



Tachimetr zrobotyzowany

Spectra Precision

FOCUS[®] 35

Analiza techniczna | Wrzesień 2016



Spis treści

Streszczenie	3
Wprowadzenie.....	4
System	5
Pomiar kątów i odległości	8
System pomiaru kątów.....	8
Kompensator	9
System pomiaru odległości	10
Technologia StepDrive™	12
Technologia LockNGo™	14
Technologia GeoLock™ i pomiary zintegrowane.....	18
Pomiary zintegrowane (tachimetr + odbiornik GNSS)	20
Podsumowanie	21



Streszczenie

Spectra Precision® FOCUS® 35 wyznacza nowe standardy w sposobie projektowania tachimetrów oraz ergonomii prowadzenia pomiarów optycznych. Zaprojektowany w niemieckim centrum badawczo-rozwojowym Trimble'a w Jenie instrument jest oferowany w czterech wersjach: StepDrive™, LockNGo™, RX oraz Robotic. W połączeniu z zaawansowanym oprogramowaniem Survey Pro™ oraz Layout Pro™ spełnia on wszystkie potrzeby pomiarowe dzisiejszej geodezji oraz budownictwa.

Za szybki i niezawodny napęd tachimetru, przekładający się na niezwykle precyzyjne pomiary, odpowiada technologia StepDrive. Automatyczny system LockNGo wykrywa oraz śledzi pasywne pryzmaty wykorzystując wbudowaną kamerę i najnowsze algorytmy przetwarzania obrazu cyfrowego. Pomiary odległości odbywają się w oparciu o zasadę przesunięcia fazowego (zarówno do pryzmatów, jak i naturalnych powierzchni). Diametralne systemy odczytowe eliminują błędy ekscentryczności kół podczas pomiaru kątów. Automatyczne wyostrenie obrazu jest realizowane za pomocą serwomotorów. Kompensator o szerokim zakresie pracy pozwala na szybkie i łatwe poziomowanie tachimetru. Instrument nie musi być wyłączany w celu zmiany baterii – cały czas pozostaje w trybie operacyjnym.

Jako najłżejszy w swojej klasie tachimetr na rynku, FOCUS 35 oferuje mnóstwo użytecznych funkcji pomiarowych, po poznaniu których już nigdy nie będziesz chciał pracować na innym instrumencie.

Torsten Kludas,

Dr. Michael Vogel, Dr. Bernd Donath,

Andreas Glimm, Hermann Göring,

Glenn Martin



Polskie opracowanie: Michał Polański | NaviGate Sp. z o.o.

Wprowadzenie

FOCUS 35 miał swoją premierę jesienią 2014 roku podczas targów Intergeo w Berlinie. Inżynierowie Spectra Precision wykorzystując unikalne rozwiązania technologiczne stworzyli światowej klasy instrument, zamknięty kompaktowej obudowie. Tachimetr ma nowoczesny wygląd i zapewnia bardzo wysoką ergonomię pracy.



Rys. 1: Główne elementy tachimetru FOCUS 35

FOCUS 35 bazuje na sprawdzonych od lat technologiach, takich jak precyzyjny kompensator, czy dalmierz wykorzystujący przesunięcie fazowe fali świetlnej. Podczas konstruowania tachimetru zastosowano jednak także sporo innowacji, takich jak cyfrowe przetwarzanie obrazu pozwalające na niezawodne śledzenie pryzmatów, czy wyjątkowo odporny na zużycie napęd StepDrive z szybkim silnikiem krokowym. Doskonała jakość optyki instrumentu jest wynikiem wieloletniego doświadczenia inżynierów z Jeny w tworzeniu systemów optycznych dla teodolitów i tachimetrów. Interfejs użytkownika z 3,5-calowym ekranem dotykowym oraz systemem operacyjnym Windows CE został specjalnie zaprojektowany i zoptymalizowany do pracy z zaawansowanym oprogramowaniem Spectra Precision Survey Pro.

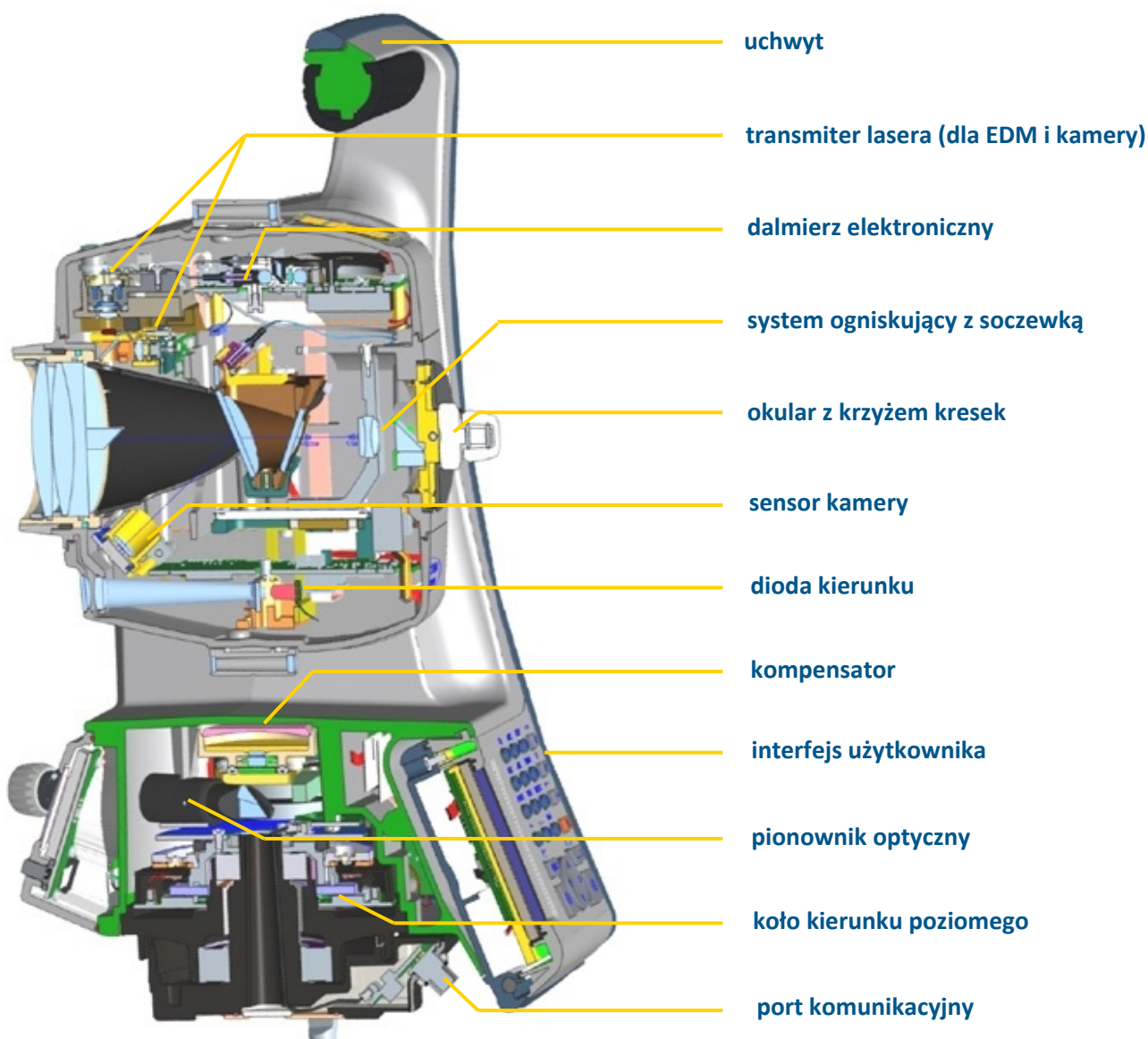


Rys. 2: Interfejs użytkownika tachimetru FOCUS 35

System

Konstrukcja tachimetru FOCUS 35 – od wygodnego uchwytu aż po panel sterowania – posiada wiele zalet. Stabilna alidada została zaprojektowana tak, aby umożliwić osiągnięcie nawet 1-sekundowej dokładności pomiarów kątowych. Optymalnie dobrany zakres widzenia pozwala na precyzyjne celowanie także przy dużym nasłonecznieniu, a dzięki przesunięciu uchwytu tachimetru do tyłu istnieje możliwość obserwacji bardzo stromych celowych – aż po sam zenit.

