

WITOLD PRÓSZYŃSKI
Politechnika Warszawska

**O WKŁADZIE PROFESORA WOJCIECHA JANUSZA
W DOSKONALENIE METODYKI OPRACOWANIA WYNIKÓW
POMIARÓW I ANALIZ W GEODEZJI INŻYNIERYJNEJ**

W swej wieloletniej i bogatej działalności naukowej Profesor wniósł istotny wkład w rozwój geodezji inżynierskiej jako nauki i jako zawodu. Nie sposób jest w krótkim opracowaniu przedstawić całości Jego obszernego dorobku. Ograniczę się tutaj do kwestii opracowania wyników pomiaru i analiz, bliższej moim bezpośrednim zainteresowaniom badawczym. Nawet i przy takim zawężeniu tematu będę w stanie jedynie skrótowo zarysować kilka z ważniejszych, moim zdaniem, dokonań Profesora.

Jest oczywiste, iż osiągnięcia każdego badacza, a w szczególności badacza działającego w sferze szybko rozwijającej się techniki i technologii, należy oceniać z uwzględnieniem czasu ich dokonywania. Analizując odległe już w czasie wcześniejsze publikacje Profesora, można jednak śmiało przesunąć odniesienie czasowe tej oceny do chwili obecnej, gdyż tkwią w nich pierwiastki nowatorskie, które do dnia dzisiejszego nie straciły na swej aktualności.

Oto problematyka, z którą związane są ważniejsze osiągnięcia Profesora:

- opracowanie wyników pomiaru w geodezyjnych konstrukcjach inżynierskich zawierających strzałki jako elementy podlegające pomiarowi;
- zależność pomiędzy odchyłkami granicznymi realizacji a dokładnością tyczenia;
- dokładność pomiaru mającego na celu sprawdzenie spełnienia tolerancji wymiaru;
- ustalanie czasu trwania i częstotliwości okresowych pomiarów przemieszczeń;

- nawiązanie sieci z odrzuceniem bezbłędności punktów nawiązania;
- metody identyfikacji układu odniesienia w badaniu przemieszczeń;
- geodezyjna interpretacja wyników pomiarów przemieszczeń;
- wyznaczanie odchylek projektowych dla obiektów o kształcie walcowym.

Interesującym usprawnieniem technologicznym na potrzeby precyzyjnych pomiarów w galeriach i sztolniach zapór [2] oraz pomiarów torów podsuwnicowych [17] było swego czasu zastosowanie konstrukcji pomiarowej, w której pomiar kątów poziomych zastępowany był bądź wspomagany pomiarem długości strzałek, tj. odległości każdego z pośrednich punktów ciągu od pionowej płaszczyzny odniesienia przechodzącej przez dwa punkty sąsiednie tego ciągu. Profesor podał postać równania poprawki dla tej wielkości, co umożliwiało łączne wyrównanie wszystkich obserwacji wykonanych w takiej konstrukcji pomiarowej. Równanie to, zarówno w pierwotnej, jak i w nieco zmodyfikowanej postaci, włączone zostało do zbioru równań poprawek obserwacyjnych w programach komputerowych realizujących wyrównania i analizy sieci inżynierskich. Strzałka, nazywana też odchyleniem punktu od prostej, uzyskała zapis w ekstrakodzie obserwacji obejmującym praktycznie wszystkie stosowane bądź możliwe do zastosowania w pomiarach inżynierskich rodzaje obserwacji i pseudoobserwacji.

Wprowadzając do podręczników z zakresu geodezji inżynierskiej takie pojęcia, jak łańcuch wymiarowy, tolerancja, odchyłki graniczne wymiaru i położenia, składanie tolerancji [11], przybliżył Profesor geodetom inżynierskim specyfikę tolerowania wymiarów w budowie maszyn i urządzeń mechanicznych oraz w budownictwie. Rozważaniami swymi objął zarówno tolerancje specyfikowane w produkcji elementów, jak i tolerancje ustalane na potrzeby montażu obiektów. Zawdzięczamy Mu także sformułowanie zależności pomiędzy dokładnością prac geodezyjnych a wymaganiami dokładnościowymi odnoszonymi się do procesu realizacji obiektu bądź do badania przemieszczeń czy odkształceń obiektów funkcjonujących. Zależności te wprowadzone zostały do instrukcji technicznych z zakresu pomiarów realizacyjnych i pomiarów przemieszczeń.

