonaniu korekty odchyłeń jednostkowych sumowanie ich skorygowanych wartości powoduje wyznaczenie współrzędne naroży ciągu przewodniczego na całej mierzonej długości szybu. Jako wyjściowe przyjmuje się wyznaczone współrzędne naroży przewodnika poziomu nadszybia (w układzie kopalnianym).

6. Podsumowanie i wnioski.

Dotychczasowe badania laboratoryjne i pomiary wykonywane przy pomocy prototypowego urządzenia o nazwie inklinometr szybowy pozwalają stwierdzić, iż urządzenie to może być efektywnie wykorzystywane dla celów inwentaryzacji przewodników szybowych.

O ile profil ciągu przewodniczego uzyskuje się wprost z pomiaru (uzyskując wysoką zgodność wyników charakteryzowaną przez dokładność wewnętrzną pomiarów na poziomie $\pm 1,5 \text{ mm}$ w płaszczyźnie czołowej przewodnika i $\pm 3,0 \text{ mm}$ w płaszczyźnie bocznej), to w celu określenia jego przestrzennego przebiegu konieczne jest uzupełnienie tej metody o „geodezyjny pomiar nawiązawczy”, który pozwoli nawiązać profil lub każdorazowe precyzyjne wyznaczenie położenia środkowego na matrycy.

Nawiązanie może być zrealizowane przy użyciu dwóch pionów mechanicznych wolno zwisającego w szybie bądź pionowników laserowych. Piony te materializują linie pionu w pobliżu badanego ciągu i tworzą bazę, w odniesieniu do której można wykonać pomiary orientujące przebieg profilu. Technologia pomiaru opisana została w punkcie 2.1., 2.3. opracowania. Alternatywnym rozwiązaniem jest metoda nawiązania opisana w punkcie 2.2. opracowania wykorzystująca jeden pion i pomiar biegunowy z wykorzystaniem nasadki giroskopowej GAK.

Pomiary nawiązawcze należy wykonać **na najwyższym poziomie** (zrąb szybu) oraz **na najniższym poziomie** od którego rozpoczęty jest pomiar (przy przejeździe inklinometrem z dołu do góry). Jednak w celu optymalnego nawiązania profilu uzyskanego z inklinometru zaleca się wykonywanie dodatkowych pomiarów nawiązawczych **co każde 200m głębokości**. Nawiązanie profilu nie jest więc zbytnio kłopotliwe. Na dokładność określenia przestrzennego przebiegu ciągu przewodniczego wpływ mają zarówno błędy wyznaczenia pionowej linii odniesienia wynikające z przyjętej metody ($\pm 2 \text{ mm}$ dla pionu mechanicznego, $\pm 3-7 \text{ mm}$ dla pionownika laserowego), jak również błędy wynikające z charakterystyki badanego inklinometru. Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono, iż średni błąd pojedynczej obserwacji inklinometrem na odcinku 100m wynosi $\pm 4,0 \text{ mm}$ zarówno w płaszczyźnie czołowej jak i bocznej przewodnika. Wartość ta wynika z porównania przestrzennego przebiegu ciągów przewodniczych uzyskanych z pomiarów inklinometrycznych i metod klasycznych dla, licząc od podstawy ciągu przewodniczego, pierwszych stu metrów pomiaru w każdym z badanych przypadków. Gdy przeanalizujemy przestrzenny przebieg ciągów przewodniczych na całej ich długości, uzyskany z obu metod, otrzymamy większe wartości błędów. Jest to związane z przyjęciem bezbłędności metod do

których porównywano pomiary inklinometryczne oraz z możliwymi drobnymi zmianami geometrii przewodników wynikającymi z odstępów czasowych pomiędzy pomiarem klasycznym a pomiarem z wykorzystaniem inklinometru.

