

*Janusz Dąbrowski*

## **PORÓWNANIE SYSTEMÓW STEROWANIA I POMIAROWYCH W ZASTOSOWANIACH DO GEODEZYJNEJ OBSŁUGI BUDÓW**

---

### **COMPARISON OF CONTROL AND MEASUREMENT SYSTEMS IN THE CONTEXT OF GEODETIC CONSTRUCTION CONTROL**

#### **Streszczenie**

W ostatnich latach niezwykle prężnie rozwijają się nowoczesne systemy sterowania. Ich rozwój ma ogromny wpływ na zakres obsługi geodezyjnej budów. Porównanie systemów sterowania pozwala na określenie zmian w obsłudze geodezyjnej. W wielu wypadkach rozwój systemów sterowania będzie ograniczał zakres typowych prac geodezyjnych w terenie, natomiast pojawiają się nowe obszary działalności geodezyjnej w sferze dopasowania, koordynacji i kontroli numerycznego modelu terenu z projektem w wersji cyfrowej i postępowaniem robót.

Postęp technologiczny w świecie jest nieuchronny i permanentny. Rola i miejsce zawodu geodety w tej dynamicznie zmieniającej się rzeczywistości będzie w dużej mierze zależał od umiejętności dostosowania się i uwzględniania zachodzących zmian w warsztacie pracy.

Artykuł przybliży zagadnienie wykorzystania geodezyjnej obsługi budów na tle różnych systemów sterowania.

**Słowa kluczowe:** systemy sterowania, geodezyjna obsługa budów, nawigacja satelitarna, GPS

#### **Summary**

*In recent years there rapidly developed advanced control systems. Their development has a huge influence on the maintenance of geodetic sites. The comparison of control systems allows you to specify changes to support geodesy. In many cases, the development of control systems will limit the range of typical*

*geodetic works, however, there are new areas of activity in the sphere of geodetic adjustment, coordination and control of the digital terrain model of the project to digitize and progress of works.*

*Technological advance in the world is inevitable and permanent. The role and place of the profession of surveyors in this rapidly changing world will depend largely on the ability to adapt and incorporate the changes taking place in the field of professional work.*

*The article presents the issue of the use of manual surveying sites on the background of different control systems.*

**Key words:** control systems, construction surveying services, satellite navigation, GPS

## WPROWADZENIE

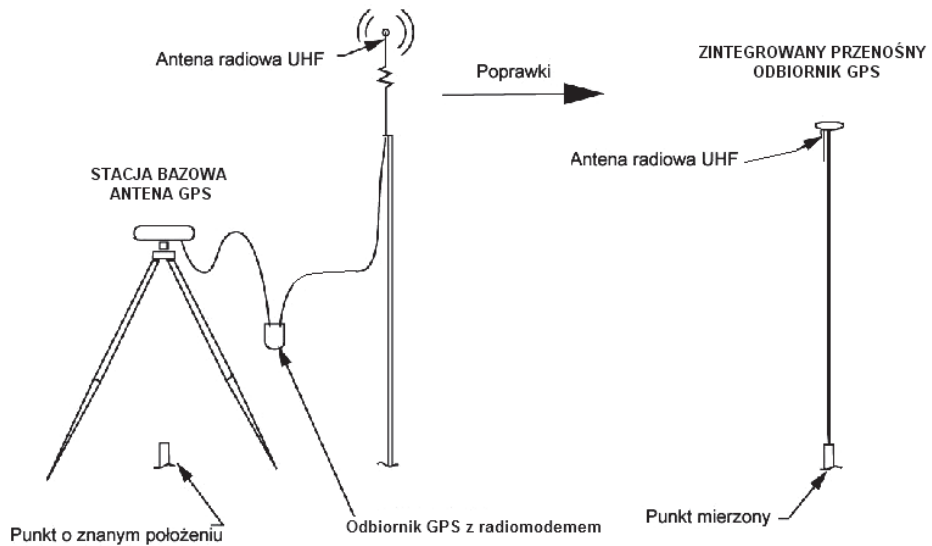
Real Time Kinematic (RTK-pomiar w czasie rzeczywistym) to najbardziej zaawansowana technologia połączenia nawigacji satelitarnej i łącza radiowego o dużej szybkości, pozwalająca wyznaczyć pozycję danego punktu w czasie rzeczywistym z dokładnością kilku centymetrów. Ograniczony zasięg stacji radiowej zmniejsza promień pomiarów do kilkudziesięciu kilometrów od stacji bazowej. W pomiarach geodezyjnych stosuje się również system DGPS (Differential Global Positioning System) korzystający z poprawek różnicowych do danych z satelitów GPS. Poprawki DGPS pobierane równocześnie z sygnałem satelitar-nym (np. WAAS, EGNOS) zapewniają ok. decymetrową dokładność, [([www.tpi.com.pl](http://www.tpi.com.pl)(2010), [www.kt.agh.edu.pl](http://www.kt.agh.edu.pl)(2010), [www.heading.enter.net.pl/glonass.htm](http://www.heading.enter.net.pl/glonass.htm) (2010), [www.kosmos.gov.pl](http://www.kosmos.gov.pl) (2010)], która jest wystarczająca dla wielu robót budowlanych.

