

Geodezyjne osnowy realizacyjne i pomiary w morskim pasie brzegowym

Dr hab. inż. Zygmunt Kurałowicz, prof. nadzw. PG¹, Eugeniusz Lepacki², Krzysztof Jończyk²

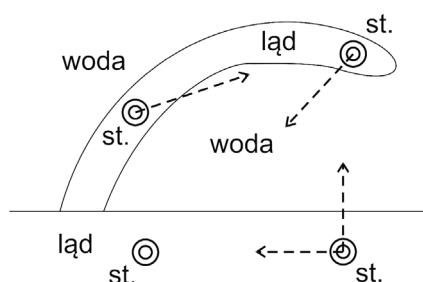
¹Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

²Kompleksowe Usługi Geodezyjne, Firma Usługowo-Handlowa DIAZ, Gdańsk

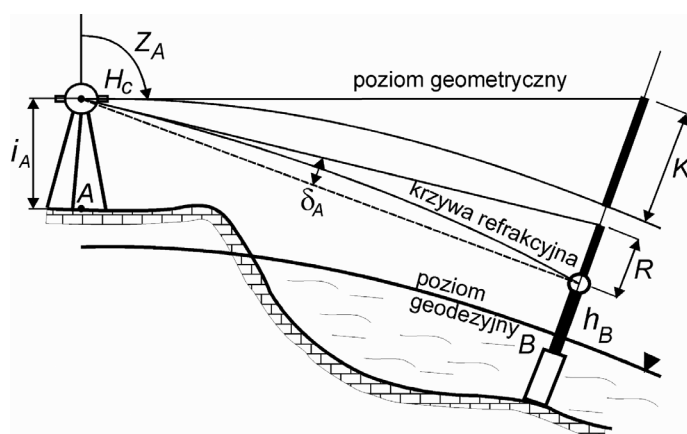
Współcześnie stosowane w budownictwie nowoczesne technologie pomiarowe, w tym geodezyjne, umożliwiają wykonywać obserwacje w typowych i nietypowych warunkach środowiskowych z zachowaniem wysokich dokładności [3, 6, 7]. Do nietypowych warunków obserwacji, i jednocześnie trudnych, należy zaliczyć pomiary w morskim pasie brzegowym podczas budowy lub rozbudowy portu oraz w czasie budowy albo remontu okrętów w stoczniach. Pomiary są prowadzone zarówno z lądu w kierunku dużego akwenu wodnego, jak i z wody w kierunku lądu, a także na obu obszarach niezależnie (rys. 1).

Wpływ w czasie realizacji inwestycji w morskim pasie brzegowym w obserwacjach geodezyjnych ma długość celowych, wizura oraz refrakcja i krzywizna Ziemi [1, 2, 3, 4, 8, 10].

Natomiast nietypowe warunki do prowadzenia prac geodezyjnych na terenie stoczni wynikają ze specyfiki budowy oraz skumulowania w jednym czasie szeregu robót budowlano-montażowych [5, 9].



Rys. 1. Schemat kierunków pomiarów w pasie brzegowym obejmującym część lądową i część morskiej strefy brzegowej



S – sumaryczny wpływ kulistości Ziemi K oraz refrakcji pionowej R

$$S = -(K + R)$$

H_B – wysokość repera B na słupie betonowym w strefie brzegowej morza

$$H_B = (H_A + i_A) + \text{ctg } Z_A - (K + R) - h_B$$

i_A – wysokość instrumentu

H_A – wysokość repera A na lądzie

Rys. 2. Schemat pomiaru z lądu w kierunku obiektu na wodzie z uwidocznionym wpływem refrakcji oraz kulistości Ziemi

Punkty osnów realizacyjnych najczęściej są zastabilizowane na lądzie oraz na słupach betonowych lub palach na wodzie (rys. 2) i następnie zagęszczane na wznoszonym obiekcie hydrotechnicznym, np. na falochronie albo na nabrzeżu. Inaczej postępuje się w przypadku prac na terenie stoczni.

