

Systemy sterowania maszynami budowlanymi

GIGANTY na uwieży

Dotychczasowe atrybuty geodezyjnej obsługi budownictwa drogowego, czyli drewniany kołek i żyłka, przejdą chyba wkrótce do historii. Dzięki systemom sterowania wielkie jak dinozaury maszyny budowlane już dziś wykonują roboty z milimetrową precyzją.



Testowanie systemu sterowania Leiki na budowie autostrady pod Poznaniem

Systemy sterowania maszynami do prac ziemnych i drogowych oferowane są przez trzy największe firmy produkujące sprzęt geodezyjny: Leicę, Topcon i Trimble'a. Ze względu na rodzaj instrumentów pomiarowych można podzielić je na systemy wykorzystujące:

- tachimetry,
- odbiorniki GPS,
- niwelatory laserowe i sensory ultradźwiękowe.

Systemy oparte na tachimetrach są najbardziej dokładne i stosowane głównie tam, gdzie precyzja pracy musi osiągać wartości milimetrowe, a mianowicie na rozścielaczach asfaltu, betonu lub podobnych maszynach. Odbiorniki GPS montowane są przeważnie na spychaczach i równiarkach, które przeznaczone są do prac prowadzonych z dokładnościami centymetrowymi. Trzecia grupa wykorzystuje niwelatory laserowe, mogące zapewnić precyzję zbliżoną do uzyskiwanej za pomocą tachimetrów, natomiast ich parametry techniczne powodują pewne ograniczenia w wykorzystaniu na placu bu-

dowy. Urządzenia te montuje się zarówno w spychaczach, równiarkach, jak i w koparkach oraz rozścielaczach.

Dwa pierwsze rozwiązania należy zaliczyć do tzw. systemów trójwymiarowych. Oprócz wyznaczania poziomu, kształtu powierzchni i ewentualnych spadków, są w stanie określić dokładną pozycję maszyny w dowolnym układzie współrzędnych.

Trzeci system może być – w zależności od konfiguracji sprzętowej – jedno- lub dwuwymiarowy. Jeżeli na maszynie zainstalujemy jeden sensor laserowy, to będzie on realizował tylko określony spadek (jeden wymiar). W przypadku, gdy dodamy drugi taki sam sensor lub odbiornik ultradźwiękowy albo też mierniki przechyleń, otrzymamy system dwuwymiarowy, który może wyznaczać zadaną wysokość i spadek. Mówiąc o systemie, musimy pamiętać, że oprócz tachimetru, lustra, odbiorników GPS czy sensorów laserowych i ultradźwiękowych tworzy go jeszcze kilka innych bardzo istotnych elementów.

Jakie były początki

Leica pierwsze systemy sterowania maszynami wprowadziła do sprzedaży na początku lat 90. W Polsce działa obecnie jeden system tachimetryczny Leiki, zainstalowany w 2004 roku w firmie PRInz, a także około 10 systemów kombinowanych.

Topcon tego typu rozwiązania zaoferował na początku lat 90., a w naszym kraju zagościły one już w 1992 roku. Dzisiaj pracuje także jeden system tachimetryczny, którego właścicielem jest firma Strabag. Poza tym działa około 30 systemów mieszanych, głównie laserowo-ultradźwiękowych.

Trimble opracował systemy sterowania w 1995 roku, a do Polski przybyły one wraz z zagranicznymi przedsiębiorstwami budowlanymi.

Do tej pory żadna firma w Polsce nie zainstalowała systemu wykorzystującego GPS.

Za sprzedaż produktów Leiki odpowiada firma Baltkam z Warszawy, Topcon – oddziały firmy TPI, a Trimble'a – Geotronics z Krakowa.



Rozścielacz asfaltu wspomagany ultradźwiękowym systemem Topcona

Systemy pracujące z tachimetrami

Tachimetry stosowane w systemach sterowania maszynami muszą być wyposażone w opcję śledzenia lustra. By zapewnić maksymalną dokładność pomiaru, instrument nie może być obsługiwany przez człowieka, a jego działanie musi być w pełni zautomatyzowane. Leica przewiduje do tego celu zmotoryzowane tachimetry serii TPS 1100/1200 i TCA 1800/2003. W przypadku Topcona jest to instrument GRT-2000, a Trimble'a – model ATS (jego specyficzną cechą jest możliwość takiego zaprogramowania, by odnajdywał aktywne lustro).