Obecnie na terenie Polski można korzystać między innymi z następujących systemów nawigacji satelitarnej: GPS Navstar, Różnicowy GPS, Glonass, EGNOS - Europejski System Wspomagania Satelitarnego, Galileo, Beidou, Doris, GNSS, Cykada i Cykada-M (<http://galileo.kosmos.gov.pl>).

W inwestycjach liniowych często spotykamy się z problemem rozszerzenia zasięgu pracy RTK. Służą do tego przekaźniki radiowe. Z uwagi na możliwość wzajemnych zakłóceń tzw. zapętlen (rys. 2) można stosować maksymalnie dwa przekaźniki.

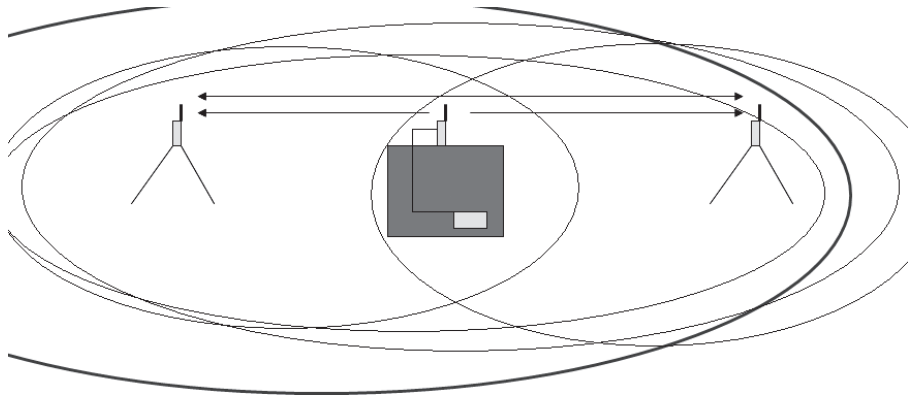
Problem zapętlen można rozwiązać poprzez internet, według schematu za-prezentowanego na rys. 3.

Podobnie jak w geodezji tradycyjnej, także w nawigacji satelitarnej na do-kładność pomiarów duży wpływ ma układ satelitów. Sygnały nadawane z sate-litów i odbierane przez odbiornik tworzą wcięcie przestrzenne. Wcięcie pod zbyt ostrym kątem (rys. 4) powoduje spadek wiarygodności pomiarów lub wręcz uniemożliwia dokonanie odczytu.



