

Andrzej Uznański

**POMIARY SATELITARNE
W SYSTEMACH STEROWANIA
MASZYNAMI BUDOWLANYMI**

***SATELLITE SURVEYING IN CONSTRUCTION MACHINE
CONTROL SYSTEMS***

Streszczenie

W ostatnich latach nastąpił istotny wzrost zaangażowania w prace związane z rozbudową i modernizacją infrastruktury komunikacyjnej w Polsce. W przypadku transportu drogowego w coraz większym stopniu w obsłudze inwestycji stosowana jest automatyzacja procesu budowy. Powszechnie stosowane są systemy sterowania maszynami budowlanymi, które generalnie ograniczają udział geodety w pracach realizacyjnych na placu budowy.

W pracy scharakteryzowano rodzaje systemów sterowania maszynami budowlanymi, przedstawiono wykorzystywane rodzaje sensorów oraz ich zastosowanie związane z maszynami, na których są montowane. Przedstawione zostały aspekty technologiczne geodezyjnej obsługi inwestycji drogowej bazujące na pomiarach satelitarnych: statycznych opracowywanych w post-processingu, kinematycznych w czasie rzeczywistym RTK GPS oraz najpopularniejszych aktualnie sieciowych pomiarów kinematycznych w czasie rzeczywistym Real Time Network.

O zakresie wykorzystania pomiarów satelitarnych w systemach sterowania maszynami budowlanymi decyduje możliwa do osiągnięcia dokładność i niezawodność wyznaczonej pozycji. Ze względu na ruch maszyny budowlanej szczególnie istotnego znaczenia nabiera analiza wpływu latencji wyznaczonej pozycji organu roboczego maszyny z pomiarów satelitarnych w czasie rzeczywistym na dokładność prowadzonych prac budowlanych. Zagadnienia te zostały ujęte w pracy.

Słowa kluczowe: sterowanie maszynami budowlanymi, pomiary kinematyczne w czasie rzeczywistym RTK GPS, sieciowe pomiary kinematyczne w czasie rzeczywistym RTN, latencja

Summary

In recent years there has been a significant increase in engagement in the works associated with the development and modernization of communication infrastructure in Poland. In the case of road transport, automation of the construction process is increasingly being used to handle the investment. Construction machinery control systems, which generally restrict the participation of a surveyor in the works on the building site, are commonly being used.

The paper characterizes the types of construction machine control systems, the types of sensors which are used, and their application related to the machines on which they are mounted. Technological aspects of surveying services for road investments based on satellite surveys have been presented here: static developed in post-processing, Real Time Kinematic GPS and the currently most popular Real Time Network.

The achievable accuracy and reliability of the determined position decides about the scope of use of satellite surveys in the construction machine control systems. Taking into consideration the movement of a construction machine, the analysis of the latency influence of the machine body position determined from the satellite surveys in real time on the accuracy of the conducted construction works, gains special importance. These issues have been comprised in the paper.

Key words: machine control, Real Time Kinematic GPS, Real Time Network, latency

WPROWADZENIE

Aktualnie w większych inwestycjach drogowych w Polsce systemy sterowania maszynami budowlanymi (systemy SMB) są standardem. W wielu krajach przystąpienie do przetargu jest warunkowane posiadaniem takich systemów lub wymogiem ich zastosowania w pracach budowlanych. Korzystanie z systemów SMB przynosi korzyści ekonomiczne, mimo dużych kosztów samych systemów SMB, zwłaszcza systemów 3D. Prace realizowane są dokładniej. W zadanych tolerancjach pozwala to na układanie grubszych warstw tańszych i cieńszych warstw droższych. Prace są wykonywane szybciej dzięki mniejszej liczbie przejazdów maszyn, co też powoduje dodatkowe oszczędności w zużyciu elementów roboczych, paliwie, płynach eksploatacyjnych. Łatwiejsza jest praca operatora, a przez to nie jest wymagane tak duże jego doświadczenie i prawdopodobieństwo błędów osobowych zmniejsza się. Możliwe jest prowadzenie prac pod wodą. Ograniczony jest też udział geodety w budowie, który jest niezbędny jedynie w obsłudze systemu 3D opartego na pomiarach tachymetrycznych stosowanych w najdokładniejszych pracach.