W kontroli cech geometrycznych elementów maszyn bądź elementów budowlanych istotne jest sprawdzenie, czy dany wymiar spełnia wyspecyfikowane dlań tolerancje. Profesor sformułował zasadę ustalania niezbędnej dokładności pomiaru sprawdzającego, wprowadzając do rozważań aspekt natury probabilistycznej. Zgodnie z tą zasadą dokładność pomiaru sprawdzającego powinna być tak dobrana, aby z założonym, odpowiednio wysokim prawdopodobieństwem można było na podstawie otrzymanego wyniku stwierdzić, czy wymiar rzeczywisty mieści się w przedziale tolerancji, czy też nie. Wynikała stąd praktyczna reguła, iż błąd średni pomiaru

sprawdzającego powinien wynosić około $(0,1 \pm 0,2)\Delta$, gdzie Δ oznacza odchyłkę graniczną wymiaru przy założeniu tolerowania symetrycznego. Do chwili obecnej zależność ta jest wykorzystywana w praktyce. Profesor sformułował też zasady ustalania pożądanej dokładności pomiarów sprawdzających dla kontroli wymiarów w wylosowanych zespołach elementów, tworzących próbki statystyczne produkcji. Na podstawie wyprowadzonych przezeń wzorów można również określić pożądaną liczbę takich próbek. Cenne uzupełnienie stanowią podane przez Profesora metody statystycznej analizy wyników pomiarów sprawdzających, a w tym badania ich rozkładu prawdopodobieństwa.

Profesor miał też swój wkład w teorię nawiązań sieci. Struktury sieciowe rozwijane sukcesywnie w dostosowaniu do aktualnych potrzeb realizacji inwestycji były i pozostają nadal charakterystycznym dla zadań geodezji inżynierskiej sposobem zakładania osnów realizacyjnych. Już w latach 60. [4] Profesor dokonał analizy kilku metod nawiązania nowo zakładanych sieci inżynierskich, rozpatrując przy tym różne możliwe warianty ustalania zakresu informacji o dokładności punktów nawiązania. Przedstawiając nawiązanie, w którym wykorzystuje się pełny krakowian kowariancji współrzędnych punktów nawiązania, stanowiące najbardziej ogólny przypadek tzw. nawiązania z uwzględnieniem błędności punktów danych, wykazał – stosując formalny dowód – ścisłą równoważność tego sposobu nawiązania z wyrównaniem łącznym obserwacji w sieci, która posłużyła do wyznaczenia punktów nawiązania oraz obserwacji w sieci nowo zakładanej. Korzystając z dobrodziejstw aparatu matematycznego, można by dowód ten udoskonalić pod względem formalnym, ale bezsprzeczne jest to, iż jest on dowodem poprawnym. Wykorzystując pełną informację o dokładności punktów nawiązania, wzmiankowany wyżej ogólny przypadek nawiązania daje rzetelną ocenę dokładności skorygowanych wartości współrzędnych tych punktów. Jeśli idzie o niektóre zastosowania praktyczne, mankamentem jest tutaj potrzeba dokonywania zmian, z powodu nawiązania każdej nowej konstrukcji pomiarowej, w skatalogowanych już współrzędnych punktów osnowy istniejącej. W literaturze zagranicznej oraz krajowej pojawiły się propozycje rozwiązań tego problemu, w których wykorzystywana jest pełna informacja o dokładności punktów nawiązania, ale nie ulegają zmianie ich współrzędne. Będąc interesującymi propozycjami natury teoretycznej, rozwiązania te nie zasłużyły sobie jak dotąd na miano postępowań rutynowych i nie przyjęły się w praktyce. Tak więc poszukiwanie metod nawiązania sieci, dostosowanych do specyfiki pomiarów inżynierskich, zainicjowane przez Profesora w latach 60., pozostaje nadal problemem otwartym.