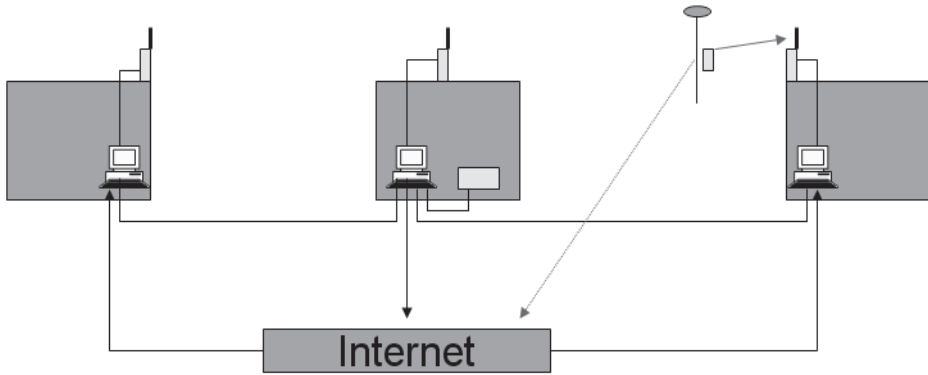
Źródło: opracowanie własne [<http://www.tpi.com.pl>]  
Source: own work [<http://www.tpi.com.pl>]

**Rysunek 1.** Schemat działania RTK  
**Figure 1.** Schematics of RTK



Źródło: opracowanie własne [<http://www.tpi.com.pl>]  
Source: own work [<http://www.tpi.com.pl>]

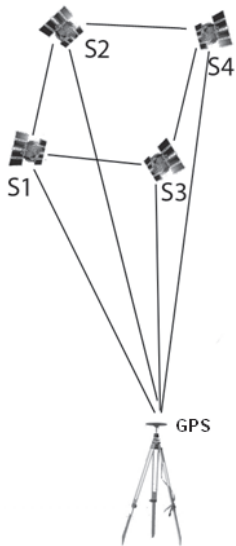
**Rysunek 2.** Przykładowy schemat *zapętlenia się* przekazników  
**Figure 2.** Example diagram of the looping



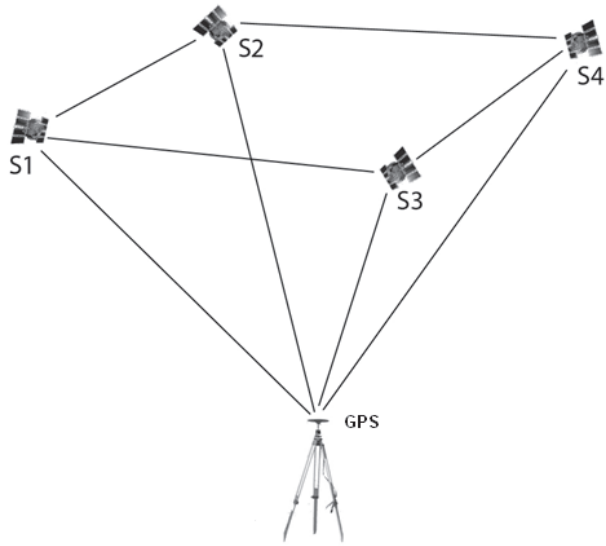
Źródło: opracowanie własne [<http://www.tpi.com.pl>]  
Source: own work [<http://www.tpi.com.pl>]

**Rysunek 3.** Rozszerzenie zasięgu RTK dla budowy liniowych  
**Figure 3.** RTK extension for linear structures

Niekorzystny układ satelitów  
- wcięcie "zbyt ostre"



Korzystny układ satelitów



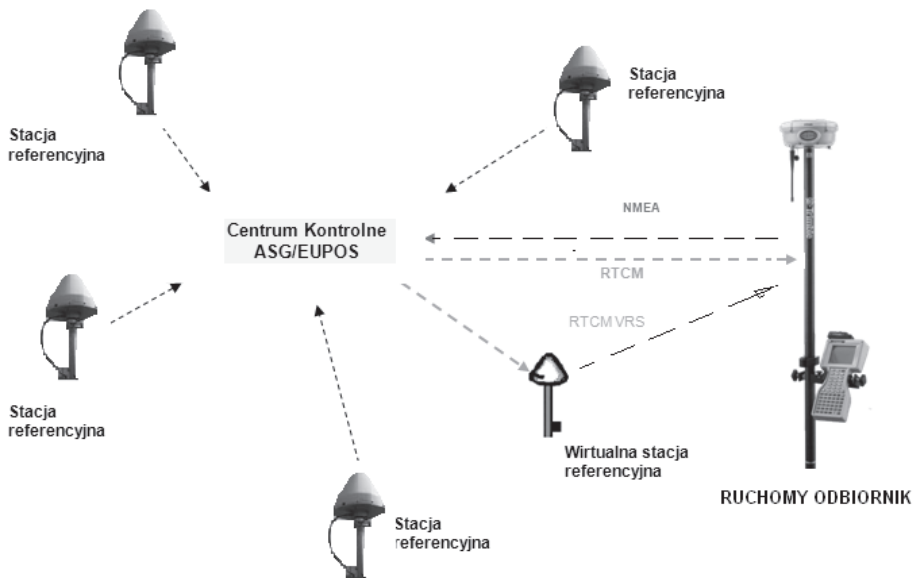
Źródło: opracowanie własne [<http://www.tpi.com.pl>]  
Source: own work [<http://www.tpi.com.pl>]