Funkcjonujący od niespełna 4 lat państwowy system ASG-EUPOS umożliwia nieodpłatne prowadzenie jednoosobowo pomiarów realizacyjnych na obszarze całego kraju w jednolitym i generalnie w miarę jednorodnym dokładnościowo układzie współrzędnych. Korzystanie z serwisu NAWGEO systemu

ASG-EUPOS w sieciowych pomiarach kinematycznych w czasie rzeczywistym (Real Time Network) jest rozwiązaniem bardzo popularnym ze względu na ekonomiczność takiego pomiaru, podobnie jak w przypadku zastosowania systemów sterowania maszynami budowlanymi. Jednakże o możliwości wykorzystania danej techniki pomiarowej decyduje przede wszystkim wymagana dokładność i niezawodność wyników pomiarów.

W pracy przedstawione zostało zagadnienie wykorzystania pomiarów satelitarnych w systemach sterowania maszynami budowlanymi (systemy SMB) wraz z krótką charakterystyką tych systemów oraz problematyką dokładności wyników pomiarów satelitarnych, w szczególności pomiarów wysokości. Przeanalizowano czynniki wpływające na dokładność wyników satelitarnych pomiarów kinematycznych w czasie rzeczywistym RTK GPS oraz RTN (Real Time Network) w przypadku obiektów znajdujących się w ruchu.

CHARAKTERYSTYKA SYSTEMÓW STEROWANIA MASZYNAMI BUDOWLANYMI

Systemy sterowania maszynami drogowymi zazwyczaj są dzielone wg dwóch kryteriów:

a) stopnia zautomatyzowania sterowaniem pracy maszyny drogowej: systemy ręczne (wskaźnikowe, proste) i automatyczne, można też sporadycznie spotkać określenie systemy półautomatyczne, w których automatyka pracy związana jest tylko ze sterowaniem wysokością organu roboczego maszyny budowlanej;

b) liczby kontrolowanych parametrów pracy maszyny drogowej, w których kontroli może podlegać:

– system 1D – jeden parametr w trakcie przejazdu maszyny drogowej, wysokości lub pochylenie poprzecznego elementu roboczego,

– system 2D – zarówno wysokość, jak i pochylenie poprzeczne elementu roboczego,

– system 3D – położenie sytuacyjne i wysokości wraz z pochyleniem elementu roboczego, wymaga numerycznego modelu projektu.

Zasada pracy systemu wskaźnikowego polega na określeniu położenia elementu roboczego maszyny drogowej względem płaszczyzny odniesienia, wyznaczaniu korekty do tego położenia względem projektowanego i przedstawieniu jej na wyświetlaczu czujnika laserowego lub panelu operatora maszyn drogowej. System wskazuje wysokość organu roboczego (system 1D) lub wysokość z jego pochyleniem (system 2D) i informuje operatora maszyny co powinien zrobić (łyżka do góry lub w dół, tak trzymaj – systemy 1D). Elementy systemu to obrotowy niwelator laserowy (poziomy, jednospadekowy lub dwuspadekowy) ustawiany na placu budowy i zadający płaszczyznę odniesienia oraz czujniki laserowe montowane na maszynie drogowej, bezpośrednio lub na masz-

cie elektrycznym z możliwością regulacji jego wysokości z dokładnością nawet do 0.1 mm (maszt EM4 Mikrofyn).

System automatyczny porównuje aktualne położenie organu roboczego względem powierzchni odniesienia, wyznacza korektę położenia oraz przesyła ją do panelu operatora oraz jednostki sterującej zaworami hydraulicznymi. Następnie organ roboczy jest ustawiany w żądanym położeniu. Jedynym zadaniem operatora jest sterowanie kierunkiem przejazdu maszyny drogowej. Wg [Stempfhuber, 2006] w systemie półautomatycznym tylko wysokość, jako najistotniejsza, jest kontrolowana w sposób automatyczny. W branży [Araya, Kagoshima 2001] system półautomatyczny, to taki, w którym jedną dźwignią można ustawić element roboczy maszyny drogowej w żądanym położeniu (np. w przypadku koparki do ustawienia elementu roboczego trzeba użyć 3 dźwigi, które sterują pracą wysięgnika, ramienia i łyżki). Automatykę systemu można wyłączać i przejść na sterowanie ręczne.