Interesujące są rozważania zawarte w opracowaniu [11], dotyczące zależności pomiędzy wymaganą dokładnością wyznaczenia przemieszczenia a dokładnością pomiaru okresowego, czasem trwania pomiaru i prędkością

osiadania kontrolowanego punktu obiektu. Wyprowadzony przez Profesora wzór pozwala między innymi na ustalenie maksymalnej długości czasu trwania każdego z pomiarów okresowych. Uzyskana tą drogą wartość może stanowić kryterium celowości zastosowania modelu kinematycznego sieci i związanej z tym modelem technologii pomiaru sieci kontrolnej. Stosując proste rozumowanie, formułuje Profesor także zasadę ustalania częstotliwości wykonywania pomiarów okresowych. Są to cenne wskazania natury metodologicznej, które z powodzeniem możemy stosować obecnie.

Wiele z prac Profesora poświęconych jest metodyce obliczania przemieszczeń (poziomych i pionowych), a w szczególności kluczowej fazie tego procesu, jaką jest identyfikacja wzajemnie nie przemieszczonych punktów odniesienia ([1], [3], [13], [14], [15], [16]). Interesująca jest koncepcja identyfikacji dla sieci poziomych z pomierzonymi kątami, kierunkami, długościami i azymutami przedstawiona w pracy [14], stanowiąca rozwinięcie wcześniejszej propozycji Profesora ([1], [3]). Sformułowane w niej zostały kryteria wzajemnej stałości punktów odniesienia bazujące na parametrach kształtu, skali i orientacji figur utworzonych przez określone podzbiory tych punktów. Dobór kryteriów stałości uzależniony został od rodzaju obserwacji wykonywanych w danej sieci kontrolnej. Uwzględniono przy tym dwie podstawowe opcje opracowania wyników pomiarów, tj. metodę różnicową i metodę różnic współrzędnych. W omawianym tu opracowaniu [14] skonfrontował Profesor swoje podejście z wynikami międzynarodowej akcji testowania metod obliczania przemieszczeń (a w tym – metod identyfikacji stałości punktów odniesienia) zawartymi w raporcie z działalności specjalnego komitetu *ad hoc* Grupy Roboczej C Komisji 6 FIG przedstawionym na XVI Kongresie w Montreux (Szwajcaria) w 1981 roku. Przyznając słuszość zaleceni stosowania różnych metod identyfikacji dla tego samego materiału obserwacyjnego, Profesor podkreślił niezbędność zachowania przy tym pełnej niezależności poszczególnych postępowań. Dysponując wynikami pomiaru w jednej z sieci testowych przyjętych przez ww. komitet *ad hoc* i stosując własną metodę identyfikacji punktów stałych i obliczania przemieszczeń [14], przeprowadził wnikliwą analizę przemieszczeń i deformacji płyt tektonicznych opisaną w publikacji [15].

Wkładem Profesora w doskonalenie metod obliczania przemieszczeń pionowych jest niewątpliwie skonstruowanie modelu wyrównawczego, pozwalającego na wykrycie i oszacowanie zniekształcenia skali precyzyjnych łąk inwarowych [13], a zarazem ograniczenie jego zaburzającego wpływu na wyznaczone wielkości przemieszczeń.

Profesor zaproponował rozróżnienie interpretacji geodezyjnej (zwanej też interpretacją geometryczną) wyników pomiarów przemieszczeń, wykonywanej przez geodetę, od interpretacji branżowej leżącej w kompetencji inżyniera odpowiedzialnego za bezpieczne funkcjonowanie obiektu. W zakres

tej pierwszej wchodzi takie przekształcenia materiału obserwacyjnego i analizy, które dotyczą cech geometrycznych obiektu, tj. położenia, wymiarów i kształtu. Jako podstawowe można tu wymienić:

- wyznaczenie parametrów przemieszczenia obiektu traktowanego jako bryła sztywne;
- wyznaczanie odchylek od modelu bryły sztywnej, interpretowanych jako przemieszczenia wynikłe z odkształceń obiektu.