OSNOWY GEODEZYJNE NA POTRZEBY BUDOWY OBIEKTÓW PORTOWYCH

Obecnie, zastosowanie sprzętu geodezyjnego najnowszej generacji oraz nowoczesnego sprzętu pływającego do budowy różnych budowli hydrotechnicznych, w tym szczególnie do wykonywania części podwodnej tych budowli, między innymi fundamentów, diametralnie zmieniły podejście do części prac geodezyjnych w pasie brzegowym. Zmiany te dotyczą zarówno projektowania i zakładania osnów, tyczenia, pomiarów kontrolnych, inwentaryzacyjnych oraz powykonawczych danej inwestycji. Jednocześnie należy zaznaczyć, że pomimo bardzo dużego postępu w technologii robót hydrotechnicznych, używania sprzętu z bogatym wyposażeniem nawigacyjnym i oprzyrządowaniem, prace geodezyjne nadal pozostają nieodłącznym elementem całego procesu inwestycyjnego. Są one prowadzone z wymaganymi dokładnościami i z zachowaniem podstawowych zasad pomiarów geodezyjnych. Przykładem są zawarte w artykule zwięzłe opisy pomiarów na wybranych obiektach portowych oraz w stoczni.

OSNOWA REALIZACYJNA I UWARUNKOWANIA BUDOWY OBIEKTU WIELKOPOWIERZCHNIOWEGO

Granice inwestycji portowej obejmowały część Zatoki Gdańskiej oraz budowle przeznaczone do wyburzenia na lądzie. Inwestycja obejmowała budowę dużych placów składowych i nabrzeży z infrastrukturą. Przewidziano, że roboty budowlane będą prowadzone równocześnie na całej powierzchni lądowej do końca budowy. Ze względu na duży obszar inwestycji oraz planowane roboty ziemne związane z wyrównaniem terenu, wymianą gruntów oraz ich wzmocnieniem metodą zagęszczania dynamicznego i palowaniem, nie było możliwości zlokalizowania punktów osnowy w granicach przyszłego obiektu. Osnowę realizacyjną założono na potrzeby budowy obiektu portowego na terenach nadmorskich częściowo zadrzewionych i zakrzewionych o powierzchni około 26 ha. Punkty osnowy zlokalizowano poza granicami obszaru wielkopowierzchniowej głównej inwestycji.

Punkty osnowy zaprojektowano na budowach sąsiadujących z budowanym obiektem: na silosach żelbetowych, hali, wieży i masztach oświetleniowych wzdłuż nieodległej ulicy (rys. 3). Ze względu na małą liczbę obiektów wysokich oraz na duże odległości od „środka ciężkości” budowy zastabilizowane punkty znajdowały się na małej wysokości nad horyzontem.



b)
Szkic lokalizacji punktów osnowy realizacyjnej
skala 1:5000



Rys. 3. Rozmieszczenie punktów osnowy realizacyjnej wokół obszaru inwestycji: na mapie GOOGLE (a) oraz szkic lokalizacji punktów (b)
(opracowanie firmy U-H DIAZ)

W celu zapewnienia wizur wiele punktów założono we wszystkich możliwych kierunkach, aby ominąć sztuczne przesłony wywołane między innymi pracującym sprzętem budowlanym oraz składowanymi materiałami. Ostatecznie zamontowano 58 punktów w postaci folii dalmierzowych o wymiarach 6×6 cm oraz 12×12 cm pełniących rolę osnowy dwufunkcyjnej.