W przypadku Leiki i Trimble'a nieodłącznym elementem zestawu są radiomodemy służące do komunikacji instrumentu z maszyną. W systemie Leiki radiomodem jest oddzielnym urządzeniem, które trzeba podłączyć do tachimetru, natomiast

u Trimble'a jest on wbudowany w instrument. Firma Topcon zastosowała inne rozwiązanie – laserową drogę transmisji danych. Wychodząc z założenia, że fala radiowa ulega znacznym zakłóceniom i interferencji, a prędkość przesyłania informacji drogą laserową jest 5-10 razy większa, uznano, że można w ten sposób poprawić precyzję pomiaru. Ujemną cechą tego rozwiązania jest zasięg pracy tachimetru, ograniczony mocą lasera, a także konieczność posiadania specjalnego odbiornika, który moduluje odbierane dane. Do pracy tachimetru niezbędne jest lustro o zakresie 360°. Specyficzny sposób działania zestawu Topcon'a powoduje, że w jednym „opakowaniu” o nazwie 3D LS-2000 umieszczono takie właśnie lustro, odbiornik laserowy i ultradźwiękowy oraz elektronikę do przetwarzania danych przesyłanych drogą laserową. Trimble użył w tym przypadku tzw. aktywnego lustra, które jest jednoznacznie identyfikowane przez tachimetr, ale wadą tego rozwiązania jest konieczność zasilania zwierciadła.

Pozostałe elementy systemu

Na maszynie i w kabinie operatora zainstalowane są jeszcze inne urządzenia. Na lemieszach spychacza, równiarki, stole rozścielacza lub na samej maszynie zakładane są czujniki przechyleń. W przypadku Leiki jest ich cztery: czujnik montowany na maszcie lustra, czujnik przechylecia lemiesza (dwuosiowy), czujnik obrotowy i czujnik wychyleń całej maszyny. Top-



Radiomodem systemu Leica na dachu równiarki



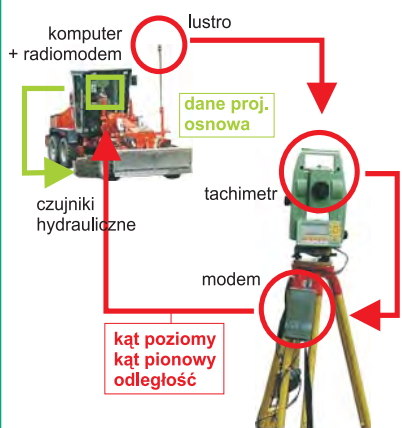
Hydraulika maszyny budowlanej

System tachymetryczny	Leica	Topcon	Trimble
Nazwa systemu	LMGS (Leica Machine Guidance System) LMGS-G (równiarka), LMGS-S (slipform pavers), LMGS-P (rozścielacz)	3D-MC LPS (3 Dimensional Machine Control)	Blade Pro 3D Machine Control System
Model tachimetru	seria TCA 1800/2003, seria TPS 1100/1200	GRT-2000	Trimble ATS
Radiomodem	TCPS26, TCPS27	brak	wbudowany
Liczba czujników przechyleń	4	3	3
Skrzynka kontrolna	MPC4, dotykowy panel	System V 3D Box, dotykowy panel	SV170, tradycyjne klawisze
Lustro	GRZ 121, zwierciadło 360°	3D LS-2000, zwierciadło 360°	aktywne zwierciadło 360°
Dokładność określenia wysokości	2-5 mm / 200 m	±3 mm	2 mm / 200 m
Dokł. określenia pozycji	2-5 mm / 200 m	±3 mm	2 mm / 200 m
Zasięg pracy systemu (średnica)	1000 m	600 m	700 m
Rekomendowany zasięg pracy systemu	400-800 m	600 m	200 m
Cena netto	od 370 tys. zł	od 400 tys. zł	brak danych

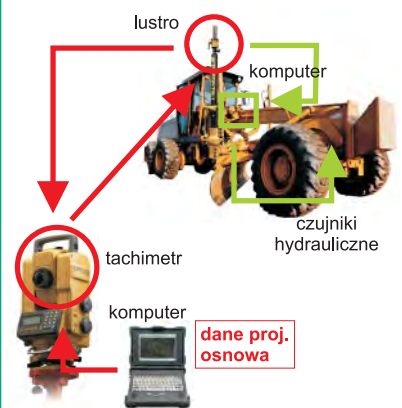
con i Trimble instalują trzy czujniki: jeden mierzący wychylenie poprzeczne lemiesza, drugi – obrotowy i trzeci, tzw. czujnik główny, który określa wychylenie całej maszyny.