Powiększenie teleskopu wynosi 31x, przy średnicy obiektywu równej 50 mm, co zapewnia doskonałe pole widzenia. Osie optyczne dalmierza, kamery oraz wskaźnika laserowego są ustawione współśrodkowo. Dioda kierunku jest dobrze widoczna w całym zakresie pracy w trybie robotycznym i stanowi nieocenioną pomoc podczas śledzenia pryzmatu oraz tyczenia punktów. Dalmierz elektroniczny (EDM) pracuje przy wykorzystaniu zasady przesunięcia fazowego, zarówno podczas pomiarów na pryzmat, jak i w trybie bezlustrowym. Diametryczny system odczytu kątów wykorzystuje dwa specjalnie kodowane szklane koła i został tak skalibrowany, aby spełnić wysokie wymagania standardów DIN/ISO oraz SIMT. Kompensator jest zamontowany dokładnie w osi pionowej instrumentu, aby maksymalnie zwiększyć jego czułość.



Rys. 3: Budowa wewnętrzna tachimetru FOCUS 35

Pokręta sterujące napędami znajdują się w wygodnym miejscu, z prawej strony tachimetru. Inteligentne oprogramowanie samo ocenia, czy chcemy wykonać dużą zmianę położenia teleskopu, czy też precyzyjnie wycelować instrument i na tej podstawie automatycznie dostosowuje prędkość serwowatorów. Ekran i przyciski z drugiej strony instrumentu pozwalają na wyświetlanie dodatkowych informacji oraz dostęp do technicznych parametrów tachimetru, takich jak np. ustawienia radia, transfer danych, czy libella elektroniczna. Można też stąd wywołać pomiar lub zmienić położenie lunety. Ekran ten jest podświetlany i automatycznie podgrzewany w niskich temperaturach.

Radiomodem UHF oraz gniazdo baterii są umieszczone po bokach tachimetru. Akumulator litowo-jonowy o pojemności 5,0 Ah pozwala na pełne 6h pracy, a dzięki wewnętrznemu modułowi podtrzymania energii instrument nie musi być wyłączany w celu wymiany baterii. Komunikacja w trybie robotycznym odbywa się poprzez radio 2.4 GHz typu FHSS (z ang. *Frequency-hopping spread spectrum*). Oznacza to, że transmisja danych na wybranej częstotliwości odbywa się przez bardzo krótki czas, a następnie radio „przeskakuje” na inny kanał (w dostępnym paśmie). Takie rozwiązanie znacząco redukuje interferencję fal i pozwala na pracę nawet w miejscach o znacznym natężeniu innej komunikacji radiowej.

Pionownik optyczny posiada możliwość ogniskowania od 0,5 m do nieskończoności z powiększeniem 2,4x. Port komunikacyjny pozwala połączyć tachimetr z komputerem poprzez złącze USB, a także daje możliwość podpięcia zewnętrznego zasilania.



FOCUS 35 może być zdalnie sterowany poprzez jeden z kontrolerów polowych Spectra Precision i oprogramowanie Survey Pro (dla geodezji) lub Layout Pro (dla budownictwa).

Standardowym rejestratorem polecanym do kontroli tachimetru jest Ranger 3RC lub XR (z wbudowanym radiem UHF). W razie potrzeby może się on również komunikować z instrumentem poprzez Bluetooth lub kabel USB.

Alternatywnie do pracy z instrumentem można wykorzystać również kontrolery typu Nomad i T41 (Slate) z zewnętrznym radiem typu SPDL, które także zapewnia w pełni bezprzewodową komunikację.

Wszystkie ww. kontrolery spełniają wysokie normy odporności na kurz i wodę (IP67 lub IP68) oraz posiadają wbudowany odbiornik GPS, pozwalający Survey Pro na wykorzystanie technologii GeoLock™ w celu szybkiego odnajdywania pryzmatu.

Tachimetr FOCUS 35 standardowo wykorzystuje pasywne pryzmaty 360° marki Trimble/Spectra Precision.

Rys. 4: Spectra Precision Ranger 3



Rys. 5: Tyczka z pryzmatem 360° oraz kontrolerem Spectra Precision Ranger 3

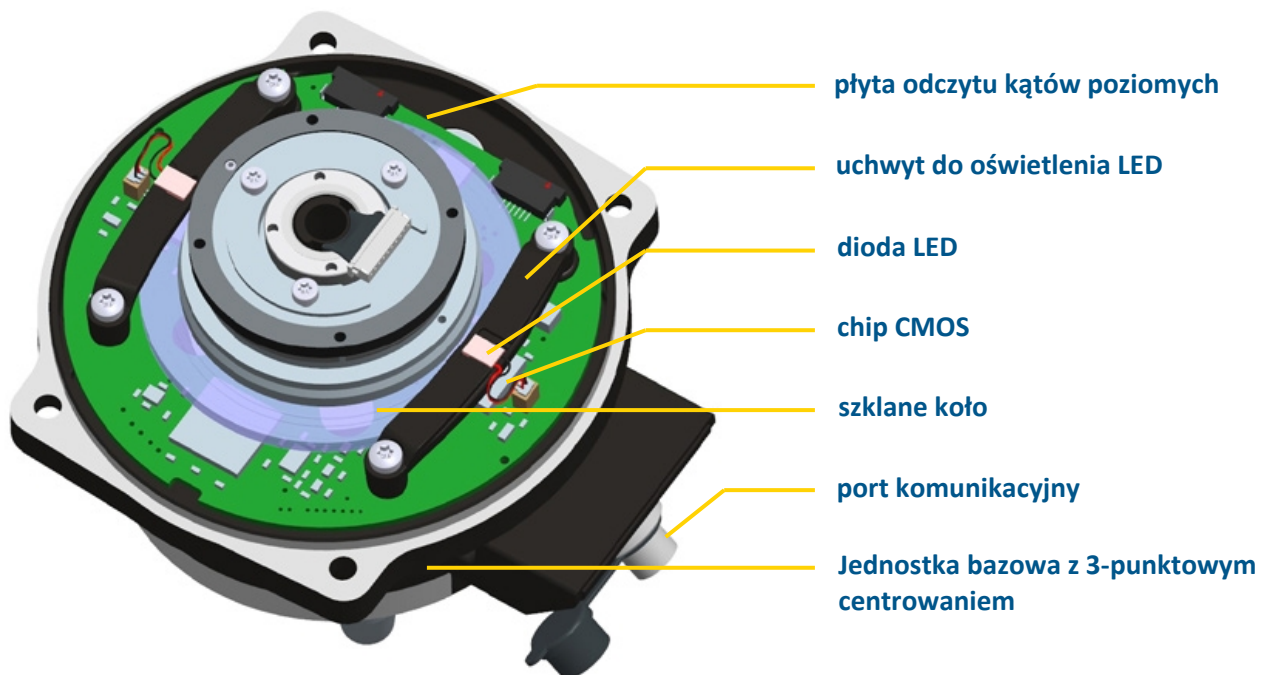
	StepDrive	LockNGo	RX	Robotic
Dostępne dokładności kątowe	1", 2", 3", 5"	1", 2", 3", 5"	2", 3", 5"	1", 2", 3", 5"
Serwomotory StepDrive™	✓	✓	✓	✓
Dalmierz	✓	✓	✓	✓
Dioda kierunku	✓	✓	✓	✓
Wskaźnik laserowy	✓	✓	✓	✓
Sensor kamery	✗	✓	✓	✓
Technologia śledzenia LockNGo™	✗	✓	✓	✓
Technologia GeoLock GPS™	✗	✗	✓	✓
Ekran dotykowy i klawiatura	✓	✓	✗	✓
Drugie gniazdo baterii	✗	✗	✓	✗
Wbudowane radio 2.4 GHz	✗	✗	✓	✓
Jednosobowa obsługa	✗	✗	✓	✓