NAWIĄZANIE SIECI DO OSNOWY PAŃSTWOWEJ

Pomiary osnowy realizacyjnej wykonano tachimetrem Leica TS15 1" w oparciu o punkty osnowy geodezyjnej III klasy o numerze 1655, 1654, 1653. Za punkt centralny przyjęto punkt nr 1654, a punkty o numerach 1655 i 1653 traktowano jako punkty kierunkowe. Na liniach sieci: 1655-1654 i 1654-1653 wytyczono punkty B1 i B2, które zamarkowano w terenie za pomocą pali drewnianych z centralnie wbitym znakiem metalowym. Punkt osnowy nr 1654 oraz punkty B1 i B2 posłużyły za stanowiska do pomiaru osnowy realizacyjnej. Założono również dodatkowe stanowiska pomiaru tachimetrycznego – ST1, ST4 oraz tymczasowe punkty pomocnicze ST2, ST3, ST5, ST6, ST7 (w postaci palików, a po wylaniu płyty za pomocą gwoździ geodezyjnych) zlokalizowane na obszarze przyszłej budowy (w celu wykonania dodatkowych obserwacji wiążących sieć).

Osnowę realizacyjną wyrównano w programie Ce-Geo V8, przyjmując za nawiązanie punkt osnowy nr 1654 oraz 2 punkty kierunkowe B1 i B2 znajdujące się na liniach pomiędzy punktami osnowy III klasy 1655-1654-1653 (rys. 3). Przy 344 obserwacjach nadliczbowych otrzymano błąd średni jednostkowy $m_o = 1,15728$. W celu uniknięcia zniekształceń wynikających z przyjęcia układu odniesienia PL2000 w obliczeniach przyjęto współczynnik skali równy 1.

Wysokości przeniesiono za pomocą niwelatora precyzyjnego i łąt inwarowych z punktów wysokościowej osnowy geodezyjnej nr 1030 i 1029, zlokalizowanych w odległości około 3 km. Niwelację wykonano w dwóch kierunkach. Wysokości przeniesiono na repery robocze, w tym na punkty RP8 i RP14 (zamontowane w krawężniku ulicznym i w oczepie żelbetowym masztu oświetleniowego), które włączono do wyrównania ścisłego.

DŁUGOŚCI CELOWYCH I UZYSKANE DOKŁADNOŚCI OSNOWY REALIZACYJNEJ

Zaprojektowana konstrukcja sieci oraz wykorzystanie sprzętu pomiarowego o dużej dokładności pozwoliło na uzyskanie średnich błędów położenia punktów po wyrównaniu na poziomie od 1 do 4 mm. Biorąc pod uwagę charakterystykę obszaru oraz konieczność stosowania długich celowych (średnio około 400 m), uzyskane wyniki oceniono za zadowalające. Wcięcia kątowno-liniowe pozwalały na uzyskiwanie dokładności wyznaczenia stanowiska na poziomie 1 mm przy granicach budowy oraz maksymalnie $2 \div 3$ mm w miejscach najbardziej oddalonych od punktów osnowy (w umownym środku budowy oraz na granicy z akwenem wodnym).

Osnowę wysokościową założono prowadząc niwelację precyzyjną o długości celowej $20 \div 25$ m. Uzyskane dokładności wystarczały do wytyczenia i inwentaryzacji wszystkich budowanych obiektów kubaturowych i liniowych.

OSNOWA POMIAROWA PODCZAS BUDOWY INSTALACJI I RUROCIĄGU PRZESYŁOWEGO DO TANKOWANIA STATKÓW

Opisaną osnowę założono przy budowie instalacji technicznej i rurociągu przesyłowego o długości około 20 km do tankowania statków. Inwestycja przebiegała przez tereny o różnym charakterze urbanistycznym, między innymi: tereny leśne, polne, miejskie oraz tereny portowe, i była realizowana w kilku miejscach jednocześnie.

W trakcie obsługi geodezyjnej inwestycji w głównej mierze korzystano z techniki GPS. Pomiary GPS realizowano na terenach rolnych, miejskich i portowych.