W systemach SMB stosowane są czujniki laserowe, ultradźwiękowe, inercyjne, nachylenia (wzdłużnego, poprzecznego, dwuosiowe) i obrotu, które łączone są magistralą CAN (Controller Area Network) z komputerem pokładowym, skrzynką kontrolną z panelem sterującym, przełącznikiem wielofunkcyjnym lub skrzynką połączeniową. Zadaniem tych czujników jest przekazanie do systemu informacji o aktualnej konfiguracji elementów roboczych maszyny; takich jak łyżka, lemiesz, stół itp. Czujniki pochylenia działają jak precyzyjne poziomice z cyfrowym odczytem. Aktualne odchylenie czujnika od pionu/poziomu jest podawane do systemu z dokładnością do $0,01^\circ$. Czujnik obrotu działa z dokładnością poniżej $0,02^\circ$. Natomiast czujnik ultradźwiękowy, dla którego linią odniesienia może być linka, krawężnik, wcześniej wyrównana powierzchnia, umożliwia osiągnięcie dokładności nawet poniżej 1 mm. Istotnym zadaniem jest ustalenie montażowego odchylenia czujnika od linii sworzni danego elementu maszyny, który ma być uwzględniany w systemie. Do łączności bezprzewodowej wykorzystywane są modemy UHF, GSM lub Bluetooth dla elementów montowanych w lub na maszynie. Natomiast standardowo wykorzystywana jest magistrala CAN o istotnych zaletach, m.in. w postaci możliwości łączenia wszystkich czujników szeregowo (oszczędność w liczbie kabli).

Maszyny budowlane, na których są montowane systemy SMB to przede wszystkim rozścielacze, równiarki, spycharki, koparki, koparko-ładowarki, a także ubijarki, frezarki, walce, specjalistyczne maszyny do ciągłego układania barier, krawężników, korytek ściekowych, a nawet całych chodników. Na rysunku 1 przedstawione systemy 3D z tachymetrem oraz pryzmatem 360° na maszcie.

Przeznaczenie maszyn do wykonywania określonych prac związane jest z systemem SMB wymaganą dokładnością. W związku z tym przykładowo na równiarkach i spycharkach może być instalowany każdy system, na koparkach stosowane są systemy oparte o czujniki laserowe i pomiary RTK GPS/ RTN. Na rozścielaczach zazwyczaj nie są stosowane systemy satelitarne, lecz wykorzy-

stujące tachymetry zrobotyzowane. Ewentualnie można je zastosować łącznie z czujnikami pozwalającymi uzyskać wyższe dokładności wyznaczania wysokości niż z pomiarów RTK GPS czy RTN. Takim odrębnym rozwiązaniem jest mmGPS, które wykorzystuje laser powierzchniowy LaserZone emitujący wiązkę lasera o wysokości 10 m oraz czujnik montowany razem z anteną satelitarną. System współpracuje z odbiornikiem satelitarnym zwiększając dokładność wyznaczania wysokości w pomiarach satelitarnych.



Rysunek 1. Maszyny układające krawężniki
[<http://www.gomaco.com>, <http://heg.baumpub.com>]

Figure 1. Curb and gutter machines

Szczegółowe informacje na temat systemów sterowania maszynami budowlanymi można znaleźć na stronach internetowych firm, m.in.: Leica, Mikrofyn, Scanlaser, Topcon, Trimble.

POMIARY SATELITARNE W OBSŁUDZE INWESTYCJI DROGOWEJ

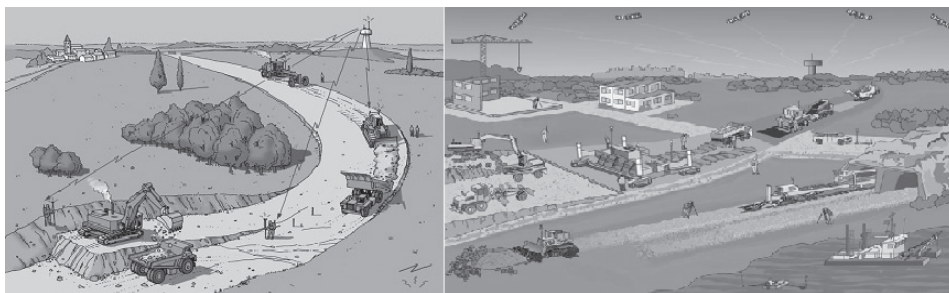
W ramach geodezyjnej obsługi inwestycji drogowej, w szczególności z zastosowaniem systemów sterowania maszynami budowlanymi, wykorzystywane są pomiary satelitarne realizowane w ramach sesji statycznych opracowywanych w post-processingu oraz pomiary kinematyczne w czasie rzeczywistym RTK GPS oraz ich sieciowa odmiana RTN (Real Time Network). Natomiast same systemy SMB bazują na pomiarach RTK GPS i/lub RTN.