Tab. 1: Porównanie wersji tachimetru Spectra Precision FOCUS 35

Pomiar kątów i odległości

System pomiaru kątów

Tachimetr FOCUS 35 dokonuje pomiaru kierunków przy wykorzystaniu kodowanych szklanych kół i podaje absolutne odczyty kątów. Szklane koła są kodowane dwiema „ścieżkami”: absolutnym kodem zgrubnym oraz progresywnym kodem precyzyjnym. Kąty są skanowane poprzez dwa diametralne (ustawione wzdłuż średnicy) sensory CMOS (z ang. *Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*), co eliminuje błędy ekscentryczności kół i zapewnia bardziej dokładne pomiary kątów. Systemy pomiarowe dla kątów poziomych (Hz) oraz pionowych (V) mają taką samą budowę. Jediną różnicą jest to, który element się porusza, a który pozostaje w miejscu. Dla kątów poziomych szklane koło jest zamontowane na stałe, natomiast jednostka skanująca wraz z obrotową alidadą jest umieszczona powyżej. W przypadku kątów pionowych system wygląda odwrotnie: sensor pomiarowy CMOS jest nieruchomy, podczas gdy szklane koło razem z teleskopem obraca się wokół osi obrotu lunety instrumentu. Oba koła podziałowe posiadają osłony w celu zapewnienia dodatkowej ochrony przed pyłem i brudem.



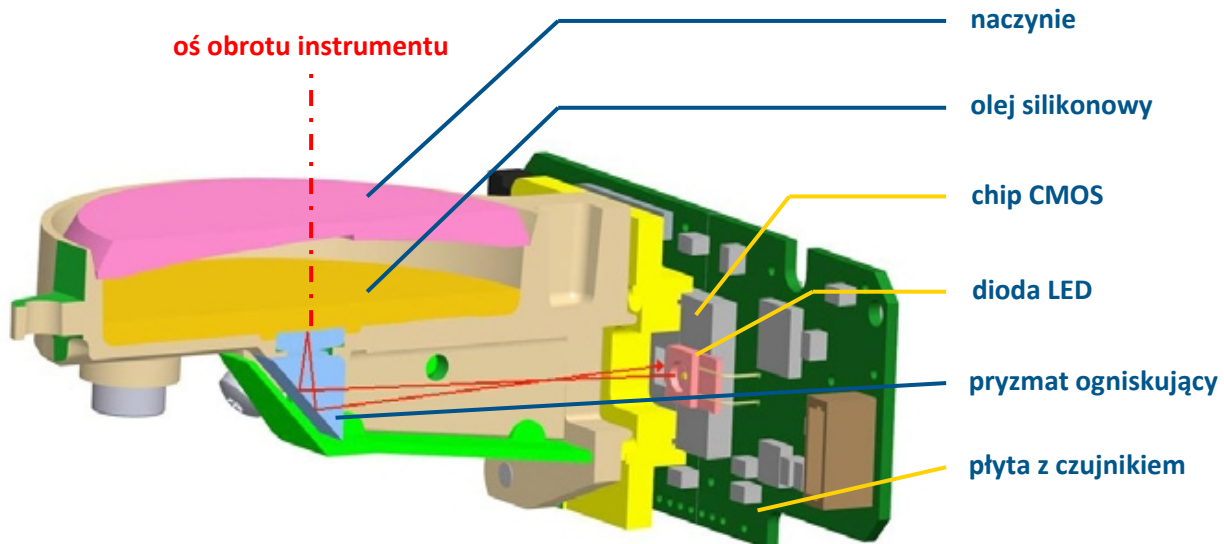
Rys. 6: Jednostka bazowa z systemem odczytu kątów poziomych (Hz)

Rozdzielczość systemu odczytu kątów wynosi 0,3" (0,1 mgon), a maksymalna częstotliwość skanowania to 200 Hz (optymalna wartość zapewniająca szybkie śledzenie). System ten pozwala na osiągnięcie nawet 1" dokładności pomiaru kątów (zgodnie z normą ISO 17123-3).

FOCUS 35 całkowicie automatycznie wyznacza poziome i pionowe błędy kolimacji, inklinacji oraz ekscentryczności osi obrotu lunety, a następnie wprowadza poprawki do pomiarów kierunków. Proces automatycznej kalibracji równocześnie mierzy i zapisuje każdą poprawkę niezbędną do kompensacji ruchu soczewki ogniskującej. Pozwala to na wykonywanie precyzyjnych pomiarów przy użyciu tylko jednego położenia lunety, redukując czas potrzebny na zmianę położenia i wykonanie kolejnej półserii pomiarowej.

Kompensator

FOCUS 35 został wyposażony w dwuosiowy kompensator umieszczony dokładnie w pionowej osi obrotu instrumentu (minimalizuje to jego czułość na szybkość obracania się tachimetru). Istotnym elementem kompensatora jest naczynie ustawione w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku siły grawitacji i wypełnione olejem silikonowym. Dioda LED wysyła promień świetlny, który po odbiciu od powierzchni cieczy i przejściu przez optyczny system ogniskujący wraca do źródła światła. Sensor CMOS znajdujący się obok diody LED skanuje otrzymany punkt świetlny i wyznacza dwie współrzędne obrazu. Pozwala to na określenie i poprawienie obu składowych wychyleń.



Rys. 7: Budowa kompensatora cieczowego w tachimetrze FOCUS 35

Źródło światła oraz jego sensor są zamontowane obok siebie na stałe, zapewniając wysoką stabilność systemu. Zakres pracy kompensatora w trybie precyzyjnym jest bardzo szeroki i wynosi aż 6'. Rozdzielczość odczytu to 0,3" (0,1 mgon). System ten posiada również tzw. rozszerzony zakres pracy wynoszący aż 37', w którym kompensator zapewnia niższą dokładność, ale ciągle pozwala na wykonywanie pewnych obserwacji.

Tachimetr FOCUS 35 został wyposażony także w dodatkowy pochylomierz pracujący w zakresie $\pm 3^\circ$ i zastępujący tradycyjną libellę okrągłą.



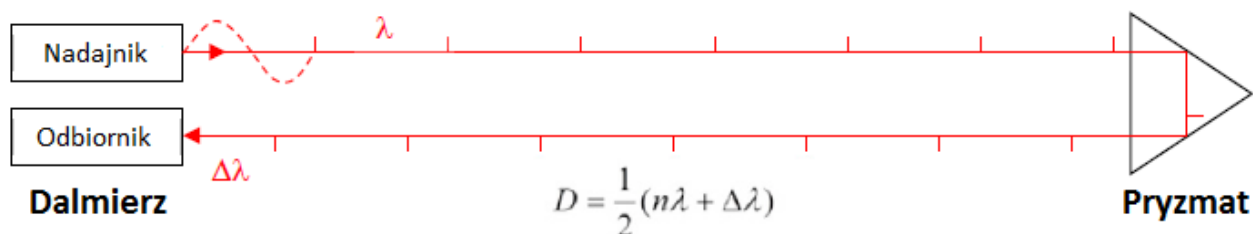
Rys. 8: Rozmiary sensora MEMS

Sensor ten to trójwymiarowy czujnik przyspieszenia, oparty na technologii MEMS (z ang. *micro-electro-mechanical system*) i potrafiący wyznaczyć dowolne wychylenie w przestrzeni 3D. Pozwala to na wyświetlanie wartości wychyleń na drugim ekranie (F2) w celu zgrubnego spoziomowania zaraz po włączeniu instrumentu. Po osiągnięciu zakresu pracy pierwszego (dokładniejszego) kompensatora, system automatycznie zacznie wyświetlać precyzyjne wartości wychyleń.