Natomiast odcinki, na których nie było możliwości zastosowania techniki satelitarnej założono osnowę realizacyjną sytuacyjną dowiązaną do punktów państwowej poziomej osnowy szczegółowej III klasy. Osnowę tę założono poza obszarem inwestycji i pasem ochronnym, w którym zlokalizowano inwestycję.

Obserwacje na punktach tej osnowy poddano wyrównaniu ścisłemu, przyjmując za punkty nawiązania osnowę szczegółową III klasy. Punkty osnowy zastabilizowano odpowiednio do warunków terenowych i podłoża oraz wymagań dokładnościowych. Z założonej osnowy realizacyjnej korzystano głównie na terenach leśnych, miejskich i portowych.

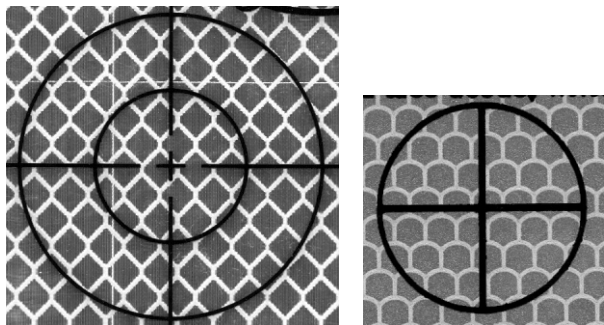
Punkty osnowy realizacyjnej spełniały również funkcję reperów roboczych, ponieważ wykonano dla nich pomiar wysokościowy w dowiązaniu do punktów pionowej osnowy szczegółowej III klasy.

OSNOWY GEODEZYJNE I POMIARY W STOCZNI

W stoczni są wykonywane trzy zasadnicze rodzaje pomiarów. Pierwszy z nich obejmuje pomiary na jednostkach / obiektach znajdujących się na wodzie lub w pływających dokach. Cechą dominującą jest to, że w obu sytuacjach w instrumentach podczas pomiarów muszą być wyłączone kompensatory. Jeżeli pomiary będą miały na celu pokazanie zależności i powiązań różnych elementów statku ze sobą, to powinny być spełnione następujące warunki:

- przyjęta płaszczyzna pozioma powinna być optymalnie wpasowana w pokład statku, a stan taki realizuje się, ustalając średnią wysokość tego pokładu, zaś przyjęta jej wartość musi być zgodna z teoretyczną wysokością tego pokładu;
- jedna z osi OX, OY musi być równoległa do PS (osi statku) i może być przesunięta w lewo od PS, poza lewą burtę o daną wartość w celu uniknięcia ujemnych współrzędnych;
- osie OX i OY są skierowane odpowiednio w stronę dziobu statku i na prawą burtę;
- jeżeli na statku jest założony układ współrzędnych, to należy go przyjąć, zbadać jego dokładności i w razie potrzeby wyrównać oraz zagęścić liczbę punktów.

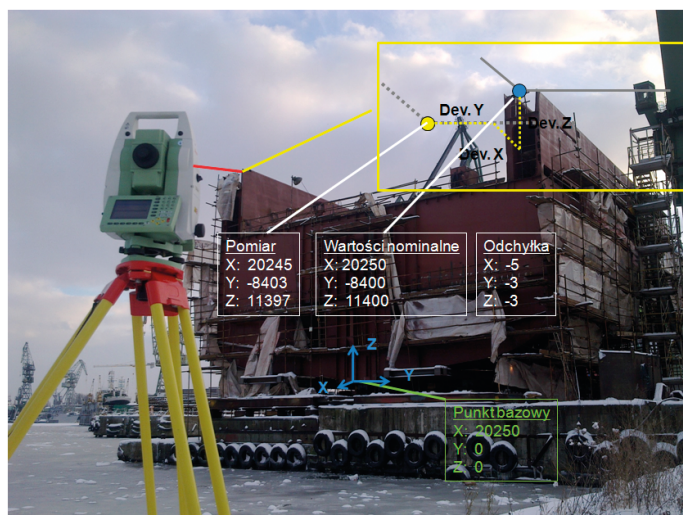
Drugi rodzaj pomiarów również odbywa się na jednostkach pływających przy wyłączonych kompensatorach bez potrzeby