Pomiary statyczne mają zastosowanie do wyznaczania dokładnych współrzędnych punktów podstawowej osnowy realizacyjnej, aczkolwiek zdarzają się jeszcze inwestycje, choć sporadycznie, w których osnowa zakładana jest w sposób klasyczny. Aktualnie najczęściej osnowa taka ze względu na liniowy charakter inwestycji drogowych ma postać par lub trójek punktów odległych od siebie o przeciętnie 2-3 km. Punkty w danej parze mają zapewnione wizury i odległości na poziomie od 100 m do kilkuset metrów. Między punktami pod-

stawowej osnowy geodezyjnej, których współrzędne wyznaczone są techniką satelitarną, zakładane są w oparciu o pomiary naziemne ciągi poligonowe lub sieci trójkątów, w których odległości między kolejnymi punktami wynoszą ok. 100–250 m. Odległości między punktami szczegółowej osnowy realizacyjnej zależą w pewnej mierze od systemów SMB, które będą wykorzystywane. Dla systemów 3D TPS punkty znajdują się w odległościach ok. 100 m w celu zapewnienia najwyższych dokładności pomiarom realizacyjnym.

Niektóre punkty osnowy są lokalizowane pod kątem wykorzystania ich jako stanowiska odbiornika referencyjnego dla pomiarów RTK GPS.

W aspekcie technologicznym należy zwrócić uwagę, że o ile odległości między punktami wyznaczanymi wynoszą do kilkuset metrów, a wektory obliczane zazwyczaj do kilku kilometrów, to wektory nawiązania do stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS mają długości rzędu kilkudziesięciu kilometrów, co należy wziąć pod uwagę projektując satelitarne pomiary statyczne. Osnowa budowlano-montażowa stosowana jest do obiektów inżynierskich, a jej pomiary są realizowane tachymetrem i niwelatorem. Pomiary kinematyczne w czasie rzeczywistym RTK GPS oraz RTN nie są stosowane do wyznaczania współrzędnych punktów osnowy. Wykorzystywane są natomiast w pomiarach realizacyjnych o niższej dokładności związanych z robotami ziemnymi, układaniem warstw w korpusie drogowym.



Rysunek 2. Systemy sterowania maszynami budowlanymi [prezentacja firmy Scanlaser]
Figure 2. Construction machine control systems

W pomiarach statycznych wyznaczenie wiarygodnej wartości najprawdopodobniejszej jest możliwe, a w przypadku krótkich wektorów można przeprowadzić dokładny naziemny pomiar kontrolny. W przypadku pomiarów w czasie rzeczywistym obiektów poruszających się wyznaczenie wiarygodnej wartości najprawdopodobniejszej musi się opierać na określonej a priori wartości błędów danej techniki pomiarowej. Takie założenie znacznie obniża pewność co do określenia dokładności wyznaczonej pozycji w danym momencie czasu. Przekłada się to w praktyce na realizację prac o niższej dokładności w przypadku

pomiarów RTK GPS i RTN. Wynika to z istotnego wpływu wielu czynników o trudnym do określenia w czasie rzeczywistym wpływie na dokładność wyznaczonej pozycji (m.in. refrakcje jonosferyczna i troposferyczna, wielotorowość). W przypadku naziemnych technik pomiarowych możliwe jest bardziej niezawodne określenie dokładności techniki pomiarowej, gdyż propagacja fali odbywa się w warstwie w przybliżeniu równoległej do powierzchni Ziemi.