System pomiaru odległości

Dalmierz (z ang. *EDM – Electronic Distance Meter*) tachimetru FOCUS 35 działa w oparciu o zasadę przesunięcia fazowego fali świetlnej – jednej z najbardziej dokładnych metod w elektro-optycznych pomiarach odległości. Nadajnik lasera transmituje współosiowy, modulowany promień świetlny, który odbija się od celu i powraca do odbiornika. Zmierzona odległość jest obliczana na podstawie przesunięcia fazy $\Delta\lambda$ pomiędzy wysłaną i odebraną wiązką światła. Kontrolę wykonanego pomiaru zapewnia się poprzez użycie kilku różnych częstotliwości fali, pochodzących ze skompensowanego temperaturowo oscylatora kwarcowego (tzw. TCXO). Wiązka lasera o długości fali $\lambda = 660$ nm, znajduje się w widzialnym zakresie światła i posiada czerwony kolor. Modulowana częstotliwość wynosi $f = 400$ MHz przy precyzyjnej skali równej 375,2 mm.

Uproszczony schemat wyznaczania wartości przesunięcia fazowego $\Delta\lambda$, które jest dodawane do liczby pełnych odłożeń fali $n\lambda$, został przedstawiony poniżej:



Rys. 9: Schemat działania dalmierza tachimetru FOCUS 35

Dalmierz tachimetru FOCUS 35 może wykonywać pomiary zarówno do celów refleksyjnych (pryzmatów i folii dalmierczych), jak i naturalnych powierzchni – również tych, które mają bardzo niski współczynnik odbicia światła. W trybie bezlustrowym emitowane promieniowanie lasera posiada stopień ochrony 3R (moc < 5mW), dlatego też podczas pomiarów w tym trybie powinny być zachowane odpowiednie środki bezpieczeństwa. Pomiary na pryzmat dalmierz wykonuje przy pomocy bezpiecznego dla oczu światła lasera klasy 1 (moc < 0,39 mW).

Dokładność pomiarów odległości z użyciem pryzmatów wynosi 2 mm + 2 ppm (zgodnie z normą ISO 17123-4), natomiast w trybie bezlustrowym 3 mm + 2 ppm.

Czas pomiaru na pryzmat wynosi zazwyczaj 2-3 sekundy. Pomiary bezlustrowe trwają z kolei od 3 do 15 sekund (w zależności od odległości i warunków pomiarowych).

Zasięg dalmierza zależy w znacznej mierze od warunków atmosferycznych, oświetlenia oraz właściwości refleksyjnych celu. W dobrych warunkach można pomierzyć odległość nawet 4000 m do pryzmatu o średnicy 50 mm. Dla pomiarów bezlustrowych wartość ta wynosi 800 m (w bardzo dobrych warunkach). Przyjmuje się, że o jakości warunków decydują następujące czynniki:

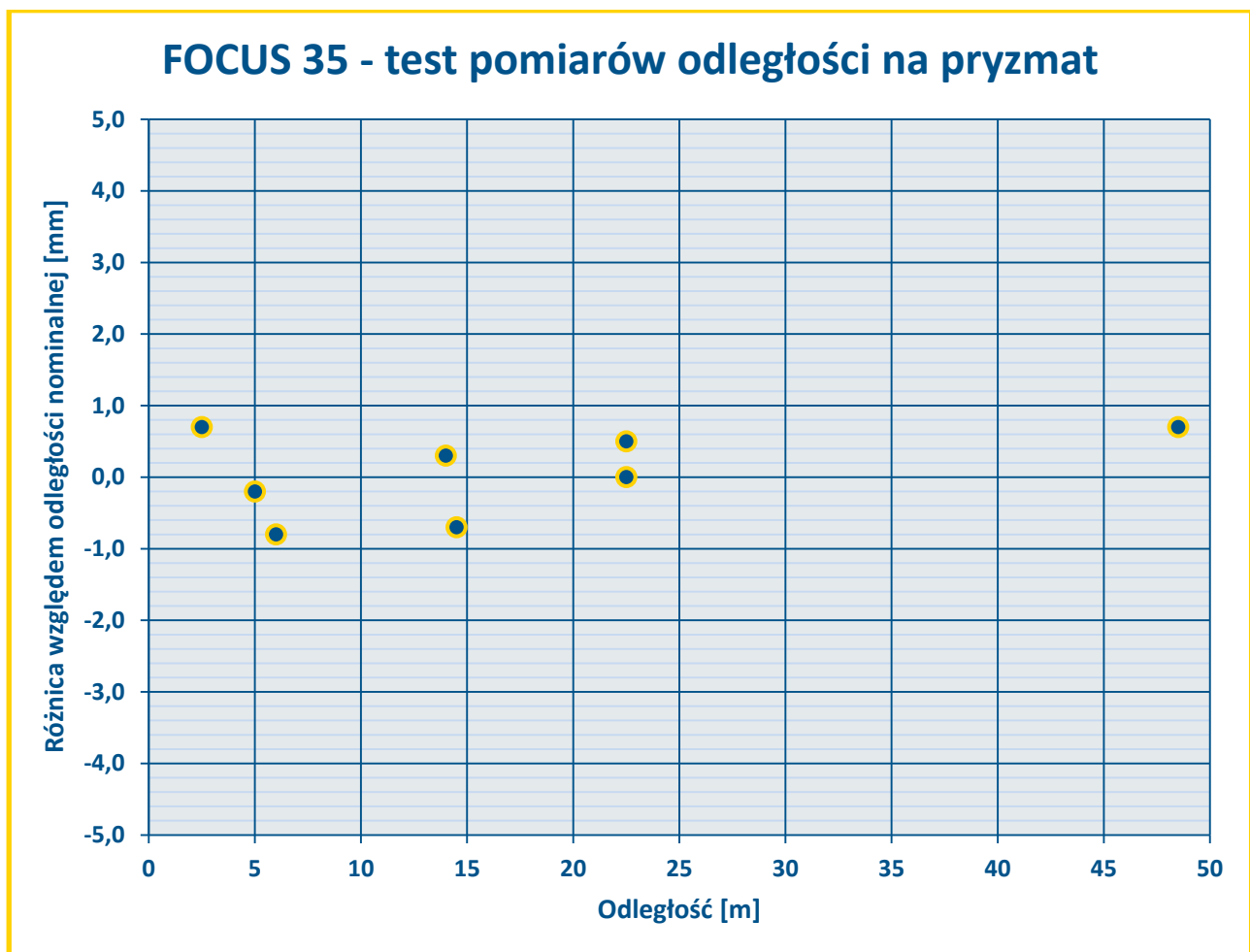
Dobre warunki: dobra widoczność > 20 km, półmrok lub zmierzch (słabe światło otoczenia), lekkie falowanie powietrza, jasny cel, czysty pryzmat

Złe warunki: słaba widoczność < 5 km, silne światło słoneczne na cel, duże falowanie powietrza, ciemny cel, brudny lub zamglony pryzmat

Najkrótszy możliwy dystans pomiarowy, który można zmierzyć z podanymi wyżej dokładnościami to 1,5 m.

Wymiary plamki lasera nadajnika wynoszą 0,4 mrad x 0,3 mrad (Hz x V), co odpowiada wymiarom 4 cm x 3 cm na odległości równej 100 m. Nadajnik dalmierza pełni również rolę wskaźnika laserowego (bez modulacji częstotliwości) o stopniu ochrony klasy 3R.

Sprawdzenie dokładności dalmierza jest wykonywane poprzez pomiar odległości nominalnych oraz wyznaczenie niezbędnej poprawki (tzw. stała dodawania). Nominalne odległości są mierzone przy pomocy bardzo precyzyjnych urządzeń referencyjnych, które są regularnie kalibrowane poprzez interferometryczny system pomiarów liniowych w Niemieckim Instytucie Metrologicznym w Brunzwiku (Physikalisch-Technische Bundesanstalt – PTB).