Jedną z najważniejszych części takiego zestawu jest hydraulika (liczne przewody, zawory, kable itp.). Patrząc na system z czysto „cyfrowego” punktu widzenia, sprawa jest prozaiczna i ogranicza się do zamontowania niewielkiej skrzynki, która odbiera sygnały płynące z komputera i steruje złożoną hydrauliką maszyny. Nieodłącznym elementem systemu jest wspomniany komputer lub wskaźnikowy panel kontrolny zainstalowany w kabinie, na którym wyświetlane są wszystkie niezbędne informacje związane z wykonywanymi pracami. I tak, operator może zdefiniować grubość warstwy nawierzchni, spadek czy wirtualną oś, po której będzie poruszała się maszyna. Może także wybrać rodzaj instrumentu, bo w każ-

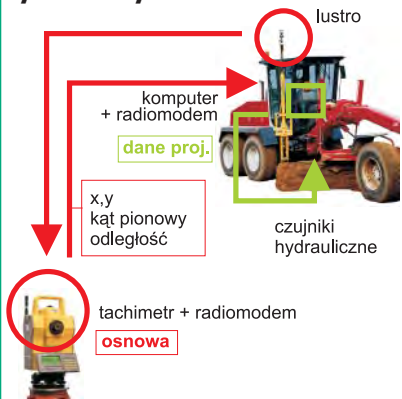
System firmy Leica



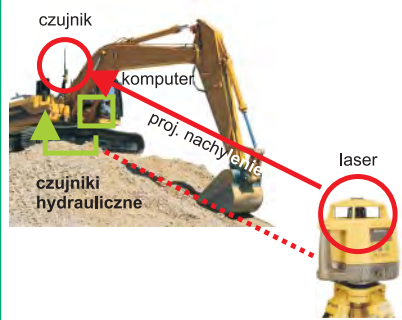
System firmy Topcon



System firmy Trimble



Przykład działania systemu laserowego Topcon



dym przypadku oprogramowanie zainstalowane w skrzynce kontrolnej pozwala pracować z tachimetrem, odbiornikiem GPS, jak również z niwelatorem laserowym.

W komputerach Leiki (MPC4), Topcon (System V 3D Box) i Trimble'a (SV170), oprócz opcji konfigurowania i kontroli pracy maszyny, można dodatkowo wyświetlać numeryczny model terenu oraz przekroje podłużne i poprzeczne. Leica i Topcon zastosowały dotykowy panel kontrolny, natomiast u Trimble'a natrafimy na tradycyjne klawisze. Połączona kablami hydraulika i czujniki wychyleń wpinane są do skrzynki (tzw. junction box), która współpracuje z komputerem-panelem kontrolnym w kabinie operatora.

● Jak to wszystko działa?

Aby system funkcjonował prawidłowo, na wstępie do komputera należy wprowadzić informacje o geometrycznym położeniu lustra w stosunku do elementów np. lemiesza. Czynność tę wykonuje się jednorazowo po każdym demontażu i kolejnym złożeniu systemu. Następnie należy „wypasażyć” komputer we wcześniej przygotowane dane projektowe. W przypadku Leiki są one eksportowane do komputera w postaci numerycznego modelu terenu (w formacie D45). Mogą być przygotowane np. w programie InRoads firmy Bentley Systems. Wśród nich są także informacje o punktach osnowy. Do tachimetru nie są ładowane żadne dane, natomiast musi on być wyposażony w oprogramowanie MGUIDE służące do komunikowania się przez radiomodem z komputerem w maszynie.