LATENCJA POMIARÓW RTK GPS I RTN ORAZ SYSTEMÓW SMB

Ze względu na ruch maszyny budowlanej istotnym wydaje się być poruszenie problematyki latencji wyznaczania pozycji w pomiarach kinematycznych w czasie rzeczywistym. Źródła opóźnień w pomiarach RTK GPS/ RTN można podzielić na związane z: pomiarem czasu, przetworzeniem sygnału i transmisją danych. Pierwsze źródło powoduje opóźnienie niezależne od rodzaju pomiarów RTK GPS czy RTN. Różnice dla pozostałych ujęto w tabeli 1.

Tabela 1. Źródła opóźnień w pomiarach RTK GPS i RTN
Table 1. Sources of delay in the RTK GPS and RTN

Pomiary RTK GPS	Pomiary RTN
A1. Przetworzenie sygnału	
w odbiorniku REF sygnałów z min. 5 satelitów powyżej 15° nad horyzontem anteny satelitarnej	w min. 6 odbiornikach REF sygnałów z min. 5 satelitów powyżej 5° nad horyzontem anten satelitarnych
B1. Transmisja danych	
-	ze stacji REF przez internet do Centrum Zarządzającego
-	modem GSM, wiadomość GGA protokołu NMEA z odbiornika ROV do Centrum Zarządzającego
A2. Przetworzenie sygnału	
obliczenie korekcji do obserwacji kodu i fazy fali nośnej lub brak w transmisji oryginalnych obserwacji (ang. raw data)	obliczenie danych referencyjnych do pomiarów RTN (VRS, MAC, FKP) lub brak w przypadku serwisu POJ
B2. Transmisja danych	
modem UHF lub rzadziej modem GSM	modem GSM
A3. Przetworzenie sygnału	
Obliczenie współrzędnych punktu	Obliczenie współrzędnych punktu
B3. Transmisja danych	
modem UHF (rzadziej GSM), wiadomość GGA protokołu NMEA z odbiornika ROV do modemu podłączonego przewodowo do komputera pokładowego maszyny budowlanej	przewodowo, wiadomość GGA protokołu NMEA z odbiornika ROV do komputera pokładowego maszyny budowlanej

Wartość latencji w pomiarach RTN wykorzystujących protokół Ntrip oraz połączenie przewodowe lub modem GSM została zbadana przez niemiecki BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) [Gebhard, Weber, Dettmering 2003] i oszacowana na 1.99 s przy połączeniu przewodowym i na 1.71s w połączeniu GSM GPRS. Wartości wyznaczono z odchyleniami standardowymi $\pm 0.41s$. W przypadku pomiarów RTK GPS estymacja latencji wyników dla odbiornika Leica została podana w [Stempfhuber 2004]. Wartości nie przekroczyły 0.06 s, przy czym dla odbiornika SR530 odbierającego sygnał z 4 do 9 satelitów wyniosła odpowiednio od 41.1 ms do 54.6 ms z odchyleniem standardowym wyników na poziomie pojedynczych ms.

Oprócz latencji wyników pomiarów RTK GPS/ RTN, na dokładność prowadzonych robót drogowych wpływa szybkość działania systemu sterowania maszyną budowlaną oraz błędy jej operatora, głównie w systemach wskaźnikowych. Opóźnienie w reakcji operatora na wskazania systemu jak i latencja samego systemu będzie powodowała dalszy ruch organu roboczego maszyny budowlanej powodując niedokładną realizację projektu. Szybkość reakcji układu hydraulicznego na korekty przesyłane z panelu sterującego lub komputera pokładowego można zwiększyć stosując hydraulikę z przewodami o większej średnicy. Uwzględniając prędkość maszyny możemy wnioskować o wartościach liniowych błędów, przy czym prędkość może być rozpatrywana w dwóch aspektach: prędkość maszyny i prędkość organu roboczego. Prędkości poruszania się maszyn budowlanych w trakcie pracy wahają się od ok. 120 m/h (2 m/min.) do zazwyczaj kilku km/h lub co najwyżej kilkunastu km/h [Stempfhuber 2006], przy czym dla koparek prędkość wynosi zero. W przypadku koparki istotny jest ruch łyżki, czy też lemiesza. W przypadku równiarki organ roboczy jest ustawiany w stałym położeniu, a istotną rolę odgrywa ruch maszyny. Teoretyczny czas trwania sześciofazowego cyklu pracy dla przykładowej koparki podano w [Majewski 2009]. Istotne są fazy skrawania i opuszczania organu roboczego, które wynoszą odpowiednio 2.00 s oraz 2.82 s. Obliczenie wartości błędu liniowego w systemie SMB z tego tytułu przy danej prędkości i czasie jest proste i ma sens tylko w przypadku konkretnej maszyny.