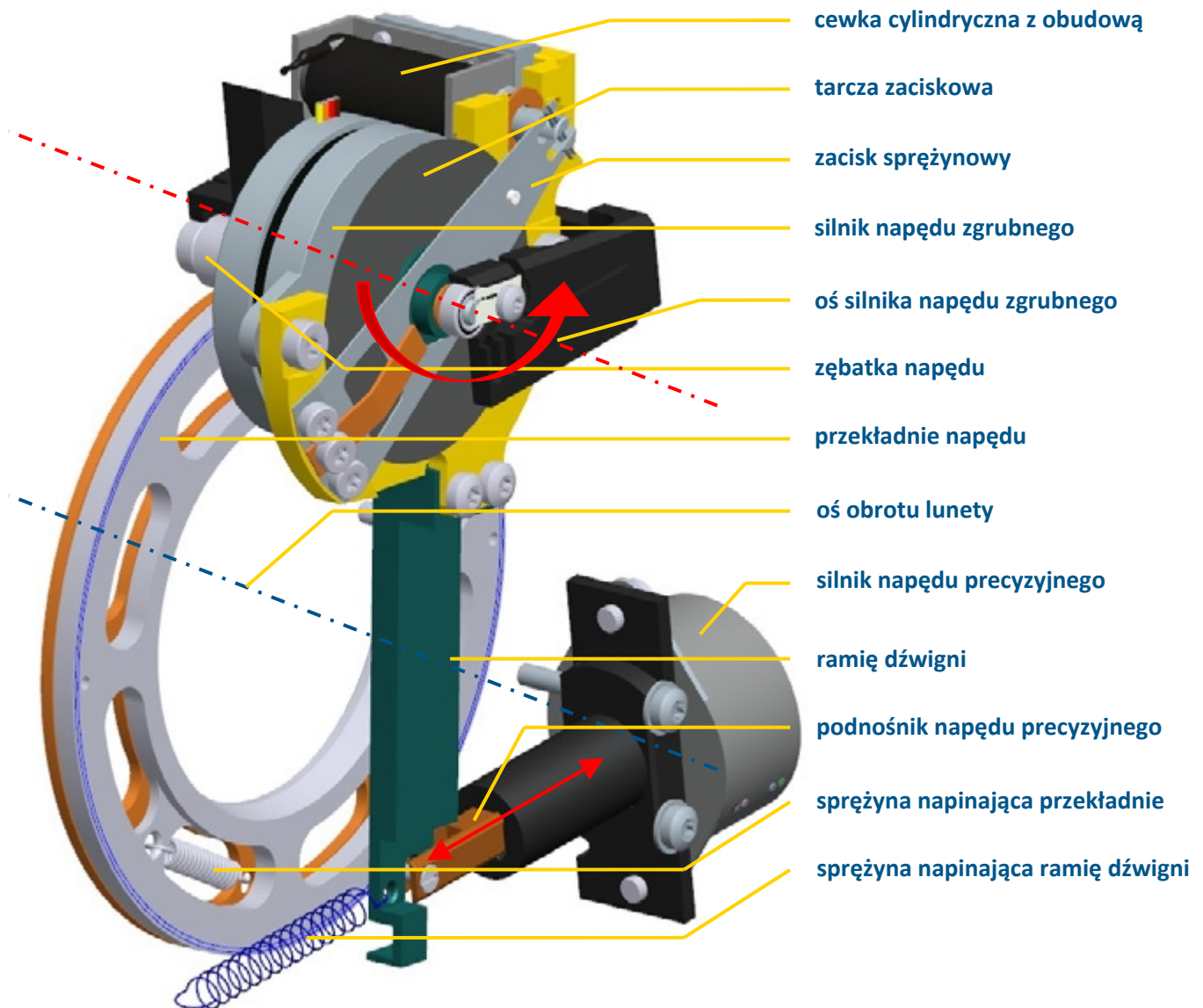
Rys. 10: Porównanie wyników testów dalmierza tachimetru FOCUS 35 (dokładność 2 mm + 2 ppm)

Standardowa atmosfera, dla której przyjęto stałą dalmierza równą 0 ppm jest definiowana poprzez temperaturę równą 20,0°C, ciśnienie atmosferyczne wynoszące 1013,25 hPa oraz wilgotność względną na poziomie 60%. Instrument posiada wbudowany termometr, który może być użyty do obliczenia poprawki atmosferycznej. Ciśnienie powietrza można manualnie wprowadzić do oprogramowania pomiarowego. Wilgotność względna jest domyślnie ustawiona na wartość 60%. Pełny zakres możliwej do wprowadzenia poprawki atmosferycznej wynosi od -150 ppm do +160 ppm.

Technologia StepDrive™

Serwomotory StepDrive tachimetru FOCUS 35 to dwuczęściowy system napędowy, złożony z napędu zgrubnego oraz precyzyjnego i bazujący na silniku krokowym. Napęd zgrubny jest jednostopniową przekładnią, wyposażoną w zębatkę umieszczoną na wałku silnika i bezpośrednio napędzającą połączone z nią koła zębate. System ten wystarcza do zapewnienia bardzo szybkiej reakcji i zmiany położenia instrumentu. W drugim etapie celowania uaktywnia się napęd precyzyjny, który przesuwając zgrubny silnik w poprzek przy pomocy ramienia dźwigni. Oś obrotu tej dźwigni jest identyczna jak oś obrotu silnika zgrubnego. Cały system sterowany jest za pomocą mikroprocesora kontroli napędu, który pełni rolę jednostki centralnej napędu StepDrive.

W celu optymalizacji zużycia energii, oś napędu zgrubnego łączy się z napędem precyzyjnym za pomocą mechanicznego zacisku. Odbywa się to poprzez resor piórowy, który jest dociskany do tarczy przez cewkę cylindryczną. Aby zapewnić ciągłość ruchu napędu precyzyjnego, jednostka centralna wytwarza ruch powrotny poprzez chwilowe zwolnienie zacisku z napędem zgrubnym.



Rys. 11: Napęd StepDrive dla koła pionowego

Kiedy FOCUS 35 znajduje się w stanie uśpienia, napęd zgrubny jest zawsze zablokowany poprzez bistabilną cewkę, natomiast aktywny pozostaje napęd precyzyjny. Silnik napędu zgrubnego jest w tym czasie wyłączony w celu oszczędzania energii.

System StepDrive został zaprojektowany tak, aby luneta i alidada mogły być w każdym momencie zwolnione ręcznie i obrócone o dowolny kąt. Kontroler napędu automatycznie „wyczuwa” moment, w którym do tachimetru zostanie przyłożona odpowiednia siła i w razie potrzeby zwalnia blokadę. Dzięki temu użytkownik może szybko i łatwo wycelować lunetę w żądanym kierunku.

W przypadku korzystania z leniwiek, napęd, który będzie wykorzystywany zależy od aktualnej prędkości obrotu instrumentu. Jeśli ruch jest szybki, blokada zostaje zwolniona i system skorzysta napędu zgrubnego. Gdy obrót zwolni, uruchamia się zacisk i kontrolę przejmuje napęd precyzyjny.

Zmiana położenia lunety w pionie i w poziomie jest zawsze kombinacją ruchu napędu zgrubnego i precyzyjnego. Ruch ten jest wywoływany przez oprogramowanie sterujące i nadzorowany przez kontroler napędu. Pod koniec zmiany położenia lunety uaktywniają się silniki precyzyjne, które dokładnie ustalają właściwy cel. Maksymalna prędkość obrotu tachimetru w trybie zgrubnym wynosi $90^\circ/s$.

W trybie robotycznego śledzenia pryzmatu pracuje jedynie napęd zgrubny, natomiast w momencie samego pomiaru zmierzony kąt jest poprawiany w oparciu o offsety kamery, wyznaczone od środka pryzmatu do centrum krzyża kresek (por. rozdz. *Technologia LockNGo*).