W przypadku systemu oferowanego przez Topcon sytuacja wygląda odmiennie. Do tachimetru podłączony jest komputer polowy (rejestrator, kontroler), na którym za-

instalowane jest oprogramowanie MS 2000. Wszystkie dane projektowe przenoszone są w dowolnym formacie do tego właśnie komputera i stamtąd wysyłane drogą laserową do maszyny. U Trimble'a natomiast dane o osnowie przechowywane są w tachimetrze, a projektowe – także w dowolnym formacie eksportowane do komputera na maszynie.



Topcon – zestaw sterujący 3D LPS

Tachimetr, po wcześniejszym jego zorientowaniu na punkty osnowy, wykonuje bardzo szybkie pomiary w trybie *tracking* i określa w ten sposób współrzędne płaskie X, Y maszyny, a także odległość i kąt pionowy. Wyniki wysyła do komputera, gdzie są one –wraz z informacjami z czujników przechyleń lub innych sensorów określających położenie maszyny i jej elementów – przeliczane i porównywane z projektowanymi danymi. Komputer oblicza różnicę i wysyła impulsy do hydrauliki, która automatycznie koryguje nachylenie i wysokość lemiesza lub stołu rozścielacza. W przypadku całkowitej automatyzacji robót działania operatora ograniczają się do sterowania maszyną w przód i w tył, a także interwencji w momencie zmiany kierunku jazdy. Można tutaj wyróżnić kilka trybów pracy. Maszyna porusza się po zadanej wirtualnej linii odniesienia (Topcon), względem dwóch skrajnych linii odniesienia (Leica) lub – po wprowadzeniu numerycznego modelu terenu – może działać w dowolnym kierunku, a na ekranie komputera pokazywane jest jej położe-

System GPS	Leica	Topcon	Trimble
Nazwa systemu	Dozer 2000 (spychacze), GradeStar (równiarki, spychacze)	3D-MC GPS (3 Dimensional Machine Control)	SiteVision GPS Grade Control System
Model odbiornika GPS	GPS System 500, GPS System 1200	GPS+	MS860
Radiomodem	ogólnodostępne	ogólnodostępne	SiteNet
Liczba czujników przechyleń	4	3	3
Skrzynka kontrolna	MPC4, dotykowy panel	System V 3D Box, dotykowy panel	SV170, tradycyjne klawisze
Dokładność określenia wysokości	20-50 mm	15 mm	20-30 mm
Dokł. określenia pozycji	10-20 mm	15 mm	20-30 mm
Zasięg pracy systemu	do 10 km	do 10 km	do 20 km
Cena netto	od 450 tys. zł	od 400 tys. zł	brak danych



Spychacz z antenami Trimble'a



Panel sterujący Trimble'a w spychaczu



Kontrola prac ziemnych (Trimble)

nie na tle NMT. Można także „wyświetlić” mapę terenu do końcowego profilowania terenu już wstępnie wyrównanego (Trimble).

● Ograniczony zasięg

Systemy tachymetryczne oferują dokładności pozwalające zautomatyzować kontrolę maszyn drogowych, od których wymagana jest milimetrowa precyzja prac, dlatego montowane są one głównie na rozścielaczach asfaltu. Nie oznacza to, że nie można ich zainstalować na przykład na równiarce lub spychaczu. Mówiąc o dokładności takiego systemu, nie należy też zapominać o jego ograniczeniach. Naturalną przeszkodą w stosowaniu tachimetru jest oczywiście widoczność lu-

stra. Dlatego, aby nie przerywać pracy maszyny, w systemie mogą pracować dwa tachimetry. Drugim ograniczeniem jest zasięg samego instrumentu (do 700 m), jak również zasięg radia, a w przypadku Topcon – moc lasera. Aby osiągnąć dokładność rzędu 1,5-3 mm, odległość instrumentu od maszyny nie powinna przekraczać 200 m.

● Systemy pracujące z odbiornikami GPS

Do prac wymagających mniejszej precyzji, które można ułożyć w środku ciągu technologicznego prowadzącego do ułożenia końcowej warstwy nawierzchni, wykorzystuje się technologię GPS. Ele-

menty wchodzące w skład zestawu nie różnią się niczym od tych w systemach opartych na tachimetrze, poza jednym wyjątkiem. Firma Trimble zdecydowała się zastąpić czujnik przechylenia lemiesza spychacza dodatkową anteną GPS.