DOKŁADNOŚĆ WYZNACZANIA WYSOKOŚCI W POMIARACH RTK GPS I RTN

Wpływ wszystkich czynników na dokładność wyznaczenia pozycji w pomiarach RTK GPS i RTN można oszacować na podstawie różnic współrzędnych z tych pomiarów i z dokładnych pomiarów naziemnych. Ze względu na istotne różnicowanie dokładności współrzędnych poziomych i wysokości wyznaczanych z pomiarów satelitarnych, zwłaszcza w czasie rzeczywistym, należy je charakteryzować oddzielnie. Wyniki pomiarów testowych wskazują na dokładniejsze wyznaczanie współrzędnych x, y w stosunku do 2 - 3 krotnie niższej

dokładności wysokości, przy istotnie mniejszej wiarygodności wyników pomiarów wysokości, w związku z tendencją do częstszego występowania pomiarów odstających.

W przypadku większości prac drogowych dokładność współrzędnych poziomych jest mniej istotna niż wysokości, która najczęściej powinna być wyznaczona z dokładnością nie mniejszą niż 1 cm. Przeprowadzone badania zagadnienia niwelacji satelitarnej w czasie rzeczywistym zostały przedstawione w pracy [Uznański 2010]. W tabeli 2 podano różnice wysokości normalnych z niwelacji precyzyjnej oraz wysokości elipsoidalnych z pomiarów RTK GPS i RTN przeliczonych do wysokości normalnych z uwzględnieniem modelu quasi-geoidy „Geoida niwelacyjna 2001”. Analizy przeprowadzono dla 175 punktów i 14 reperów trzech odcinków testowych przedstawionych szerzej w [Uznański 2010]. Z tabeli 1 wynika, że z pomiarów RTK GPS można uzyskać wysokość punktów dokładniej i będzie ona bardziej wiarygodna niż z pomiarów RTN. Rozstęp przedziału różnic wysokości wyniósł dla pomiarów RTK GPS 8.6 cm, a dla pomiarów RTN 16.3 cm. Również odchylenie standardowe różnic wysokości wyniosło dla pomiarów RTK GPS 11 mm i było dwukrotnie mniejsze niż dla pomiarów RTN, dla których wyniosło 20 mm.

Tabela 2. Udział procentowy różnic przewyższeń w przedziałach [Uznański A., 2010]
Table 2. Percentage share of heights differences in intervals [Uznański A., 2010]

Przedział [cm]	Pomiar RTK [%]	Pomiar RTN [%]
[-0.5, 0.5]	35.4	20.9
[-1.0, -0.5) ∪ (0.5, 1.0]	26.0	16.4
[-1.0, 1.0]	61.4	37.3
[-2.0, -1.0) ∪ (1.0, 2.0]	25.7	25.8
[-3.0, -2.0) ∪ (2.0, 3.0]	9.7	23.6
[-5.0, -3.0) ∪ (3.0, 5.0]	2.8	9.3
[-10.0, -5.0) ∪ (5.0, 10.0]	0.3	4.0

Bardzo istotnym czynnikiem na placu budowy jest terminowość realizacji prac ze względu na ogromne koszty związane z niedotrzymaniem terminów. Prowadzenie prac z wykorzystaniem systemów satelitarnych w niekorzystnych warunkach może być przyczyną dużych błędów. Przykładem są wyniki pomiarów testowych na terenie sąsiadującym z obszarem, nad którym wystąpiła burza ze sporadycznymi wyładowaniami atmosferycznymi. Odległość miejsca pomiarów od granicy opadów atmosferycznych wynosiła ok. 10 km. Różnice wysokości dla pomierzonych wówczas punktów sięgnęły 18 cm.

Dodatkowym czynnikiem nie wpływającym korzystnie na wyniki pomiarów RTK GPS/ RTN jest formowanie skarp i praca maszyny budowlanej w dużym przechyle. Każda geodezyjna antena satelitarna jest wyposażona we wbudowany ground plane, który w takim przypadku będzie blokował sygnały z satelitów.