Rys. 4. Tarczki foliowe (tzw. znaczki celownicze) stosowane jako punkty pomiarowe podczas budowy kadłubów statków



Rys. 6. Prace przygotowawcze do pomiarów geodezyjnych na pokładzie budowanej konstrukcji (fot. Firma U-H DIAZ)



Rys. 5. Osnowa i pomiary kadłuba montowanego statku (fot. B. Jabłoński)

zakładania osnowy. Osnowa służy do pozyskiwania wyników pomiarów w jednolitym układzie współrzędnych. Wykonując pomiary dowolnego elementu, który rozpatrujemy oddzielnie od jednostki, najlepiej jest wykonać z jednego stanowiska bez potrzeby powiązania ze sobą stanowisk. Jeżeli jednak konieczny jest pomiar z kilku stanowisk (np. ze względu na brak wizury), z pierwszego stanowiska należy założyć kilka punktów osnowy (lokalnie – dowolnie), które posłużą do powiązania następnych stanowisk tachymetrycznych ze sobą. Założona osnowa lokalna może być wykorzystana do porównania mierzonego elementu po kilku dniach, na przykład po korekcie jego wymiarów, gdy wcześniej nie spełniał norm.

Natomiast trzeci rodzaj pomiarów dotyczy pomiarów elementów na nabrzeżach i w halach. Podczas tych pomiarów możemy mieć w instrumentach włączone kompensatory.

Celem pomiaru mogą być:

- sprawdzenie płaskości elementu,
- sprawdzenie wymiarów elementu,
- założenie punktów referencyjnych na elemencie, który będzie zamontowany na statku w założonym wcześniej układzie współrzędnych (rys. 5).

Zakładanie osnowy pomiarowej na statku lub doku musi spełniać następujące warunki (rys. 6):

- statek lub dok pływający musi być w tak zwanym zerowym wybalastowaniu,

- prace pomiarowe muszą odbywać się w pochmurny dzień, ewentualnie we wczesnoporannych godzinach, gdy słońce jeszcze nie nagrzało konstrukcji statku,
- przy długich celowych powinna być wprowadzona poprawka parametrów komparacji względem temperatury 20°C,
- serie pomiarowe powinny być wykonywane w jak najkrótszym czasie, gdyż występuje deformacja konstrukcji statku w czasie.

Ze względu na to, że większość konstrukcji i obiektów pływających w stoczni jest budowanych ze stali, w trakcie pomiarów są stosowane różne praktyczne metody znakowania punktów osnowy. Obecnie markowanie punktów osnowy odbywa się w postaci naklejonych folii dalmierczych – znaczków celowniczych (tarczki foliowych) z nabitym punktem za pomocą punktaka w centrum naklejonego znaczka (rys. 4). Ponieważ podczas procesu produkcyjnego – budowy lub remontu statku – często występuje zniszczenie naklejonego znaczka celowniczego, na przykład podczas piaskowania bądź malowania, to ślad wybity poprzez folię w stali pozostaje widoczny nawet po malowaniu i pozwala na ewentualne powtórzenie pomiaru do tych samych punktów na elemencie.

Pomiary wykonywane na statkach ze względu na ciągłe zmiany kształtu statku powinny być wykonywane w nawiązaniu do najbliższych punktów osnowy pomiarowej. Im punkt jest bardziej oddalony od miejsca wykonywania pomiarów, tym bardziej jest narażony, że jego pozycja uległa odkształceniu w wyniku wystąpienia dodatkowych naprężeń w elemencie wywołanych działaniem sił zewnętrznych – czynników środowiskowych.