Na podstawie otrzymanego przestrzennego przebiegu ciągu przewodniczego najczęściej określanego jako ciąg współrzędnych wybranego narożnika można **na dowolnym poziomie** można wyznaczyć geometrię elementów stanowiących zbrojenie szybu poprzez pomiar szczegółów, np. wykonany metodą ortogonalną uzyskując w tym przypadku dokładność wyznaczenia poszczególnych elementów na poziomie $\pm 5 \text{ mm}$ przy nawiązaniu do pionu mechanicznego i odpowiednio $\pm 5\text{-}8 \text{ mm}$ przy nawiązaniu do pionu laserowego.

Wykonane badania laboratoryjne oraz pomiary *in situ* w warunkach realnie panujących w szymbach kopalnianych, jak również analiza dokładności wyników, uzyskanych przy stosowaniu inklinometru szymbowego, pozwalają na stwierdzenie, że teza pracy została udowodniona, a badany przyrząd może być stosowany w pomiarach inwentaryzacyjnych szymbów.

W oparciu o wyznaczone równania prostych regresji możliwym staje się kontrola zmian wielkości rozstawów czołowych pomiędzy odpowiadającymi sobie przewodnikami w naprzeciwległych ciągach przewodniczych. Dzięki określonym (z prostych regresji) współrzędnym odpowiadających sobie poziomów w ciągach przewodniczych i porównaniu wyliczonych na ich podstawie wielkości rozstawów z rozstawami nominalnymi, możliwym staje się określenie wartości korekcyjnych służących do rektyfikacji przebiegu ciągów przewodniczych w miejscach łączenia przewodników.

Najistotniejsza jest jednak świadomość, iż pomiary inwentaryzacyjne przewodników szymbowych wykonywane przy użyciu inklinometru są porównywalne dokładnościowo, lecz znacznie mniej czaso- i pracochłonne i bardziej bezpieczne w stosunku do pomiarów klasycznych. Czyni to je więc na pewno dobrym uzupełnieniem lub nawet alternatywą dla stosowanych obecnie metod.

Literatura:

Białożył T., Baldys A., Gańczorz J. (1999) - Nowoczesne techniki pomiarowe stosowane w Przedsiębiorstwie Miernictwa Górniczego Sp. z o.o. - Prace naukowe GiG, seria: Konferencje nr 30, *V Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych*, Katowice 1999 r.

Białożył T., Jaśkowski W., Pieniążek T.(1992) - Zastosowanie metod nawigacji bezwładnościowej do pomiaru deformacji szybu - Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej NT *Nowoczesne Technologie w Geodezji Górniczej*, Kraków 8-9 maj 1992 r.

Galinskaja M.N., Maliar A.D., Bakunowiec W.J.(1988) - Opyt primienienija awtomatizowannogo mietoda markszejdierskoj sjomki prowadników wiertikalnych szachtnych stwołów - Ugol nr 6/1988

Jaśkowski W., Jóźwik M. (1995) - Pomiar pionowości prowadników szybowych z ciągłą rejestracją ich profilu - Materiały II Konferencji NT pt. „ *Problemy automatyzacji w geodezji inżynierskiej*” Warszawa 1995.

Jaśkowski W., Jóźwik M., Skulich M (2005).: Konstrukcja i wstępne wyniki badań inklinometru szybowego. Materiały Konferencji NT: Problemy eksploatacji górniczej pod terenami zagospodarowanymi. GiG, Katowice 2005 r.

Jaśkowski W. (2006).: Zastosowanie dalmierzy DISTO plus w pomiarach inwentaryzacyjnych wyrobisk górniczych. Wyd. AGH, Geodezja Tom 12, Zeszyt 1 , Kraków 2006

Jóźwik M. (1997) - Geodezyjne pomiary geometrii i deformacji szybów górniczych - Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej *IV Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych*, Ryto 1997 r.

Kawulok S., Bura L (1990) - Zautomatyzowana kontrola nierówności i rozstawu ciągów prowadniczych - Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa Nr 11(250) 1990 r.