Podstawy teoretyczne obliczania przemieszczeń bryły budowli oraz jej deformacji na podstawie pionowych i poziomych przemieszczeń punktów kontrolowanych obiektu przedstawione są w pracy [9]. Zawężenie tego zagadnienia do przemieszczeń pionowych można znaleźć w pracy [10]. Przy spełnieniu wymogu, iż podstawowe założenia do realizacji tych wyznaczeń są formułowane przez specjalistę odpowiedzialnego za bezpieczeństwo obiektu bądź przez geodetę inżynierskiego ale w uzgodnieniu z tym specjalistą, wyniki wyznaczeń mogą stanowić cenne dane na potrzeby interpretacji branżowej.

Do interpretacji geodezyjnej zaliczał Profesor generalizację wyników pomiarów przemieszczeń, mającą na celu dostarczenie informacji nie tylko o przemieszczeniach w punktach kontrolowanych obiektu, ale także w punktach pośrednich. Rozróżniał przy tym jej formę prostą i złożoną. Forma prosta polegała na graficznym opracowaniu wyników pomiaru przemieszczeń punktów kontrolowanych bez wydzielania przemieszczeń badanego obiektu od jego odkształceń. Forma złożona [8], umożliwiająca bardziej szczegółową ocenę stanu geometrycznego badanego obiektu, polegała na analitycznym opracowaniu wyników pomiaru przemieszczeń punktów kontrolowanych obejmującym obydwie wymienione rodzaje wyznaczeń i zaprezentowaniu ich rezultatów w postaci ułatwiającej dokonywanie interpretacji branżowej. Chociaż w szczegółowych procedurach analizy zastosowanych w podejściu Profesora można znaleźć pewne elementy dyskusyjne, cechująca go filozofia dostosowywania zakresu i metod interpretacji geodezyjnej do specyfiki interpretacji branżowej wytycza jeden z ważnych kierunków rozwoju geodezyjnych pomiarów przemieszczeń i powinna być stosowana w dalszych pracach badawczych.

Również w zakresie wyznaczania odchylek projektowych zaprezentował Profesor interesujące podejście. Badając ustawienie prowadnic zewnętrznych walcowego zbiornika na gaz w charakterystycznych przekrojach poziomych [5], skonstruował algorytm wyrównawczy do wyznaczania rzeczywistych parametrów każdego z przekrojów (tj. współrzędnych X, Y środka okręgu oraz promienia R), jak również odchyłek usytuowania kontrolowanych punktów obiektu.

Na zakończenie tego opisu zasygnalizuję jeszcze tylko dokonanie Profesora polegające na przekształceniu wzorów transformacyjnych (transformacja 4-parametrowa na płaszczyźnie), stosowanych powszechnie w geodezyjnych pomiarach przemieszczeń, do postaci, w której zachowywana jest skala [12]. Profesor pokazał zastosowanie wyprowadzonych przez siebie wzorów w procesie identyfikacji stałych punktów odniesienia oraz w wyznaczaniu odchylek projektowych.

Swymi dotychczasowymi dokonaniem Profesor zapisał swoje imię na karcie historii rozwoju geodezji inżynierskiej. Wiele z Jego prac, odsłaniając sfery tegoż działu geodezji wymagające dalszych badań, było inspiracją dla innych badaczy i zaowocowało w ich naukowych publikacjach. Wiele zaproponowanych przezeń rozwiązań i metod postępowania nie straciło do dziś swej aktualności.

Sam osobiście śledziłem z uwagą dokonania Profesora, próbując od pewnego czasu własnych sił na polu nauki. Prace Profesora miały niewątpliwie wpływ na kształtowanie się mojego spojrzenia na geodezję inżynierską. Jego krytyczne, ale życzliwe recenzje torowały mi drogę do kolejnych awansów na uczelni.