Przemieszczenie kątowe tachimetru na każdy krok silnika zgrubnego wynosi $0,9^\circ$. Dzięki zastosowaniu kontrolera napędu możliwe jest osiągnięcie minimalnego postępu na poziomie $23''$. W efekcie tego napęd zgrubny porusza się w zakresie wiązki dalmierza, wynoszącym $83''$ i może wykonywać szybkie odczyty odległości w trybie *trackingu*.

Każdy krok silnika precyzyjnego to z kolei przemieszczenie kątowe wynoszące $7,5^\circ$. Biorąc pod uwagę ogólne przełożenie napędu zgrubnego i precyzyjnego (ramię dźwigni, mechanizm napędowy) można osiągnąć minimalny postęp precyzyjnego napędu równy $0,3''$. Przekłada się to na dokładność pozycjonowania teleskopu w zakresie $1''$ kątowej.

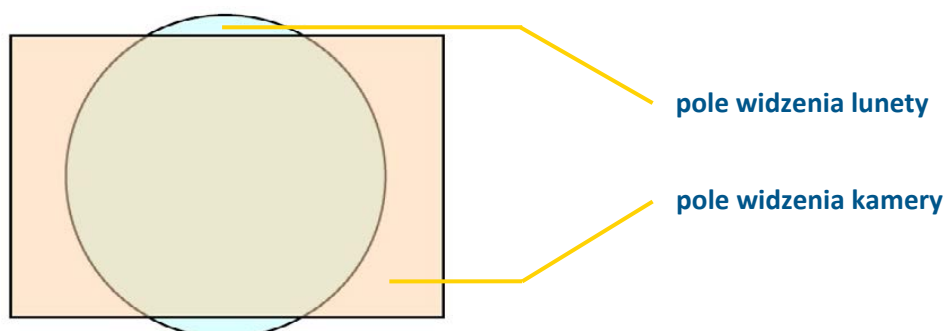
Poprzez zablokowanie lunety oraz alidady przy pomocy mechanicznego zacisku w systemie napędowym, FOCUS 35 zyskuje bardzo wysoką wewnętrzną stabilność, co pomaga zapobiec wibracjom instrumentu, niezależnie od sposobu jego ustawienia na stanowisku. Oznacza to także, że luneta pozostaje stale właściwie wycelowana i może przetrzymać wpływ czynników zewnętrznych, takich jak wiatr lub naciśnięcie klawisza na panelu użytkownika.

Poziome i pionowe napędy StepDrive są zaprojektowane niemal identycznie.

Technologia LockNGo™

Zastosowana w tachimetrze FOCUS 35 technologia LockNGo, pozwalająca na automatyczne blokowanie, mierzenie oraz śledzenie celu została stworzona na bazie najnowszych osiągnięć w przetwarzaniu obrazów cyfrowych. Technologia ta w związku z tym może być użyta w połączeniu z dowolnym pasywnym pryzmatem geodezyjnym.

System LockNGo składa się z nadajnika oraz odbiornika. Jako nadajnik wykorzystywane jest źródło światła laserowego o długości fali równej 850 nm, emitujące niewidzialną wiązkę lasera (klasy 1). Odbiornikiem jest natomiast sensor CMOS z polem widzenia o wymiarach $2,1^\circ \times 1,4^\circ$ (Hz x V).



Rys. 12: Porównanie pól widzenia lunety i kamery

Ze względu na wymiary matrycy CMOS, poziome pole widzenia kamery jest szersze niż zakres widzenia lunety. Jest to spora zaleta podczas szukania i śledzenia pryzmatu, kiedy tachimetr może „zobaczyć” większy obszar w poziomie.

Szybkość systemu napędowego nie jest jedynym czynnikiem decydującym o możliwości śledzenia pryzmatu. Równie ważna jest częstotliwość przetwarzania sygnałów otrzymywanych przez sensor kamery. W trybie LockNGo w ciągu jednej sekundy procesor sygnału cyfrowego jest w stanie przetworzyć nawet 109 zdjęć. Oznacza to, że tachimetr 109 razy na sekundę otrzymuje informacje, w którym kierunku przesuwa się cel.

Szybkość obrotu instrumentu zależy od odległości od pryzmatu. Maksymalna wartość $99^\circ/\text{s}$ jest osiągana przy prędkości obiektu równej 7,8 m/s na dystansie 5 m. Dzięki temu napęd tachimetru FOCUS 35 jest wystarczająco szybki. System pomiaru kątów z zegarem o częstotliwości 200 Hz jest zawsze w stanie nadążyć za obwodem sterującym.

Prędkość/ Zasięg	1 m/s (3,6 km/h)	7,8 m/s (28 km/h)
100 m	0,64 ^g /s	5 ^g /s
10 m	6,4 ^g /s	50 ^g /s
5 m	12,7 ^g /s	99 ^g /s

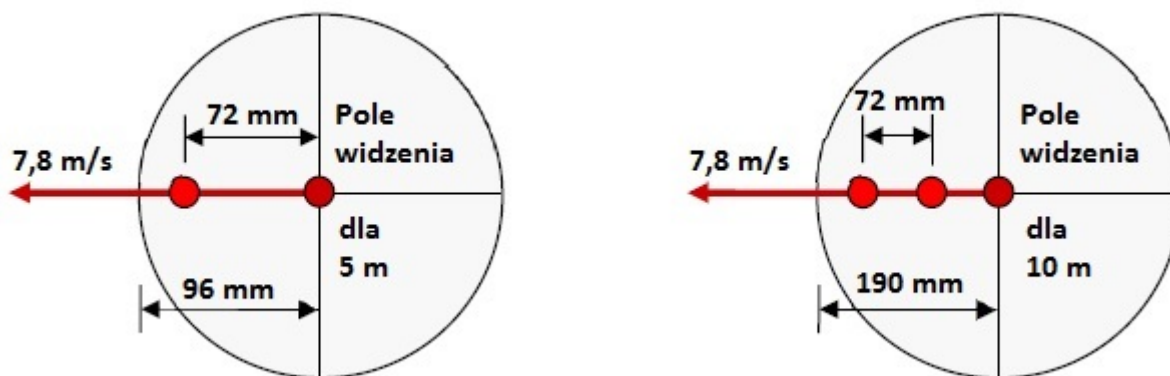
Tab. 2: Wymagana prędkość kątowa tachimetru dla różnych odległości od celu

Parametr	Wartość
Maks. częstotliwość zegara	109 Hz
Rozdzielczość przy maks. prędkości 7,8 m/s	72 mm
Połowa pola widzenia (kątowno)	1,1°
Połowa pola widzenia – 100 m	1,92 m
Połowa pola widzenia – 10 m	0,19 m
Połowa pola widzenia – 5 m	0,096 m

Tab. 3: Parametry sensora LockNGo

Warto w tym miejscu postawić pytanie, czy sensor kamery może stale utrzymywać śledzenie pryzmatu, zwłaszcza, że gdy obiekt jest umiejscowiony w centrum krzyża nitek, tachimetr ma do dyspozycji jedynie połowę swojego pola widzenia.

Analizując kolejny rysunek można dostrzec, że nawet przy maksymalnej prędkości równej 7,8 m/s nowa pozycja pryzmatu może być wyznaczona już przy odległości 5 m. Dla 10 m wyznaczone będą nawet dwie nowe pozycje celu. Jeśli weźmiemy pod uwagę czas reakcji oraz przyspieszenie napędu można realnie przyjąć, że FOCUS 35 jest w stanie śledzić pryzmat poruszający się z prędkością ok. 7 m/s na dystansie 10 m od tachimetru.



Rys. 13: Wyznaczone pozycje pryzmatu dla połowy pola widzenia na dystansie 5 i 10 m

Wniosek: w połączeniu z napędem StepDrive technologia LockNGo zapewnia bardzo precyzyjne i niemal natychmiastowe podążanie za celem.