**Rysunek 4.** Geometria wcięcia przestrzennego w nawigacji satelitarnej  
**Figure 4.** Geometry of Spatial Navigation Satellite Indentation

Częstym ograniczeniem wykorzystania GPS na skutek braku widoczności satelity może być:

- obfita wysoka roślinność,
- wysoka zabudowa,
- obiekty inżynierskie (mosty, wiadukty, tunele)

Dzięki jednak zastosowaniu Sieci Permanentnych Stacji Referencyjnych ASG EUPOS możemy wykonywać pomiary w sytuacjach niekorzystnych lub niedostępnych dla klasycznych pomiarów GPS.



Źródło: Opracowanie własne [<http://www.kt.agh.edu.pl>]  
 Source: own work [<http://www.kt.agh.edu.pl>]

**Rysunek 5.** Schemat pomiarów w trybie RTK (Real Time Kinematic) z wykorzystaniem Aktywnej Sieci Geodezyjnej ASG EPOS  
**Figure 5.** Scheme of measurements in RTK (Real Time Kinematic) using the Active Geodetic Network ASG EPOS

Dzięki temu możliwe stało się wyposażenie sprzętu budowlanego w systemy sterowania, ściśle powiązane z numerycznym modelem terenu i projektem. Pomiary GPS wykonywane z odpowiednią dokładnością w realnym czasie na obiekcie będącym w ruchu dały podstawy do precyzyjnego sterowania i kontroli pracy maszyn budowlanych. Dla pracy geodety istotne znaczenie ma wiedza z zakresu obsługi geodezyjnej budów, obsługiwanych przez systemy sterowania. Producenci systemów sterowania zmierzają do całkowitej automatyzacji pracy i zmiany charakteru obsługi geodezyjnej poprzez zmniejsze-

nie bezpośredniej pracy terenowej tzn. wytyczeń i pomiarów kontrolnych. Zwiększy się natomiast udział i zaangażowanie geodetów przy opracowaniu numerycznego modelu terenu i prac związanych z jego kalibracją, i z numerycznym projektem technicznym.

## **PORÓWNANIE SYSTEMÓW STEROWANIA FIRMY TRIMBLE**

Rozwój technologii pozwolił na sterowanie maszynami budowlanymi we współpracy z zewnętrznymi urządzeniami pomiarowymi.

Praca maszyn budowlanych prowadzona może być w oparciu o [Dąbrowski 2010a i b]:

- metody wizualne (tradycyjne, intuicyjne) – poziomem odniesienia dla operatora są paliki (druć) zastabilizowane zgodnie z projektem,

- systemy pomiarowe (pośrednie, niepełne) – poziomem odniesienia: dla czujników zamontowanych na maszynie budowlanej jest płaszczyzna wyznaczona przez laser lub dane z tachimetru, dla operatora poziomem odniesienia są wskazania czujnika,

- systemy sterowania (pełne 3D) – poziomem odniesienia są dane pochodzące z nawigacyjnych systemów satelitarnych i z projektu numerycznego przetworzone przez komputer pokładowy i w formie przetworzonej wyświetlone na ekranie w kabinie operatora.