Patrząc z czysto teoretycznego punktu widzenia można powiedzieć, iż Profesor wniósł istotny wkład w konstrukcję algorytmów wyrównawczych bazujących na metodzie najmniejszych kwadratów, a ukierunkowanych na potrzeby geodezyjnych pomiarów inżynierskich, formułowanie kryteriów dokładnościowych i proceduralnych, a co jest może przy tym najważniejsze – w kształtowanie filozofii zawodu.

W mojej opinii dotychczasowy dorobek naukowy Profesora pozwala uważać Go za niekwestionowany autorytet naukowy w zakresie geodezji inżynierskiej godnego kontynuatora polskiej szkoły geodezyjnych pomiarów przemieszczeń stworzonej przez profesorów Lazzariniego i Płatka.

W dalszym ciągu Profesor zaangażowany jest w prace badawcze z zakresu analiz wyników pomiarów przemieszczeń. Jestem przekonany, iż rezultatami tych prac będą następne wartościowe dokonania wzbogacające metodykę opracowania obserwacji i analiz w geodezji inżynierskiej.

Kończąc tę krótką wypowiedź, pragnę w imieniu pracowników kierowanego przeze mnie Zakładu Geodezji Inżynierskiej oraz swoim własnym przekazać czcigodnemu Jubilatowi życzenia zdrowia, wszelkiej pomyślności i dalszych sukcesów w pracy badawczej.

Publikacje Profesora wykorzystane w niniejszym artykule

- [1] *Zagadnienie identyfikacji p-tów stałych w sieciach kontrolnych.* Prace IGiK 1962 z. 1 (19).
- [2] *Zagadnienie automatycznego wyznaczania odkształceń budowli przy pomocy modelu konstrukcji geodezyjnej w postaci stałej instalacji zespołu urządzeń pomiarowych.* Prace IGiK 1964 tom XI z. 2 (24).
- [3] *Sposoby obliczania poziomych przemieszczeń punktów sieci geodezyjnych w zależności od rodzaju dokonywanych okresowo obserwacji.* Prz. Geod. 1964 nr 2.
- [4] *Wpływ nawiązania sieci geodezyjnej na wyniki wyrównania i oceny dokładności.* Prace IGiK 1965 tom XII z. 3 (27).
- [5] *Pomiar odkształceń zbiornika gazu.* Prz. Geod. 1966 nr 2.
- [6] *Określenie podstawowych zależności między tolerancjami w budownictwie a dokładnościami prac geodezyjnych.* Prace IGiK 1968 tom XV z. 2 (35).
- [7] *Wstęp do generalizacji wyników pomiarów odchylek projektowych i odkształceń urządzeń technicznych.* Prace IGiK 1968 tom XV z. 2 (35).
- [8] *Metoda generalizacji złożonej wyników pomiarów przemieszczeń i odchylek usytuowania punktów.* Prace IGiK 1968 tom XV z. 3 (36).
- [9] *Geodezyjna interpretacja wyników pomiarów przemieszczeń.* Prace IGiK 1969 tom XVI z. 2 (38).
- [10] *Geometryczna interpretacja wyników pomiarów osiadań budynków.* Biuletyn Geoprojektu 1974.
- [11] *Obsługa geodezyjna budowli i konstrukcji.* Warszawa PPWK 1975.
- [12] *Transformacja współrzędnych bez zniekształceń.* Prz. Geod. 1976 nr 4.
- [13] *Zniekształcenie skali w niwelacyjnych sieciach kontrolnych – sposób ograniczenia ich wpływu.* Prz. Geod. 1980 nr 4.
- [14] *Obliczanie poziomych przemieszczeń punktów sieci kontrolnych.* Prace IGiK 1983 z. 1.
- [15] *Przemieszczenia poziome w sieci Near Hollister (Kalifornia) w świetle analiz przeprowadzonych metodą WJ.* Prace IGiK 1985 z. 1–2.
- [16] *Problem identyfikacji stałego poziomu odniesienia w kontrolnych sieciach niwelacyjnych.* Prz. Geod. 1986 nr 9–10 1987 nr 1.
- [17] *Tyczenie i pomiary kontrolne torów suwnicowych.* W: Geodezja Inżynierska tom II rozdz. 8 Warszawa – Wrocław PPWK 1994.