Dalszym kryterium jakości śledzenia pryzmatu jest to, jak bardzo system jest podatny na obecność zakłóceń, tj. innych, niewłaściwych celów (np. kamizelek odblaskowych) oraz co się stanie, kiedy w polu widzenia pojawi się inny pryzmat. W przypadku tachimetru FOCUS 35, kiedy sensor kamery zablokuje się na właściwym celu, inteligentne oprogramowanie cały czas sprawia, że inne cele (czy też odbicia światła) są po prostu ignorowane.

Jeżeli jakiś cel zostanie odnaleziony podczas procesu wyszukiwania, system kilkakrotnie sprawdza, czy na pewno jest to pryzmat. Oznacza to, że na przykład mocne refleksy Słońca lub inne jasne źródła światła (reflektory samochodowe itp.) są natychmiast eliminowane.

Podczas wykonywania pomiarów często zachodzi konieczność pracy w odblaskowych kamizelkach. Zwłaszcza na krótkich dystansach może to powodować błędy w akwizycji pryzmatu lub nawet niewłaściwe „zablokowanie” tachimetru na kamizelce.

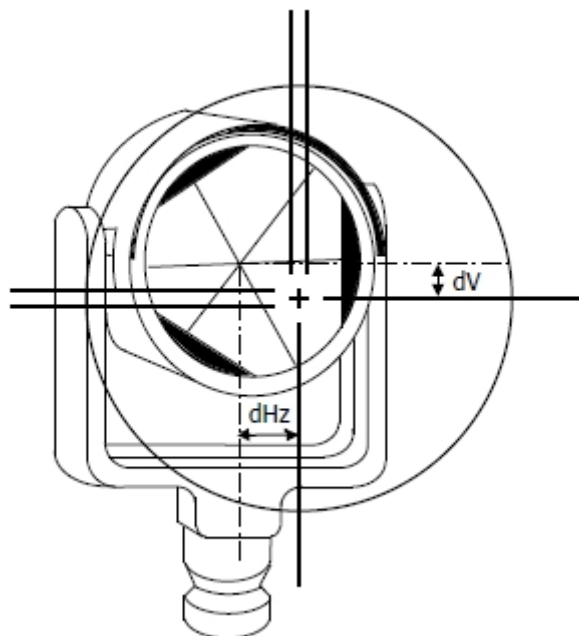
FOCUS 35 LockNGo				Inny tachimetr			
Bez kamizelki odblaskowej		Z kamizelką widoczną w tle		Bez kamizelki odblaskowej		Z kamizelką widoczną w tle	
Hz [°]	V [°]	Hz [°]	V [°]	Hz [°]	V [°]	Hz [°]	V [°]
70,1549	100,1668	70,1551	100,1670	200,7445	99,9068	200,7451	99,9074
70,1551	100,1668	70,1550	100,1670	200,7445	99,9069	200,7451	99,9084
70,1550	100,1669	70,1550	100,1670	200,7445	99,9070	200,7448	99,9097
70,1550	100,1668	70,1549	100,1670	200,7445	99,9071	200,7443	99,9092
70,1551	100,1668	70,1550	100,1669	200,7445	99,9070	200,7436	99,9091
70,1549	100,1669	70,1550	100,1669	200,7446	99,9070	200,7429	99,9067
70,1549	100,1669	70,1551	100,1670	200,7445	99,9070	200,7427	99,9071
70,1550	100,1669	70,1550	100,1670	200,7445	99,9070	200,7431	99,9092
70,1550	100,1670	70,1551	100,1669	200,7445	99,9070	200,7440	99,9097
70,1550	100,1669	70,1551	100,1670	200,7444	99,9070	200,7437	99,9086
$\sigma = 0,7^{cc}$	$\sigma = 0,7^{cc}$	$\sigma = 0,7^{cc}$	$\sigma = 0,5^{cc}$	$\sigma = 0,5^{cc}$	$\sigma = 0,8^{cc}$	$\sigma = 8,9^{cc}$	$\sigma = 10,9^{cc}$

Tab. 4: Wpływ kamizelki odblaskowej na wyniki obserwacji na podstawie przykładowej serii odczytów kątów (σ – odch. standardowe)

Tab. 4 obrazuje efekt, jaki wywiera na pomiary kątowe kamizelka odblaskowa z poziomymi, odblaskowymi pasami, poruszająca się w losowy sposób w odległości 14 m za pryzmatem – w porównaniu do innego instrumentu wyposażonego w automatyczny sensor śledzenia. Dzięki zaawansowanej technologii LockNGo wynik pomiaru tachimetrem FOCUS 35 nie został w żaden sposób zaburzony.

W trybie LockNGo instrument natychmiast blokuje się na pryzmacie i automatycznie przechodzi w tryb śledzenia. W momencie wywołania pomiaru, w oparciu o cyfrowy obraz z kamery wyznaczane są odchyłki dHz i dV do środka pryzmatu. Następnie wartości tych odchyłek są dodawane do zmierzonych wartości kierunków poziomych i pionowych. Pozycja krzyża nitki kamery jest zdefiniowana przez tzw. piksel referencyjny, który może zostać wyznaczony przez użytkownika za pomocą oprogramowania pomiarowego.

Ta metoda obserwacji celu znacząco przyspiesza pomiary. Zamiast czasochłonnej procedury celowania w środek pryzmatu, w tym przypadku potrzeba jedynie ułamka czasu na „złapanie” tarczy lustra. W ciągu zaledwie 0,5 s wykonywane i automatycznie uśredniane jest kilka odczytów z obiektywu kamery. Dzięki temu znacznie podwyższana jest również dokładność pomiarów, zwłaszcza w przypadku złych warunków atmosferycznych, np. falowania powietrza.



Rys. 14: Celowanie z wykorzystaniem technologii LockNGo

Jeżeli jednak użytkownik woli tradycyjną metodę celowania na środek pryzmatu, wystarczy wyłączyć tryb LockNGo w ustawieniach oprogramowania pomiarowego. Wówczas instrument będzie zawsze automatycznie przesuwiał się do geometrycznego środka lustra i żadne poprawki matematyczne nie będą wprowadzane.

Technologia GeoLock™ i pomiary zintegrowane

Technologia GeoLock pozwala na wykorzystanie odbiornika GPS/GNSS do znacznego zwiększenia wydajności pracy z tachimetrem FOCUS 35 w wersji robotycznej. W tym celu zastosować można zarówno precyzyjne odbiorniki GNSS RTK, jak i odbiorniki nawigacyjne wbudowane w kontrolery typu Ranger i Nomad, ale także zwykłe odbiorniki cywilne, obsługujące protokół NMEA. Wyższa dokładność odbiornika, z którego korzystamy przekłada się na większą skuteczność technologii GeoLock. Jednak nawet prosty odbiornik GPS, zapewniający dokładność na poziomie 2-5 m jest w większości przypadków zupełnie wystarczający do tego, aby obrócić instrument we właściwym kierunku i znacznie przyspieszyć proces wyszukiwania pryzmatu.

Strumień danych GPS otrzymywanych z odbiornika odnosi się zawsze do elipsoidy WGS-84. Jeżeli nasz tachimetr został zorientowany w państwowym układzie współrzędnych płaskich (np. PUWG 2000 lub PUWG 1992) przeliczenie współrzędnych GPS odbywa się automatycznie i żadna transformacja nie będzie potrzebna. Jeśli jednak pracujemy w lokalnym układzie współrzędnych, zachodzi konieczność kalibracji pomiarów z odbiornika GPS na nasz układ lokalny. Kalibracja zostanie wykonana automatycznie przez oprogramowanie Survey Pro.