PODSUMOWANIE

Nabyte doświadczenia i wykonywane pomiary geodezyjne na terenach portowych i w stoczni pozwalają sformułować następujące wnioski:

A)

- zaprojektowana konstrukcja sieci oraz wykorzystanie sprzętu pomiarowego o dużej dokładności pozwoliło na uzyskanie średnich błędów położenia punktów po wyrównaniu na poziomie od 1 do 4 mm;
- biorąc pod uwagę charakterystykę obszaru w strefie brzegowej oraz konieczność stosowania długich celowych, od 400 do 500 m, uzyskane wyniki oceniono za zadowalające;
- stosowanie metody wcięcia kątowo-liniowego pozwoliło uzyskiwać dokładności wyznaczenia stanowiska pomiarowego na poziomie 1 mm przy granicach budowy oraz maksymalnie $2 \div 3$ mm w miejscach najbardziej oddalonych od punktów osnowy („środek ciężkości” budowy oraz granica z akwenem wodnym);
- uzyskane dokładności wyznaczenia stanowisk wystarczały do wytyczenia i inwentaryzacji wszystkich budowanych obiektów nowego portu;

B)

- pomiary wykonywane podczas budowy statku ze względu na ciągłe zmiany kształtu obiektu wskutek deformacji były wykonywane w nawiązaniu do najbliższych punktów osnowy pomiarowej;
- punkt osnowy bardziej oddalony od miejsca wykonywania pomiarów był bardziej narażony na to, że jego pozycja uległa odkształceniu w wyniku wystąpienia dodatko-

wych naprężeń w elemencie wywołanych działaniem sił zewnętrznych – czynników środowiskowych (w szczególności temperatury, insolacji oraz wiatru);

C)

- współcześnie stosowane technologie pomiarowe umożliwiają wykonywać obserwacje w morskim pasie brzegowym i stoczni w nietypowych warunkach środowiskowych z zachowaniem wysokich dokładności wytyczenia elementów wznoszonych budowli oraz budowanych statków.

LITERATURA

1. Bryś H.: Geometria refrakcji aliniometrycznej ze strefowym oddziaływaniem pól temperatury. IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy automatyzacji w geodezji inżynierskiej”. Warszawa 1999.
2. Bryś H.: Refraktionsmodelle in der hochpräzisen Ingeniervermessung – Anwendungen in der industriellen Messtechnik. VDV_Geodasie und Geoinformation MAGAZIN, 1/2017, 30-35.
3. Daliga K.: Analiza wybranych niepewności i błędów pomiarowych występujących podczas pomiarów tachimetrami elektrooptycznymi stosowanymi w budownictwie. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 2/2013.
4. Grabowski R., Kobryń A.: Określanie parametrów krzywych refrakcyjnych przy pomiarze przemieszczeń pionowych metodą niwelacji trygonometrycznej. IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy automatyzacji w geodezji inżynierskiej”, Warszawa 1999.
5. Kozak J.: Pomiary w procesie budowy kadłuba statku. Wyd. PG. Gdańsk 2016.
6. Kurałowicz Z., Szczechowski B.: Możliwość zastosowania nowoczesnych technologii geodezyjnych w budownictwie. Sesja Jubileuszowa 60-lecia Katedry Geodezji Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2005.
7. Kurałowicz Z., Żurowski A.: Zastosowanie geodezyjnych metod badawczych w budownictwie. Inżynieria i Budownictwo, nr 12/1999.
8. Schaefer B. E., Liller W.: Refraction near the horizon. Publication of the Astronomical Society of Pacific, vol. 102(1990), 796-805.
9. Żurowski A., Dunikowski R., Chmielecki M., Kmiecik J.: Geodezyjne pomiary kontrolne torów spustowych pochylni i wyciągów. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 5/1995.
10. Żurowski A.: Pomiary geodezyjne w budownictwie morskim. Wyd. Mor. Gdańsk 1980.