Elementami wspólnymi w stosunku do systemu tachymetrycznego są: czujniki przechyleń, radiomodem i komputer pokładowy. Tachimetr został zastąpiony odbiornikiem GPS, a dokładnie mówiąc, dwoma. Jeden z nich działa jako stacja bazowa i wysyła poprawki korekcyjne, natomiast drugi spełnia rolę odbiornika. Oba pracują w trybie RTK. Sama idea działania jest taka sama. Do komputera pokładowego wgrywane są dane projektowe, radiomodem przesyła ze stacji bazowej poprawki do odbiornika ruchomego, komputer odbiera dane z czujników przechylenia i GPS, wykonuje obliczenie i porównuje je z danymi projektowymi, a następnie przesyła sygnał do hydrauliki, która zmienia położenie lemiesza spychacza lub równiarki. Osiągane dokładności są rzędu 2-3 cm. Leica przeznaczyła do współpracy z takimi systemami instrumenty GPS System 500 i nowy GPS System 1200, Topcon proponuje urządzenie GPS+, które ma możliwość odbierania sygnałów również z satelitów GLO-NASS. Trimble oferuje w swoim zestawie odbiornik MS860.

Niezaprzeczalną zaletą systemów GPS jest ich mobilność. Z jednej stacji bazowej poprawki może odbierać kilka odbiorników ruchomych, nawet z odległości dochodzących do 20 km. Odpada tym samym wiele kłopotliwych czynności związanych z obsługą tachimetru, jak na przykład jego orientowanie. Stawiamy stację referencyjną na punkcie o znanych współrzędnych, włączamy odbiornik i system działa. Niestety, poważnym ograniczeniem jest osiągnięta dokładność, a co za tym idzie – zakres prac, w jakich może być on stosowany.

System laserowy	Leica	Topcon	Trimble
Nazwa systemu	PRO Control (spychacze, równiarki), DEPTHMASTER 200 (koparki)	Laser System V	GCS400 Grade Control System, GCS21 Grade Control System, PA Laser Grade Control System, BladePro System
Model niwelatora laserowego	Javelin, JavelinS	Topcon RL-H3C, RL-H1S, RL-H2S, RT-5 Sa	
Sensor laserowy	CAB Sensor, LS-250	Topcon LS-B2, LS-B3, LS-B4	Trimble LR21, Spectra Precision Laser CR600
Skrzynka kontrolna	PRO Control Panel	Topcon RD-2, System V 3D Box	SCB21 Control Box, RD21, GCR Grade Control Receiver
Dokładność określenia wysokości	±1,5 mm / 50 m	mniej niż 10 mm	±1,5 mm / 30 m
Zasięg pracy systemu	do 900 m	do 1600 m	do 900 m
Cena netto	od 50 tys. zł	od 50 tys. zł	brak danych

System ultradźwiękowy	Leica	Topcon	Trimble
Nazwa systemu	SonicMaster	Sonic Tracker	Sonic Tracer
Czujnik ultradźwiękowy	Sonic-Ski Ultrasonic	Sonic Tracker	Tracer Plus (ST2-25)
Skrzynka kontrolna	SonicMaster 2000	Control Box System V	Universal Remote (R-25)
Dokładność określenia wysokości	2-3 mm	1-2 mm	1,5-3 mm
Cena netto	od 50 tys. zł	od 40 tys. zł	brak danych



System GPS Leica zamontowany na spychaczu

● Systemy pracujące z laserami i ultradźwiękami

Opisane powyżej dwa systemy, oparte na tachimetrach i technologii GPS, są poważnie montowane z myślą o całkowitej automatyzacji prac drogowych. Operator maszyny steruje jedynie kierunkiem poruszania się maszyny, a nie ingeruje w czynności związane z ustawianiem lemieszka lub stołu rozścielacza. Systemy związane z instrumentami laserowymi (niwelatory) lub ultradźwiękowymi pozwalają na osiągnięcie podobnych dokładności jak tachimetru (2-3 mm), jednak należą do grupy systemów sterowanych ręcznie. Instaluje się je niekiedy w połączeniu z tzw. panelami wskaźnikowymi w kabinie operatora, ale najczęściej nie stosuje się żadnych skrzy-



Zestaw laserowy Trimble'a

nek kontrolnych, a diody umieszczone na sensorze laserowym wskazują operatorowi kierunek zmiany położenia lemieszka lub łyżki koparki. Niwelator laserowy to w podstawowej wersji połowa tego systemu. Drugą częścią jest sensor laserowy, który odbiera sygnały z niwelatora i określa odchylenia od płaszczyzny odniesienia przez niego realizowanej. Przyczepiony jest on do maszyny magnesem lub instalowany na specjalnej tycze, która umożliwia jego przesuwanie z dokładnością 1 milimetra (Topcon).