Rys. 15: Pomiar punktów dostosowania do kalibracji technologii GeoLock

Po ustawieniu stanowiska i rozpoczęciu wykonywania pomiarów tachimetrycznych, Survey Pro do każdej pary współrzędnych lokalnych będzie przypisywać koordynaty pozyskane z odbiornika GNSS. Aby wykonać kalibrację należy zebrać minimum siedem par obserwacji. Proces ten można wykonać praktycznie w kilka sekund przedstawiając na początku pomiarów dalmierz tachimetru w tryb trackingu, blokując lunetę na pryzmacie i przechodząc kilkanaście metrów po terenie obserwacji.

Jeżeli do kalibracji wykorzystaliśmy precyzyjny odbiornik GNSS RTK umieszczony zaraz powyżej pryzmatu, dokładność wpasowania będzie od razu bardzo wysoka. Jeśli jednak korzystaliśmy np. z odbiornika wbudowanego w rejestrator Ranger 3, wówczas może zajść konieczność ciągłego monitorowania jakości kalibracji GeoLock i ulepszania jej w trakcie wykonywania dalszych pomiarów. Pozwoli to także na odrzucenie obserwacji obciążonych dużym błędem i zastąpienie ich lepszymi rozwiązaniami. Ma to szczególne znaczenie jeśli korzystamy z technologii GeoLock do ustawienia lunety tachimetru zarówno w poziomie, jak i w pionie.

Podczas zbierania danych do wykonania kalibracji należy pamiętać o kilku istotnych zależnościach opisanych poniżej.

- Dobieranie par punktów odbywa się poprzez łączenie obserwacji z tachimetru i odbiornika GNSS wykonanych w tym samym czasie. Jeśli dla wybranego momentu czasu GPS, nie ma ściśle odpowiadającego mu pomiaru tachimetrycznego, wówczas zostanie wykonana interpolacja obserwacji wykonanych bezpośrednio przed i po wyznaczeniu pozycji GPS. Łączenie bardziej dokładnych pomiarów optycznych z mniej dokładnymi obserwacjami GPS pozwala programowi akceptować jedynie te wyznaczenia, które nie pogorszą dokładności kalibracji.
- Pozycje wyznaczone w momencie gdy pomiarowy pozostaje w bezruchu będą dokładniejsze niż te, które zostały pozyskane w momencie przemieszczania się. Dlatego też będą one miały większą wagę podczas obliczeń poprawności pomiarów.
- To, jak bardzo odległe od siebie mogą być odpowiadające sobie obserwacje optyczne i satelitarne określa specjalny filtr prędkości. Jeżeli szybkość przemieszczania się pomiarowego przekracza zdefiniowaną wartość tolerancji, wówczas pozycje GPS zostaną odrzucone. Sytuacja taka może mieć miejsce np. po utracie widoczności któregoś z satelitów lub w pobliżu przeszkód terenowych.
- Obserwacje GPS są filtrowane także przy pomocy współczynnika DOP (Dilution Of Precision), dzięki czemu GeoLock odrzuca pozycje wyznaczone przy słabej widoczności nieba – np. w pobliżu budynków oraz w innych miejscach o wysokiej wielodrożności sygnału.

Ciągła kontrola jakości obserwacji w oparciu o tak skonstruowane kryteria zapewnia zwiększenie precyzji wpasowania w miarę postępu pomiarów i w efekcie finalnym pozwala na osiągnięcie wysokiej dokładności kalibracji GeoLock.

Od momentu gdy transformacja współrzędnych zostanie automatycznie obliczona, użytkownik zyskuje bardzo pomocne narzędzie pomiarowe. Aktualny status GeoLock wskazują następujące ikony, widoczne na górze ekranu rejestratora:



- wyłączony (zablokowany)



- brak pozycji GPS lub stanowisko nieustawione



- kalibracja w toku



- GeoLock gotowy

Kiedy technologia GeoLock jest aktywna i gotowa do użycia, na ekranie Kontroli Zdalnej pojawia się odpowiedni przycisk. Można go użyć w dwóch poniższych przypadkach.

- Kiedy tachimetr przestał śledzić pryzmat.
- Kiedy pozycje z tachimetru oraz odbiornika GNSS są wyraźnie różne, lub kiedy jedna z pozycji się przesuwa, a druga pozostaje w miejscu. Taka sytuacja może mieć np. miejsce, gdy użytkownik zdalnie obrócił tachimetr na inny cel lub nawiązanie.

Gdy przycisk GeoLock zostanie aktywowany, bieżąca pozycja GNSS jest transformowana do układu lokalnego tachimetru przy użyciu bieżących parametrów kalibracji. Następnie instrument obraca się w kierunku pozycji GNSS i rozpoczyna proces wyszukiwania pryzmatu.

Zakres okna wyszukiwania można dostosować w oprogramowaniu Survey Pro, minimalizując dzięki temu czas potrzebny na odnalezienie celu. W przypadku standardowych ustawień i przy wykorzystaniu odbiornika GPS wbudowanego w kontroler Rnager 3, przeciętny czas odnalezienia pryzmatu (od momentu naciśnięcia przycisku GeoLock) wynosi poniżej 10 sekund. W przypadku precyzyjnego odbiornika GNSS RTK czas ten skraca się nawet do 3 sekund! To zdecydowanie szybsza metoda szukania celu niż manualne sterowanie tachimetrem z poziomu rejestratora.

Jedną z największych zalet technologii GeoLock – w porównaniu do konkurencyjnych sposobów odnajdywania pryzmatów – jest brak ograniczenia związanego z odległością celu. GeoLock zadziała nawet w przypadku gdy instrument jest oddalony od pryzmatu o kilka kilometrów.

Pomiary zintegrowane (tachimetr + odbiornik GNSS)

Precyzyjny odbiornik GNSS RTK możemy oczywiście wykorzystać nie tylko do kalibracji GeoLock, ale przede wszystkim do wspomagania samego procesu wykonywania pomiarów. Jeżeli umieścimy go na tej samej tyczce co pryzmat, w znaczący sposób możemy przyspieszyć zbieranie obserwacji terenowych. Obsługę takich pomiarów umożliwia oprogramowanie Survey Pro w wersji MAX+. Pozwala ono m. in. na:

- Wyznaczenie stanowiska tachimetru metodą wcięcia wstecz, przy wykorzystaniu punktów pomierzonych odbiornikiem GNSS RTK, co pozwala na założenie stanowiska w praktycznie dowolnym miejscu. Punkty te natychmiast po wyznaczeniu metodą satelitarną są mierzone za pomocą tachimetru. Nie ma więc nawet konieczności ich trwałej stabilizacji.
- Szybkie przełączanie się pomiędzy odbiornikiem GNSS i tachimetrem w toku prowadzonych pomiarów. Dzięki temu w miejscach o ograniczonej widoczności nieba można wykonywać obserwacje optyczne, natomiast w momencie utraty wizury pomiędzy stanowiskiem tachimetru i pryzmatem, jednym przyciskiem przełączyć się na odbiornik GNSS.

Co bardzo istotne, moduł MAX+ nie wymaga odblokowywania dodatkowych opcji w kontrolerze. Jest standardowo dostępny dla wszystkich użytkowników posiadających oprogramowanie Survey Pro w wersji MAX.

Podsumowanie

Tachimetr zrobotyzowany Spectra Precision FOCUS 35 jest instrumentem zaprojektowanym do codziennych zadań pomiarowych. Jest prosty w obsłudze, wygodny w użytkowaniu i zapewnia precyzyjne wyniki obserwacji. Zastosowanie najnowszych technologii elektro-optycznych czyni z niego światowej klasy narzędzie pomiarowe, konkurencyjne nawet dla znacznie droższych instrumentów.

Jeśli chcesz przekonać się jak FOCUS 35 sprawuje się w konkretnych zadaniach pomiarowych – zapraszamy do kontaktu! Już dziś zadzwoń i umów się na bezpłatną prezentację możliwości tego instrumentu w dogodnym dla Ciebie terminie i miejscu.

Zespół NaviGate Sp. z o.o.

Kliknij i zobacz FOCUS 35 w GeoSklepie