WITOLD PRÓSZYŃSKI

O WKŁADZIE PROFESORA WOJCIECHA JANUSZA
W DOSKONALENIE METODYKI OPRACOWANIA WYNIKÓW
POMIARÓW I ANALIZ W GEODEZJI INŻYNIERYJNEJ

S t r e s z c z e n i e

Autor wyróżnia następującą problematykę, z którą związane są ważniejsze osiągnięcia prof. Wojciecha Janusza:

- opracowanie wyników pomiaru w geodezyjnych konstrukcjach inżynierskich zawierających strzałki jako elementy podlegające pomiarowi;
- zależność pomiędzy odchyleniami granicznymi realizacji a dokładnością tyczenia;
- dokładność pomiaru mającego na celu sprawdzenie spełnienia tolerancji wymiaru;
- ustalanie czasu trwania i częstotliwości okresowych pomiarów przemieszczeń;
- nawiązanie sieci z odrzuceniem bezbłędności punktów nawiązania;
- metody identyfikacji układu odniesienia w badaniu przemieszczeń;
- geodezyjna interpretacja wyników pomiarów przemieszczeń;
- wyznaczanie odchyłek projektowych dla obiektów o kształcie walcowym.

W pracy opisane są zasady i rozwiązania techniczne nowatorskich osiągnięć metodycznych prof. Janusza. W konkluzji artykułu Autor podkreśla znaczenie tych osiągnięć dla teorii i praktyki geodezji inżynierskiej.

WITOLD PRÓSZYŃSKI

CONTRIBUTION OF PROF. WOJCIECH JANUSZ TO IMPROVEMENT
OF METHODS OF HANDLING MEASUREMENT RESULTS AND
ANALYSES IN ENGINEERING GEODESY

A b s t r a c t

Author describes the following problems, which were the subjects of studies and achievements of Prof. Wojciech Janusz:

- handling of measurement results in engineering constructions, which include sags as elements to be measured;

- relationship between boundary deviations in constructing and precision of ranging;
- accuracy of measurement aimed at verification of fulfilling size tolerance;
- determination of duration and frequency of periodic measurements of displacements;
- network connection with rejection of term of non-erroneous fixing points;
- methods of identification of reference system in displacement studies;
- geodetic interpretation of displacement measurement results;
- determination of planned deviations for objects with cylindrical shape.

Principles and technical solutions of innovative methodical achievements of Prof. Janusz are described in the work. Author emphasizes importance of these achievements for theory and practice of engineering geodesy.

Translation: Zbigniew Bochenek

ВИТОЛЬД ПРУШИНЬСКИ

О ВКЛАДЕ ПРОФЕССОРА ВОЙЦЕХА ЯНУША В
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ
ИЗМЕРЕНИЙ И АНАЛИЗОВ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ

Р е з ю м е

Автор выделяет следующую проблематику, с которой связаны важнейшие достижения проф. Войцеха Януша:

- обработка результатов измерений в геодезических инженерных конструкциях, содержащих стрелы как элементы подвергающиеся измерению;
- зависимость между предельными отклонениями реализации и точностью разбивки;
- точность измерения, имеющего целью проверку исполнения допуска измерения;
- установление время длительности и частоты периодических измерений сдвигов;
- увязка сети с отбросом безошибочности пунктов увязки;
- методы идентификации системы отнесения при исследовании сдвигов;

- геодезическая интерпретация результатов измерения сдвигов;
- определение проектных отклонений для объектов цилиндрической формы.

В работе описаны принципы и технические решения новаторских методических достижений проф. Януша. В заключении статьи автор подчёркивает значение этих достижений для теории и практики инженерной геодезии.

Перевод: Роза Толстикова