Rysunek 3. Przechył masztu równiarki [www.topcon.eu]
Figure 3. Mast tilt graders

WNIOSKI

Zastosowanie systemów SMB w inwestycji drogowej niesie ze sobą wymierne korzyści ekonomiczne dla wykonawcy robót. Zalety pomiarów satelitarnych są szczególnie widoczne przy liniowym charakterze inwestycji o znacznej długości. Najdokładniejsze wyniki pomiaru osnowy można uzyskać w takim przypadku z sesji statycznych. W przypadku połączenia systemów SMB z pomiarami satelitarnymi podstawowe znaczenia ma dokładność i wiarygodność wyników pomiarów RTK GPS oraz RTN, szczególnie dla wyznaczanych wysokości organów roboczych maszyn budowlanych. Wyniki pomiarów testowych skłaniają do korzystania na placu budowy z pomiarów RTK GPS mimo, że są kosztowniejsze, gdyż wymagają ustawiania własnej stacji referencyjnej. Jednakże są dwukrotnie bardziej dokładne i bardziej wiarygodne. Procent wartości odstających dla obliczonych wysokości jest istotnie mniejszy niż w pomiarach RTN. W pomiarach RTK GPS i RTN może wystąpić duże zróżnicowanie latencji, odpowiednio ok. 50 ms i ok 2s. Ponadto za pomiarami RTK GPS przemawia istotnie mniejsze ryzyko przestojów z tytułu napływu danych ze stacji referencyjnej do ruchomego odbiornika GPS/GNSS niż w przypadku korzystania z systemu ASG-EUPOS w pomiarach RTN

Dla dużych inwestycji na odcinku kilku-kilkunastu kilometrów może pracować kilkadziesiąt maszyn wyposażonych w systemy SMB. Jednym z kierunków rozwoju systemów SMB jest montowanie modemów radiowych GSM lub

UHF/VHF, dzięki którym możliwa jest zdalna kontrola, aktualizacja danych dla maszyny i skuteczne zarządzanie pracą maszyn. Definicja obszarów pracy maszyn (ang. geo-fence area) może też pełnić dodatkowo rolę ochrony antykradzieżowej, podobnie jak kontrola zdefiniowanego czasu pracy maszyny. Korzystając z systemów SMB należy pamiętać o okresowej recalibracji maszyn ze względu na zużywanie się elementów skrawających organów roboczych.

Oczywiście wykorzystanie pomiarów satelitarnych należy dostosować do wymagań dokładnościowych robót. Dla prac wymagających najwyższych dokładności i niezawodności, związanych z układaniem warstw wiążących i ścieralnych drogi, zazwyczaj stosowane są systemy oparte na zrobotyzowanych tachymetrach, choć możliwe jest zastosowanie dodatkowych czujników współpracujących z odbiornikami satelitarnymi.

BIBLIOGRAFIA

- Araya H., Kagoshima M. *Semi-automatic control system for hydraulic shovel*. Automation in Construction, 10 (2001), s. 477 - 486, <http://www.elsevier.com/locate/autcom>
- Gebhard, H., Weber G. Dettmering D. *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*. 2003 <http://www.iag-aig.org>
- Stempfhuber W. *Ein integritätswahrendes Messsystem für kinematische Anwendungen*. Deutsche Geodätische Kommission, Vol. C, No. 576, München 2004, ss. 131.
- Stempfhuber W. *1D and 3D Systems in Machine Automation*. 3rd IAG / 12th FIG Symposium, May 22-24, Baden 2006.
- Majewski P. *Instrukcja laboratoryjna Pomiary parametrów napędu koparki hydraulicznej z napędem elektrycznym*. Politechnika Warszawska, Warszawa 2009, ss. 11.
- Uznański A. *Niwelacja satelitarna RTK GPS i RTN*. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej, Oddział w Krakowie, z. 154. Kraków 2010, s. 633–650.

Dr inż. Andrzej Uznański
auznan@agh.edu.pl
tel. 012 617 23 14

Katedra Geodezji Inżynieryjnej i Budownictwa
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Akademia Górniczo-Hutnicza
al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków