

Możliwości i efekty stosowania tachimetrów elektronicznych do zakładania osnów realizacyjnych dla specjalnych celów

Edward Preweda, Stanisław Latoś

*Katedra Informacji o Terenie, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie*

Streszczenie

W pracy przedstawiono efekty techniczne i możliwości stosowania tachimetrów elektronicznych wysokiej dokładności do zakładania osnów realizacyjnych dla geodezyjnej obsługi obiektów specjalnych, wymagających dużej precyzji tyczenia ich elementów. Omówiono rezultaty poszukiwania optymalnej konstrukcji i technologii zakładania osnów realizacyjnych dla budowy kolejki gondolowej na Jaworzynę Krynicką w Krynicy oraz montażu hali przemysłowej w Tychach, w aspekcie możliwości stosowania przy ich zakładaniu wspomnianych tachimetrów. W obu przypadkach zaprojektowano niekonwencjonalny sposób rozwiązania tych osnów, dostosowany do specyficznych warunków budowanych obiektów i warunków terenowych ich realizacji. Rezultaty osnów założonych według tych projektów okazały się w pełni zadawalające pod względem dokładnościowym i ekonomicznym. Wskazały one na duże zalety i możliwości techniczne oraz ekonomiczne stosowania do zakładania takich osnów tachimetrów elektronicznych.

1. Uwagi wstępne

Realizacja każdej inwestycji wymaga założenia w terenie odpowiedniej geodezyjnej osnowy realizacyjnej. Osnowa ta powinna pozwolić na wyznaczenie przestrzennego położenia elementów konstrukcyjnych projektowanej budowli w sposób optymalny i co najważniejsze – z wymaganą dokładnością. Dokładność ta zależy od określonych tolerancji montażu obiektu oraz technologii realizacji osnowy geodezyjnej.

Pod pojęciem „sposób optymalny” rozumieć należy:

- wybór i dostosowanie kształtu geometrycznego osnowy zarówno do charakteru i konstrukcji realizowanej budowli jak i warunków terenowych w jakich jest ona realizowana,
- wybór najlepszej technologii realizacji samej osnowy, zapewniającej łatwość wykonywania pomiaru jej elementów z precyzją zapewniającą wyznaczenie położenia punktów osnowy z wymaganą dokładnością,
- dostosowanie konstrukcji osnowy do łatwej obsługi geodezyjnej realizowanych z niej elementów budowanego obiektu.

W projektowaniu budowli i urządzeń pojawiają się coraz to nowsze rozwiązania konstrukcyjne i technologie ich realizacji, które wymagają tyczenia ich elementów z coraz to większą dokładnością. Na szczęście dla geodetów, w produkcji geodezyjnej pojawiają się również coraz to nowsze, bardziej precyzyjne, przyrządy pomiarowe, pozwalające zaspokoić stawiane przez projektantów tych obiektów wymagania odnośnie dokładności tyczenia ich elementów, pod warunkiem umiejętnego ich wykorzystania. Ich stosowanie pociągać może zarówno zmianę dotychczasowego kształtu geometrycznego tych osnów, czy tylko technologii wyznaczania położenia ich punktów lub obu tych zagadnień łącznie.

W referacie przedstawimy efekty rozwiązania osnów realizacyjnych wysokiej dokładności, z wykorzystaniem do tego celu precyzyjnych tachometrów elektronicznych.

2. Rozwiązanie osnowy realizacyjnej dla budowy kolejki gondolowej na Jaworzyną Krynicką w Krynicy

Budowa kolei gondolowej, podobnie jak innych inwestycji, oprócz rozpracowania wielu problemów natury czysto technicznej (konstrukcyjnych i montażowych), wymaga również rozwiązania zagadnień prawno-ekonomicznych, związanych z jej lokalizacją w terenie oraz problemów geodezyjnych, związanych z obsługą w czasie ich budowy czy modernizacji, kontroli stanu bezpieczeństwa w czasie ich eksploatacji czy wreszcie podczas przeprowadzania jej konserwacji i remontów.

Najistotniejszym problemem geodezyjnym jest założenie osnowy realizacyjnej o wymaganej wysokiej dokładności wyznaczenia położenia jej punktów, dostosowanej do charakteru tej budowli, wysokich wymagań dokładnościowych lokalizacji i montażu jej elementów konstrukcyjnych jak i warunków terenowych w jakich kolejka ta jest budowana.

Każda kolejka linowa jest przestrzennym obiektem liniowym, zlokalizowanym wzdłuż wybranego kierunku, pozwalającym na transport, ludzi lub materiału, wagonikami podwieszonymi na linach zaczepionych w przestrzeni na podporach odpowiedniej konstrukcji i wysokości. Stąd osnowa geodezyjna dla obsługi jej budowy powinna mieć cechy analogiczne, czyli powinna być przestrzenna, o charakterze liniowym, rozciągnięta wzdłuż projektowanego kierunku przebiegu kolejki.

Punkty podparcia (zaczepienia) wspomnianych lin na poszczególnych podporach, ustawianych pomiędzy stacjami kolejki umieszczonymi na jej początku i końcu, w odległości od siebie rzędu kilku kilometrów, powinny być z wymaganą dokładnością położone w jednej płaszczyźnie pionowej na ustalonej wysokości. Najczęściej dokładność ta charakteryzowana jest średnim błędem wyznaczenia położenia tych punktów. Różne firmy konstrukcyjno-montażowe tych kolei dla konkretnych obiektów określają wartość tego błędu na poziomie 1 do 2 cm, tak w płaszczyźnie poziomej jak i pionowej. W związku z tym, dla wyznaczenia z wymaganą dokładnością położenia poziomego podpór i punktów podparcia lin kolejki, zakłada się odpowiedniej dokładności osnowę poziomą, zaś dla zadania im wymaganych wysokości - odpowiednio dokładną osnowę wysokościową. W praktyce, osnowy te tworzą te same, odpowiednio rozmieszczone i utrwalone w terenie punkty których położenie w każdej z wymienionych płaszczyzn wyznaczane jest w tej sieci technologią najbardziej optymalną w istniejących warunkach terenowych.

Kolejki linowe budowane są przeważnie w terenach górzystych. Tereny te w dolnej partii są najczęściej zalesione, zaś w górnej - poprzecinane żlebami i grzbietami, w zależności od warunków klimatycznych panujących na terenie realizacji kolejki i wysokości jego położenia ponad poziom morza. Jej budowa w części zalesionej wymaga więc wykonywania odpowiedniej szerokości przecinki leśnej, wzdłuż trasy przebiegu kolejki. Ze względów ekologicznych i ekonomicznych dąży się do tego, aby szerokość tej przecinki była najmniejsza z możliwych do wybudowania i poprawnego funkcjonowania kolejki. Bywa ona najczęściej rzędu kilkunastu metrów (rzadko powyżej 25-ciu).

Nachylenie terenu wzdłuż poszczególnych przęseł, zmniejszane częściowo poprzez dobór odpowiedniej wysokości i miejsca lokalizacji sąsiadujących podpór, zmienne zarówno co do kierunku jak i wielkości, może dochodzić do kilkudziesięciu stopni. Podobne, choć najczęściej mniejsze jest średnie nachylenie terenu wzdłuż całej trasy kolejki czy jej odcinków. Wysokości bezwzględne położenia miejsc budowy stacji oraz poszczególnych podpór kolejki sięgają najczęściej wartości od 0.5 do kilku kilometrów, a ich różnice, pomiędzy punktami zmian kierunku nachylenia terenu, dochodzą do kilkuset metrów.

Wszystkie przedstawione powyżej uwarunkowania wskazują, że najwłaściwszą, uzasadnioną technicznie i ekonomicznie, technologią wyznaczania położenia punktów osnow, zakładanych dla budowy tych kolejek, w płaszczyźnie poziomej powinna być poligonizacja (pojedynczy ciąg poligonowy lub zespół takich ciągów, przebiegających równolegle lub nawzajem się przenikających), zaś w płaszczyźnie pionowej - niwelacja trygonometryczna, prowadzona wzdłuż elementów konstrukcyjnych sieci poziomej. Znając zalety i wady tych technologii, problemem zasadniczym jest ustalenie, jak wyeliminować lub ograniczyć te wady poprzez wybór

odpowiedniej konstrukcji geometrycznej tych sieci oraz ustalenie technologii i dopuszczalnych błędów pomiaru ich elementów, tak aby zapewnić możliwość wytyczenia wspomnianych punktów podparcia lin kolejki na poszczególnych jej podporach wzdłuż całej trasy jej przebiegu z wymaganą dokładnością.

Jak wspomniano powyżej, w tych warunkach rozpatrywaną osnowę realizacyjną najlepiej założyć w postaci pojedynczego ciągu poligonowego, z wyznaczeniem wysokości punktów metodą niwelacji trygonometrycznej. Należy jednak pamiętać, że takie konstrukcje i technologie ich realizacji są obciążone pewnymi wadami, do których zaliczyć należy głównie małą sztywność pojedynczego ciągu poligonowego i niekorzystny rozkład składowych błędów poziomego wyznaczenia położenia punktów, szczególnie w ciągach o dużej liczbie punktów, oraz stosunkowo dużą niepewność wyznaczenia różnic wysokości - w niwelacji trygonometrycznej. Mała sztywność pojedynczego ciągu poligonowego, proponowanego w tym przypadku jako konstrukcji nawiązanej jednopunktowo z orientacją, wynika z braku w nim obserwacji nadliczbowych, zaś niekorzystny rozkład wyznaczenia położenia punktów jest spowodowany głównie wpływem ograniczonej dokładności pomiaru kątów jego załamania, znacznie trudniejszej dziś – przy stosowaniu tachimetrów elektronicznych - do zwiększenia niż w przypadku pomiarów długości. Niepewność wyznaczenia wartości różnic wysokości w niwelacji trygonometrycznej wynika z braku poprawnego modelu matematycznego opisującego wpływ refrakcji pionowej na dokładność pomiaru kątów pionowych, szczególnie na terenach górskich. Na tych terenach istotna jest również dokładna znajomość składowych odchylenia pionów i ich wpływ na wartość mierzonego kąta pionowego.

Niektóre wymienione powyżej wady można, jeśli nie wyeliminować, to znacznie ograniczyć poprzez nadanie projektowanej osnowie odpowiedniego kształtu geometrycznego oraz wzmocnienie jej poprzez zaprojektowanie dodatkowych obserwacji usztywniających (wzmacniających). Nie wyeliminujemy jednak pewnych błędów systematycznych obciążających wyniki pomiarów, ze względu na nieuwzględnienie takich zjawisk jak odchylenia pionów, przyjęcie niezbyt poprawnego współczynnika refrakcji, niestosowanie dostatecznie ścisłych wzorów na obliczenie różnic wysokości wyznaczanych metodą niwelacji trygonometrycznej oraz przypadkowych, wynikających z ograniczonej dokładności wyznaczania wielkości tych zjawisk lub ograniczonej dokładności pomiaru elementów z których różnice te liczymy.

Dla ustalenia kształtu sieci poziomej, zapewniającego żadaną dokładność wyznaczenia położenia punktów osnowy, przy zastosowaniu do pomiaru jej elementów dokładnego tachimetru elektronicznego, przeprowadzono wstępne analizy dokładności następujących konstrukcji, o optymalnych do realizacji w terenie długościach boków, równych 0.25 i 0.5 km i ich liczbie odpowiednio: 12 i 6, rozciągniętych na odległość 3 km:

- pojedynczego ciągu typowego nawiązanego jednostronnie,
- sieci zbudowanych z trzech przebiegających równolegle względem siebie, w odległości 12 m, ciągów o konstrukcji omówionej powyżej, wzmocnionych między sobą konstrukcyjnie obserwacjami liniowymi, kątowymi lub kątowymi i liniowymi.

Do analiz przyjęto błędy pomiaru elementów tych sieci, możliwe do uzyskania przy zastosowaniu do obserwacji spotykanych w produkcji najwyższej klasy tachimetrów elektronicznych. Pod względem dokładności każdą z analizowanych sieci scharakteryzowano za pomocą wartości błędów średnich m_x i m_y , których wartości liczbowe wyznaczono z zależności

$$m_x = \sqrt{V(X)}; \quad m_y = \sqrt{V(Y)} \quad ,$$

gdzie $V(X)$, $V(Y)$ oznaczają wariancje odpowiedniej zmiennej .

W wyniku analiz wymienionych konstrukcji, przeprowadzonych przy założeniach i kryteriach podanych powyżej stwierdzono, że wymaganą dokładność wyznaczenia położenia punktów osnowy poziomej można uzyskać przy zastosowaniu do tego celu konstrukcji o podstawowej długości boków z przedziału od 0.25 do 0.5 km, zawierających około 150 % obserwacji nadliczbowych odpowiednio w niej rozłożonych – w postaci zbliżonej do przedstawionej na rysunku 1 – przy założeniu, że błąd pomiaru kąta będzie w przedziale od 6 do 10^{cc}, zaś pomiaru długości – od 3 do 5 mm.

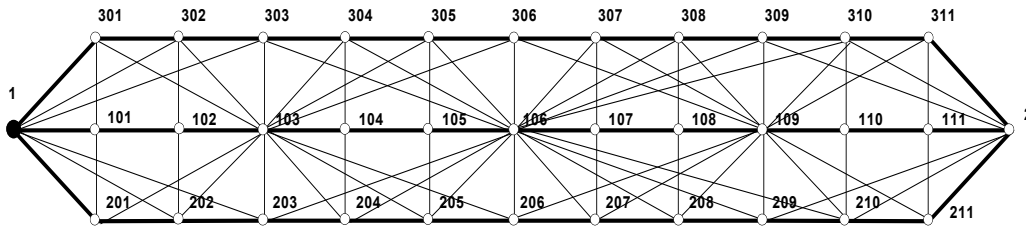


Figure 1.

Analiza dokładności sieci trygonometrycznej, wykorzystującej konstrukcję i punkty sieci poziomej, pozwoliła stwierdzić, że wymaganą dokładność wyznaczenia wysokości punktów, w przypadku osnowy zakładanej na wysokości do 2 km nad poziomem morza i przy kątach pochylenia celowych do 20° , można uzyskać przy założeniu, że kąty pionowe mierzyć będziemy z błędem rzędu $\pm 5''$, długości z błędem rzędu $\pm 10\text{mm}$, wysokości ustawienia przyrządów pomiarowych z błędem $\pm 2\text{ mm}$, średnie wysokości celowych oszacujemy z błędem rzędu $\pm 1\text{ m}$, a wartości współczynnika refrakcji z błędem rzędu $\pm 0,03$.

Bazując na wyżej przytoczonych rezultatach analiz dokładnościowych omawianych konstrukcji oraz biorąc pod uwagę warunki terenowe, dla geodezyjnej obsługi budowy rozpatrywanej kolei gondolowej, założono sieć realizacyjną, której schematyczny szkic przedstawiono na rysunku 2.

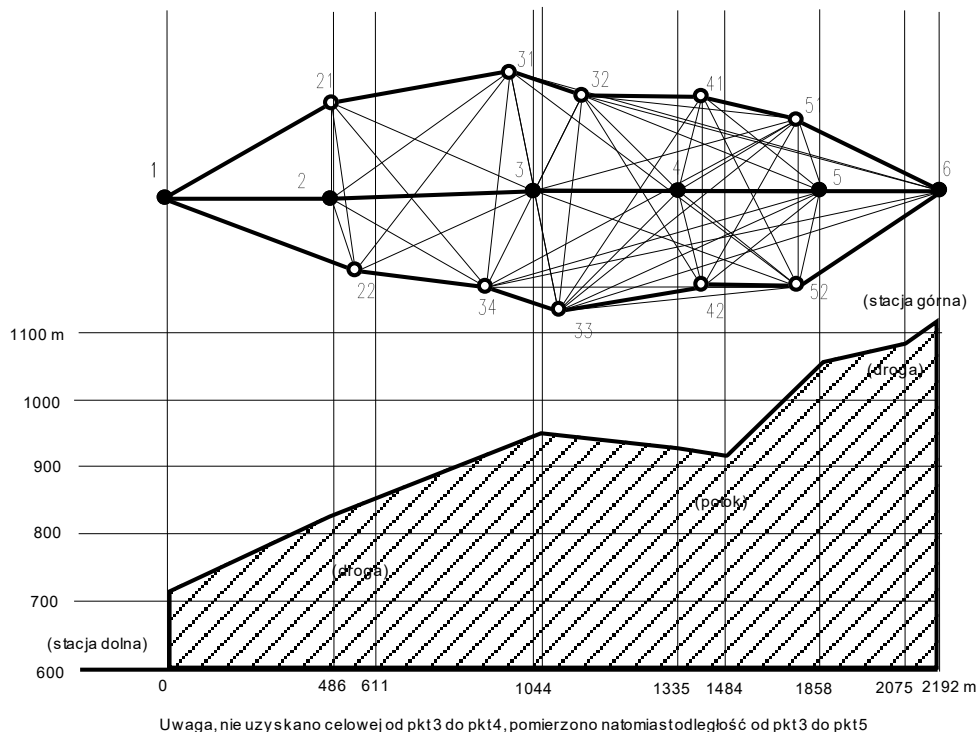


Figure 2. Szkic geodezyjnej osnowy realizacyjnej na tle przybliżonego profilu podłużnego trasy kolejki

Do pomiarów kątowych i długościowych zaprojektowanej sieci wykorzystano zrektyfikowany tachimetr elektroniczny TOPCON GTS-4, charakteryzujący się błędem standardowym

$m_s = \pm(3 + 2 \cdot d^{-6})\text{mm}$ oraz średnim błędem pomiaru kierunku poziomego i kąta pionowego równym $\pm 6''$ (2"). Centrowanie przyrządów pomiarowych wykonano sprawdzonymi pionami optycznymi. Kierunki poziome, kąty pionowe i długości mierzono w 4-ech seriach.

Sieć obliczono jako lokalną na powierzchni odniesienia przeprowadzonej na średniej wysokości terenu inwestycji, tj. na wysokości 875 m. Za punkt początkowy układu współrzędnych przyjęto punkt o numerze 1, a oś X skierowano wzdłuż linii projektowanej trasy kolejki, na której położony jest punkt 5. Uzgodnienie obserwacji sieci wysokościowej powtarzano kilkakrotnie, odrzucając obserwacje odstające. Uzyskane w wyniku ostatecznego uzgodnienia wartości współrzędnych i ich charakterystykę dokładnościową zestawiono w tabeli 1.

Wyniki uzgodnienia obserwacji w sieci realizacyjnej „Jaworzyna” Tabela 1

Ozn. pkt.	Współrzędne punktów w [m]			Wartości błędów średnich w [mm]				Parametry elips bł. śr. [mm]		
	X	Y	H	m_x	m_y	m_p	m_H	A	B	ϕ [g]
1	0.0000	0.0000	640.6700	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-
2	486.0807	0.0100	779.3317	2.4	3.6	4.3	5.3	3.4	5.1	192
21	488.2109	-2.7897	780.8305	2.3	3.6	4.3	5.3	3.3	5.1	1
22	487.0594	1.1960	779.3013	2.3	3.5	4.2	5.3	3.2	4.9	197
3	1044.8863	0.0078	925.2834	2.7	3.4	4.4	7.0	3.8	4.9	199
31	1039.1115	-4.8109	924.0483	2.7	3.5	4.4	7.0	3.8	5.0	197
32	1065.2522	-3.5875	928.3265	2.8	3.5	4.5	7.0	3.9	5.0	0
33	1073.7320	1.7581	928.6729	2.8	3.5	4.5	7.0	4.0	5.0	197
34	1038.8674	1.2424	923.9241	2.8	3.5	4.4	7.0	3.9	4.9	2
4	1335.4224	0.0012	899.7531	3.0	2.5	3.9	7.3	3.6	4.2	101
41	1350.1268	-2.4177	898.1055	3.0	2.5	3.9	7.3	3.5	4.2	94
42	1343.5206	1.1195	899.8574	3.0	2.5	3.9	7.3	3.5	4.2	98
5	1858.4702	0.0000	1044.2968	2.9	0.0	2.9	7.5	0.0	4.2	100
51	1842.9048	-6.5369	1041.0352	2.9	1.3	3.2	7.5	1.8	4.2	104
52	1850.2768	2.7258	1044.3168	2.9	0.8	3.0	7.5	1.1	4.1	99
6	2198.3045	-0.0053	1111.4991	3.2	2.9	4.3	8.3	4.1	4.5	101

Obliczone w trakcie wyrównania poprawki do mierzonych długości mieszczą się w granicy od 0.0 do 1.7 mm. Poprawki do kierunków o długości celowych od 1.5 do 35 m są w granicy od 3 do 64'', zaś w pozostałych przypadkach od 0 do 10''. Poprawki do przewyższeń są w granicy od 0.2 do 24.3 mm. Uzgodnione różnice wysokości obarczone są błędami w przedziale od 0.8 do 5.3 mm.

Należy podkreślić, że tak zrealizowana osnowa pozwoliła na poprawne wytyczenie elementów przedmiotowej kolejki z dokładnością wyższą niż wymagane kryteria jej montażu. Dowodem tego jest fakt, że od jej uruchomienia kolejka funkcjonuje bezpiecznie i bezawaryjnie już ponad rok.

Po zakończeniu prac montażowych, ze względu na zniszczeniu prawie wszystkich punktów osnowy w czasie budowy kolejki, wykonano pomiary założonej w analogiczny sposób nowej sieci, niezbędnej dla prowadzenia w przyszłości przeglądów, konserwacji i remontów kolei. Sieć tę uzgodniono w nawiązaniu do trzech „ocalałych” punktów (21, 4 i 52) sieci realizacyjnej przedstawionej na rysunku 2. Wyniki uzyskane z opracowania rezultatów nowego pomiaru przedstawiono w tabeli 2. Potwierdzają one słuszność wyciągniętych wcześniej wniosków i łącznie z rezultatami pierwszego pomiaru świadczą o dużych możliwościach i korzyściach stosowania do rozwiązania omawianego zadania wysokodokładnych tachimetrów elektronicznych.

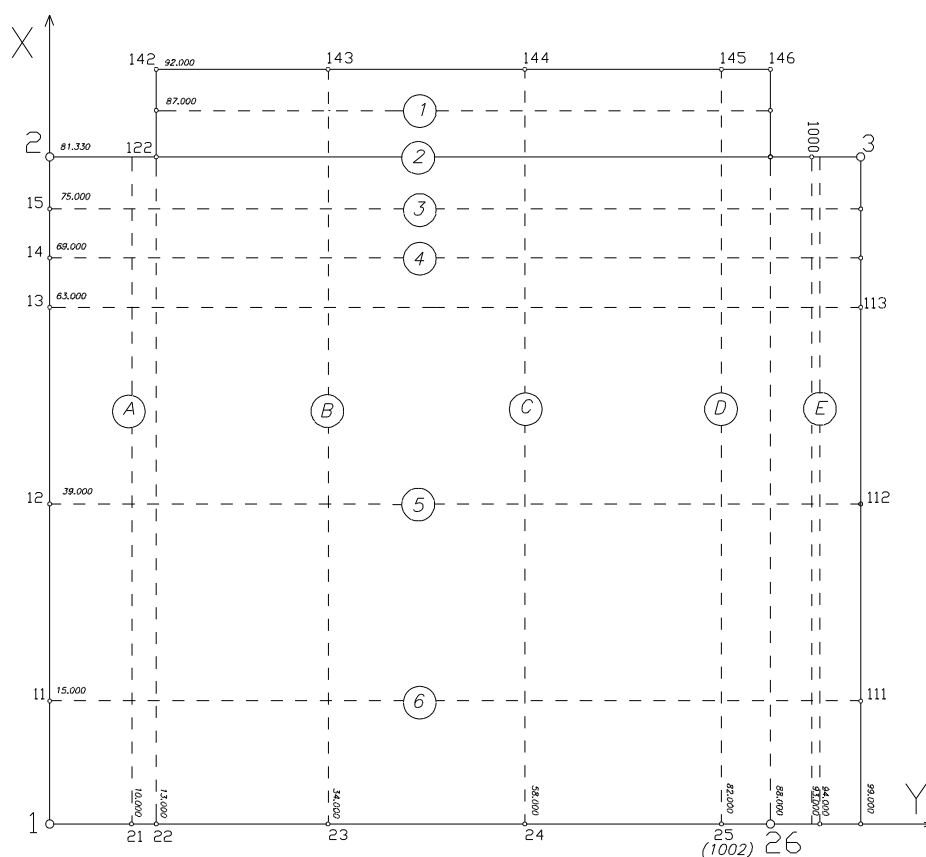
W końcu nietrudno zauważyć, że pożądaný efekt w płaszczyźnie poziomej można byłoby osiągnąć przy mniejszej liczbie obserwacji wzmacniających, ale wtedy mogło być wątpliwe osiągnięcie wymaganej dokładności wyznaczenia wysokości punktów tej osnowy.

Ozn. pkt.	Współrzędne punktów w [m]		Wartości błędów średnich w [mm]			Parametry elips błędu śr.[mm]		
	X	Y	m_x	m_y	m_p	A	B	φ [g]
1	16.1327	-2.3937	3.5	4.7	5.8	5.0	6.6	2.
2	92.1175	-2.3976	2.1	3.8	4.4	3.0	5.4	200.
3	286.5538	-2.3973	2.2	2.0	2.9	2.8	3.1	106.
4	493.7408	-2.4002	1.4	0.1	1.4	0.1	2.0	104.
5	880.3555	-2.4052	2.0	2.0	2.8	2.8	2.9	189.
6	1004.9827	-2.4028	1.8	2.2	2.8	2.5	3.1	4.
7	1063.7777	-2.4003	1.7	2.1	2.8	2.5	3.0	198.
8	1335.4228	-2.3884	0.0	1.5	1.5	0.1	2.2	0.
9	1566.5814	-2.3867	2.1	1.4	2.6	2.0	3.0	100.
10	1704.9628	-2.3783	2.0	1.1	2.3	1.5	2.8	102.
11	1806.8978	-2.3868	1.7	0.5	1.7	0.7	2.4	104.
12	1862.3416	-2.3867	1.7	0.7	1.9	0.9	2.5	97.
13	2100.0839	-2.3946	2.5	2.5	3.5	3.4	3.6	41.
14	2168.3659	-2.3968	2.3	3.0	3.8	3.3	4.3	5.
400	100.2891	-22.2308	2.2	3.8	4.4	3.0	5.5	6.
300	93.8295	-7.4192	2.1	3.8	4.4	3.0	5.4	1.
200	974.3189	4.3224	2.0	2.2	2.9	2.7	3.1	29.
100	1044.0470	-5.4904	1.7	2.2	2.8	2.4	3.1	195.
120	1862.3401	-2.4065	1.8	0.8	1.9	0.4	2.7	74.