Bardzo istotny jest fakt, że system ten daje się rozbudowywać o dowolne elementy. Na przykład można zainstalować drugi sensor laserowy, czujniki przechyleń, hydraulikę i komputer, co natychmiast automatyzuje prace. Mankamentem takiego systemu jest konieczność przerywania prac w przypadku zmiany nachylenia formowanej powierzchni, no i oczywiście znacznie ograniczony zasięg, a także konieczność zachowania widoczności między niwelatorem i sensorem.

Do utrzymania stałej wysokości pracy maszyny mogą służyć także czujniki ultradźwiękowe, które pozwalają uzyskać dokładności rzędu 1-2 mm. Czujniki takie mają możliwość określania zadanego poziomu względem położonych już warstw nawierzchni lub innych elementów (na przykład po obu stronach drogi mamy ułożone krawężniki, a wierzchnia warstwa wylewanego asfaltu ma być 10 cm poniżej ich górnej krawędzi). Istnieje także możliwość pracy tym urządzeniem na poziomie zdefiniowanym przez rozciągniętą żyłkę lub sznurek. Urządzenia te stosuje się głównie w równiarkach i rozścielaczach w połączeniu z innymi instrumentami (niwelator laserowy). Warunkiem koniecznym poprawności ich działania jest jednak istnienie fizycznej powierzchni odniesienia wysokości. Czujnik ultradźwiękowy jest opatentowanym pomysłem firmy Topcon.

● Plusy i minusy

Podsumowując: wszystkie systemy są modularne i poszczególne elementy można łączyć w dowolny sposób i dostosowywać do konkretnych potrzeb. Każdy z nich można zainstalować na dowolnej maszynie, a także rozbudować do systemu trójwymiarowego i w pełni zautomatyzowanego. O wyborze rozwiązania decyduje wymagana dokładność i zasobność portfela.

Na koniec kilka słów o stronie użytkowej i ekonomicznej. Na zmontowanie systemu tachimetrycznego lub GPS potrzeba od 3 godzin do 2 dni. Przeszkolenie operatora maszyny trwa kilka godzin, a czło-



Skrzynka kontrolna Topcon System IV



Panel wskaźnikowy Leica

wieka odpowiedzialnego za obsługę tachimetru, odbiornika GPS lub niwelatora laserowego – 2 dni, zakładając, że nie jest geodetą. Użycie powyższych systemów zdecydowanie przyspiesza prace z jednoczesnym podniesieniem ich dokładności. Równocześnie mamy do czynienia z minimalizacją możliwości popełnienia błędów przez człowieka, które mogą się zdarzyć podczas tyczenia, niwelacji czy jakiegokolwiek innego pomiaru wykonywanego metodami tradycyjnymi. Poza tym systemy pracujące na danych cyfrowych ograniczają w znaczny sposób ilość materiałów „papierowych”. No i na koniec wymierne korzyści finansowe. Wprawdzie kupno systemu tachimetrycznego to wydatek rzędu 350-400 tys. zł, GPS – 450 tys. zł, alaserowego – 40 tys. zł, ale z doświadczeń firm zachodnich wynika, że w przypadku prac drogowych wydajność wzrasta o ponad 30%, przy precyzyjnych pracach wyrównawczych – o ponad 60%, a przy układaniu asfaltu – powyżej 25%.

Niestety, zastosowanie takich zaawansowanych technicznie systemów wiąże się z redukcją prac geodezyjnych prowadzonych na budowie, w niektórych przypadkach nawet o 75%. Nie zapominajmy jednak, że przygotowanie danych projektowych oraz obsługa instrumentów to nasza rola. I choć pracy dla nas zapewne będzie o wiele mniej, to może przynajmniej znacznie przybywać autostrad?

Zdjęcia: Marek Pudło, Leica, Topcon, Trimble