Kochmański T. (1949) – Miernictwo Górnicze I. Kraków 1949

Kochmański T. (1952) – Rachunek Wyrównawczy. PWSZ Kraków 1952

Korittke N. (1997) – Zur Anwendung hochpräziser Kreismessung im Bergbau und Tunnelbau
– Praca doktorska, obroniona 17.10.1977 na TU Braunschweig

Kowalczyk Z. (1959) – Miernictwo górnicze cz. 3. Wyd. Śląsk, Katowice

Kowalczyk Z. (1965) – Miernictwo górnicze cz. 2. Wyd. Śląsk, Katowice

Kowalczyk Z. (1968) – Miernictwo górnicze cz. 1. Wyd. Śląsk, Katowice

Milewski M. (1986) - Geodezyjne metody badań deformacji głębokich szybów – Ochrona Terenów
Górnictwych Nr 75/1986

Milewski M. (1988) – Geodezja Górnicza – Część I– Skrypty uczelniane nr 1105,
Wyd. AGH.

Milewski M. (1991) – Geodezja Górnicza – Część II– Skrypty uczelniane nr 1240, Wyd.
AGH.

Pielok J.(1992) - Deformationsmessungen in Grubenschachten bei Abbaueinwirkungen -
Materiały 8. Górniczej Konferencji Naukowo-Technicznej w Koszycach 2-4 wrzesień 1992 r.

Pielok J. (2002): Badania deformacji powierzchni terenu i górotworu wywołanych
eksploatacją górniczą. AGH, Kraków, 2002 r.

Pielok J., Jaśkowski W. (1996) – Pomiary deformacji szybów znajdujących się w
zasięgu eksploatacji górniczej - Przegląd Górniczy nr 11/1996.

Pielok J., Białożył T., Szot M. (2007): Deformation von Grubenschächten –
8. Geokinematischer Tag – Freiberg 2007.

Pielok J. (2008) – Materiały niepublikowane – Skrypt do geodezji górniczej.

Schäfler R., Heger W. (1986) – Beiträge zur Inertialgeodäsie, Geodätisches Seminar, München 1986

Skulich M. (2008) – The Concept of Applying the Shaft Inclinator in Verticality and Rectilinearity Measurements of Shaft Guides. Geomatics and environmental engineering, Kraków 2008 r.

Skulich M., Pielok J., Jaśkowski W. (2008) – “Shaft Inclinator” - fast and reliable tool for the inventory taking of shaft guides. 9. Geokinematischer Tag – Freiberg 2008 r.

Skulich M., Ćwiąkała P. (2008) – Wyniki badań pionowości i prostoliniowości przewodników szybowych z wykorzystaniem prototypowego urządzenia o nazwie „inklinometr szybowy”. Materiały VIII konferencji naukowej doktorantów NT Interdyscyplinarne zagadnienia w górnictwie i geologii, Szklarska Poręba 2008 r.

Akty prawne i patenty

Prawo geologiczne i górnicze – Ustawa z dnia 4 lutego 1994 – znowelizowana w 2001 r. – Dz. U. Nr 110 z 2001 r. Poz. 1190;

Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych z dnia 28 czerwca 2002 r. – Dz. U. Nr 1319 poz. 1169.

Borowiec W.: **Suwmiarka szybowa** –Urząd Patentowy Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej nr 128658, świadectwo autorskie nr 196643 z dnia 9 grudnia 1985 r

Jaśkowski W., Jóźwik M., Cynk W.: **System kontroli wychyleń od pionu lub poziomu inżynierskich obiektów budowlanych lub konstrukcyjnych**, Zgłoszenie patentowe nr P.360 320 z dnia 23/05/2003.

Jaśkowski W., Jóźwik M.: **Inklinometr szybowy**. Zgłoszenie patentowe nr P.381 685 z dnia 05/02/2007 r.