3. Rozwiązanie osnowy realizacyjnej dla budowy hali przemysłowej w Tychach

W ostatnich latach coraz częściej buduje się wielkopowierzchniowe hale o przeznaczeniu sportowym, handlowym lub produkcyjnym, stanowiące albo część jeszcze większego obiektu, albo częściej - konstrukcje niezależne. Niezależnie od charakteru i funkcji tych budowli, przy ich projektowaniu stosuje się coraz to nowe konstrukcje i technologie ich realizacji, które wymagają bardzo często tyczenia w terenie ich elementów z wysoką, niespotykaną dotąd dokładnością. Przykładem tego jest projekt budowy hali zakładu profili PCV i stolarki otworowej w Tychach, o powierzchni około 0.8 ha, której budowa wymaga wyznaczenia położenia kotw z dokładnością rzędu ± 5 mm.

Jest zrozumiałym fakt, że tyczenie tych kotw, z wyżej wspomnianą dokładnością, może być wykonane tylko z punktów założonej specjalnie do tego celu poziomej osnowy realizacyjnej, charakteryzującej się błędem średnim wyznaczenia położenia punktów mniejszym niż podane powyżej kryterium dokładności tyczenia kotw. Ze względu na charakter i geometrię rozpatrywanego obiektu oraz zadanie i sposób funkcjonowania tej osnowy, ustalono, że najkorzystniejszym będzie założenie jej w postaci regularnych prostokątów, o wymiarach geometrycznych dostosowanych do rozstawu osi konstrukcyjnych hali. Ze względu na warunki panujące na placu budowy i sposób korzystania z osnowy przy tyczeniu elementów hali, postanowiono wyznaczyć i utrwalić w terenie tylko punkty zewnętrzne tej siatki, zlokalizowane na jej obrzeżu, najmniej narażone na zniszczenie podczas budowy hali. Opisaną konstrukcję przedstawiono na rysunku 3.



Rys 3. Projekt osnowy realizacyjnej

Po ustaleniu kształtu osnowy, problemem zasadniczym było opracowanie technologii wyznaczenia położenia jej punktów z dokładnością rzędu $2\div 3$ mm, uwzględniającej panujące na budowie warunki terenowe. Występujące w terenie, w różnych miejscach, wysokie hałdy ziemi, pochodzące z głębokich wykopów pod uzbrojenie podziemne terenu oraz pod stopy fundamentowe hali, nie pozwoliły na wyznaczenie położenia punktów osnowy w sposób klasyczny, stosowany dotychczas przy tego rodzaju sieciach. Ustalono, że najlepszym rozwiązaniem będzie wyznaczenie położenia tych punktów metodą biegunową, traktując je jako sieć punktów rozproszonych, wyznaczonych z określonych punktów założonej ramy osnowy, najkorzystniej zlokalizowanych w terenie dla dokonania takiego pomiaru, zapewniających uzyskanie możliwie największej liczby swobodnych wizur na pozostałe jej punkty. Przyjęto, że niezbędne pomiary kątowe i długościowe zaprojektowanej sieci będą wykonane tachimetrem elektronicznym, charakteryzującym się średnim błędem pomiaru kierunku rzędu $5''$ oraz długości - rzędu 3-4 mm.

Przy poczynionych założeniach co do technologii konstrukcji sieci, przedstawionej na rysunku 3, oraz co do dokładności pomiaru jej elementów, przeprowadzono wstępną analizę dokładności tak zaprojektowanej sieci. Wyniki tej analizy wykazały, że sieci o zbliżonej konstrukcji do przedstawionej na rysunku 4, realizowane według zaproponowanej technologii, pozwalają na wyznaczenie położenia punktów w granicy do 4 mm, którą uznano za wystarczającą dla rozpatrywanego zadania.

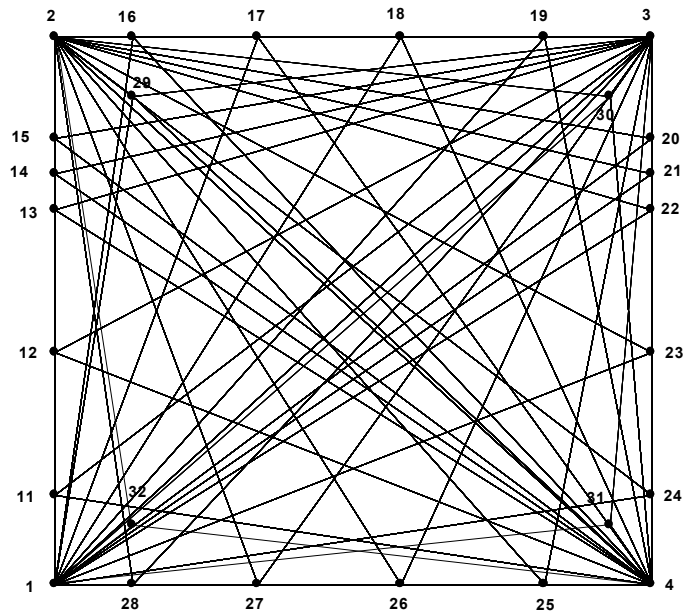


Figure 4. Przykład analizowanej sieci modelowej

Punkty zaprojektowanej osnowy utrwalono w terenie za pomocą słupów betonowych z płytkami metalowymi, na których w czasie wstępnego trasowania osnowy oznaczono punkty pomiarowe. Nad punktami tymi, w czasie pomiaru ustawiano przyrządy pomiarowe (tachimetr lub lustro).

Ze względu na niekorzystne warunki terenowe, zaistniałe w czasie zakładania sieci, jej konstrukcja i sposób pomiaru odbiega nieco od konstrukcji przedstawionej na rysunku 4. Szkic sieci ostatecznie zrealizowanej oraz rozmieszczenie w niej obserwacji przedstawiono na rysunku 5.

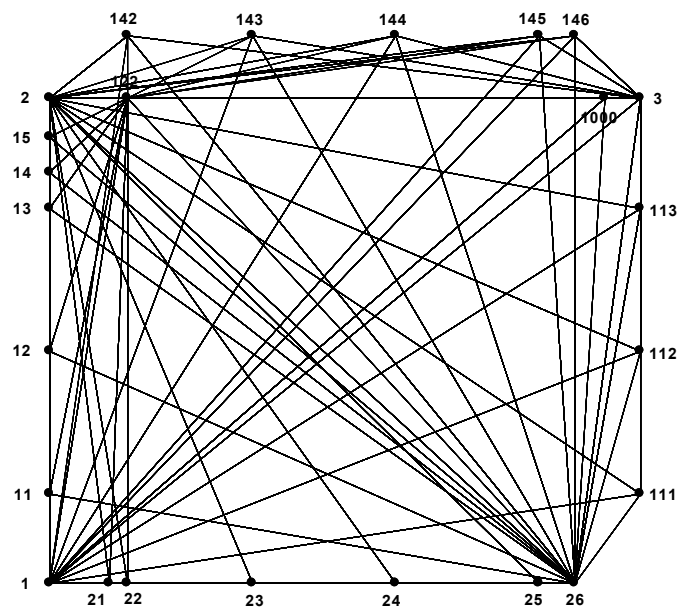


Figure 5. Szkic rozmieszczenia obserwacji w sieci realizacyjnej

Pomiar kątów i długości w sieci wykonano sprawdzonym tachimetrem total station Leica TC 1700 w dwóch seriach. Centrowanie przyrządów pomiarowych wykonano sprawdzonymi pionami optycznymi lub w sposób mechaniczny (lustra zamontowane na krótkich wspornikach lub centrownikach).

Sieć obliczono w lokalnym układzie współrzędnych, przyjmując jako początek układu punkt numer 1, przy skierowaniu półosi Y na punkt 26.

Wyniki pomiaru uzgodniono w sposób ścisły, uwzględniają błędy pomiaru kątów i długości. Uzyskane z uzgodnienia wartości ostateczne współrzędnych punktów oraz błędy średnie ich wyznaczenia zestawiono w tabeli 3. Błędy te mieszczą się w granicach od 0.1 do 1.2 mm, a więc są znacznie mniejsze od oczekiwanych. Efekt ten jest wynikiem wyższej precyzji pomiaru długości niż to zakładano we wstępnych analizach dokładnościowych.

Wyniki uzgodnienia obserwacji w sieci realizacyjnej dla budowy hali Tabela 3

Ozn. Pkt.	Współrzędne punktów w [m]		Wartości błędów średnich w [mm]			Parametry elips błędu śr.[mm]		
	X	Y	m_x	m_y	m_p	A	B	φ [g]
2	81.3329	0.0030	0.3	0.4	0.5	0.4	0.6	169.
3	81.3352	99.0022	0.4	0.5	0.6	0.5	0.8	40.
11	15.0035	-0.0046	0.7	1.2	1.4	1.0	1.7	1.
12	39.0039	-0.0006	0.7	0.6	0.9	0.8	1.0	130.
13	63.0002	-0.0013	0.6	0.7	1.0	0.7	1.2	160.
14	69.0061	0.0027	0.6	0.8	1.0	0.6	1.2	167.
15	75.0121	-0.0003	0.5	0.9	1.1	0.6	1.4	176.
21	0.0037	10.0033	0.2	0.8	0.8	0.3	1.2	0.
22	-0.0011	13.0042	0.2	0.7	0.8	0.3	1.0	0.
23	0.0004	33.9985	0.6	0.7	0.9	0.8	1.0	195.
24	0.0079	58.0037	0.5	0.6	0.8	0.7	0.9	194.
26	0.0000	88.0005	0.0	0.4	0.4	0.0	0.5	0.
111	15.0012	98.9969	0.6	0.5	0.8	0.6	1.0	140.
112	39.0004	98.9945	0.7	0.5	0.9	0.7	1.0	105.
113	63.0049	98.9879	0.5	0.5	0.7	0.7	0.8	56.
122	81.3277	13.0000	0.3	0.5	0.6	0.4	0.8	193.
142	92.0032	13.0012	0.5	0.7	0.8	0.6	1.1	168.
143	92.0040	34.0049	1.1	0.7	1.3	1.0	1.5	94.
144	92.0002	58.0039	0.5	0.7	0.8	0.7	1.0	14.
145	92.0028	82.0057	0.7	0.7	1.0	1.0	1.1	36.
146	92.0012	88.0007	0.5	0.7	0.8	0.5	1.1	40.
1000	81.3312	92.9886	0.8	0.7	1.0	0.8	1.2	62.
1002	0.0029	81.9989	0.1	0.7	0.7	0.2	1.0	200.

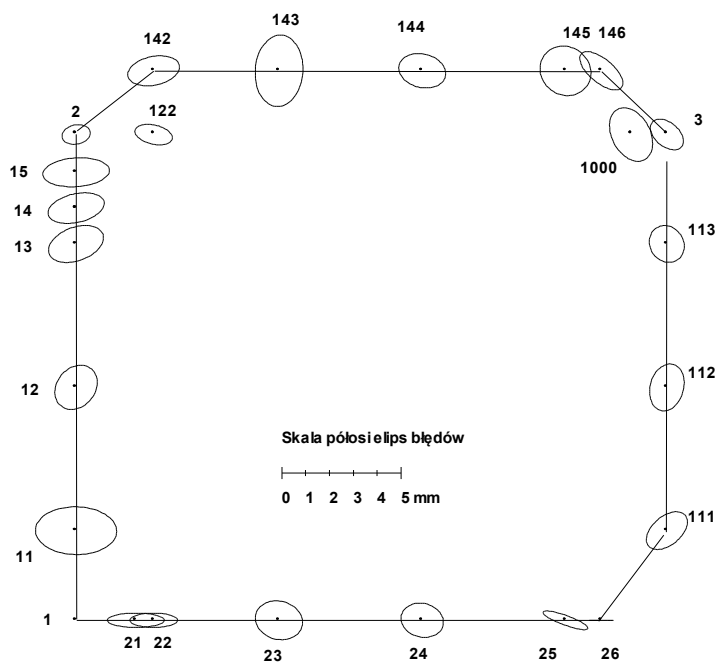


Figure 6. Graficzna ilustracja elips błędów w sieci realizacyjnej dla budowy hali przemysłowej

Obliczone w trakcie uzgadniania wyników pomiarów wartości poprawek do mierzonych kierunków mieszczą się w przedziale od 1 do 19^{cc} (wartości większe od 10^{cc} stwierdzono na 19-stu kierunkach, a większe od 10^{cc} - na 10-ciu), zaś do mierzonych długości - od 0 do 5 mm (wartości większe od 2 mm - na 13 bokach, a większe od 4 mm - na dwóch odcinkach). Graficzną ilustrację elips błędów dla rozpatrywanej sieci przedstawiono na rysunku 6.

Na podstawie, uzyskanych z uzgodnienia obserwacji, współrzędnych punktów osnowy określono i wprowadzono na każdym z nich poprawki trasowania. Po ich wprowadzeniu, na płytkach oznaczono ostateczne położenie punktów osnowy realizacyjnej. Następnie tym samym sprzętem wykonano pomiar kontrolny długości wybranych boków tej sieci i porównano je z ich wielkościami ustalonymi teoretycznie, wynikającymi z jej konstrukcji. Obliczone różnice w długościach tych boków w żadnym przypadku nie przekroczyły 1 mm.

Przytoczone wyżej rezultaty potwierdzają trafność wybranej technologii realizacji osnów omawianego typu. Czas realizacji osnowy podaną technologią wskazuje na efektywność ekonomiczną rozwiązania zadania i duże (niedoceniane) możliwości jakie w tym zakresie dają tachimetry elektroniczne o wysokiej dokładności. Równie ekonomiczne i wystarczająco dokładne okazało się tyczenie z tej osnowy położenia poszczególnych kotw. Położenie ich wyznaczono metodą przecięć lub biegunową ze swobodnych stanowisk, których pozycje wyznaczono metodą domiarów liniowych na prostej lub w oparciu o istniejące, najkorzystniej położone punkty omawianej osnowy.

4. Uwagi końcowe

Przedstawione powyżej efekty techniczne konstrukcji rozpatrywanych osnów realizacyjnych wskazują na duże możliwości i zalety stosowania do ich zakładania tachimetrów elektronicznych wysokiej dokładności, pod warunkiem opracowania odpowiedniej technologii ich realizacji. Obok zalet technicznych obserwuje się przy tym również znaczne efekty ekonomiczne realizowanego zadania. Efekty te są widoczne nie tylko na etapie realizacji samej osnowy, ale również w następnym, podczas tyczenia punktów wznoszonej budowli.

Literatura

References

1. Latoś S., Preweda E.: Problematyka prac geodezyjnych związanych z budową kolei gondolowych na przykładzie budowy kolei na Jaworzynę Krynicką w Krynicy. Przegląd geodezyjny, nr 3, Warszawa 1998
2. Latoś S., Maślanka J., Preweda E.: Analiza dokładności poziomych osnów geodezyjnych zakładanych metodą poligonową z wykorzystaniem tachimetrów elektronicznych. Geodezja T.3, AGH, Kraków, 1997
3. Lazzarini T.: Wykłady Geodezji II. PWN, Warszawa 1983.
4. Operat pomiarowy z realizacji osnowy dla budowy kolejki gondolowej na Jaworzynę Krynicką w Krynicy. Praca niepublikowana. Krynica 1997.
5. Dokumentacja kolejki gondolowej na Jaworzynę Krynicką w Krynicy. Praca niepublikowana.
6. Operat pomiarowy z realizacji osnowy dla budowy hali przemysłowej w Tychach. Praca niepublikowana. Kraków 1998.