Prace budowlane wymagające najwyższej dokładności narzucają konieczność wyznaczenia współrzędnych odpowiednich punktów z milimetrową dokładnością. Z uwagi na szybki rozwój technologiczny, systemy sterowania nowej generacji cechuje duża elastyczność i modularność. Szeroki wachlarz zastosowań w budownictwie drogowym, mieszkaniowym, czy też przy budowie obiektów sportowych korzystnie wpływa na konkurencyjność danego systemu sterowania. Możliwość mierzenia odpowiedniej: wysokości, nachylenia i wychylenia, to podstawowe kryteria doboru odpowiedniego sprzętu. Elastyczność systemu możemy uzyskać poprzez zastosowanie odpowiedniego wyposażenia, co ma bezpośredni wpływ na cenę i dokładność wykonywanych prac.

Systemy sterowania w zależności od potrzeb mogą być wyposażone między innymi w:

- podwójny GPS (zastosowanie: równiarki, spychacza, zgarniarki, koparki),
- pojedynczy GPS (zastosowanie: równiarki, spychacza, zgarniarki, koparki, walca),

- pojedynczy UTS (w wersji wcześniejszej ATS; zastosowanie: równiarki, spychacza).

- wiele UTS (zastosowanie: rozścielacz)

Systemy sterowania mają głównie za zadanie: przyśpieszenie pracy, zmniejszenie liczby poprawek, ograniczenie do minimum wytyczeń i prac kon-

trolnych, a w efekcie finalnym redukcję kosztów i polepszenie zarządzania taborem.

W systemach GCS firmy Trimble dostępne są do wykorzystania: dalmierze ultradźwiękowe, lasery, GPS, GPS ze wspomaganie laserowym, UTS.

Podstawowym kryterium doboru wyposażenia systemów sterowania jest dokładność wykonywania konkretnych prac budowlanych. Porównanie dokładności systemów zastosowanych przez firmę Trimble zawiera tabela 1.

**Tabela 1.** Porównanie systemów sterowania w zależności od wyposażenia  
**Table 1.** Comparison of control systems depending on equipment

	<b>Laser</b>	<b>GPS</b>	<b>GPS + Laser</b>	<b>UTS</b>
<b>Zasięg w pionie</b>	0.2m + nachylenie	bez ograniczeń	1m + nachylenie	>10m
<b>Zasięg w poziomie</b>	900m	>10,000m	450m	700m
<b>Rząd dokładności w pionie</b>	mm	cm	mm	mm
<b>Rząd dokładności w poziomie</b>	nie dotyczy	cm	cm	mm
<b>Wymaganie widoczności</b>	tak	nie	tak	tak
<b>Częstość ustawień</b>	codziennie	raz (na placu budowy)	codziennie	codziennie

Źródło: Opracowanie własne.  
Source: own.

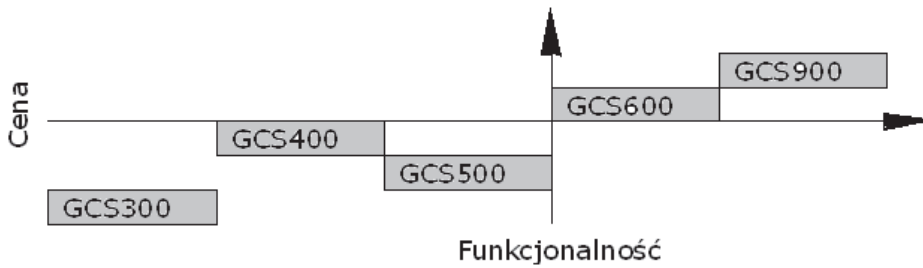
Pojedynczy odbiornik GPS jest optymalny przy pracy z kilkoma maszynami na jednym placu budowy gdy nie jest wymagana duża dokładność i precyzja prac, na przykład przy pracach polegających na przemieszczeniu mas materiału.

UTS (Universal Total Station – precyzyjny tachimetr robotyczny, wcześniej ATS (Advanced Tracking Sensor - zaawansowany czujnik śledzenia) jest zalecany przy pracy z pojedynczą maszyną i częstym jej przenoszeniu gdy liczy się dokładność wykończenia prac.

Pojedynczy odbiornik laserowy steruje wysokością lemieszka, natomiast nachylenie lemieszka sterowane jest ręcznie. Dla uzyskania zadanej dokładności na dużych nachyleniach, wymaganych jest wiele przejazdów maszyny. Najwyższe dokładności lasery uzyskują we współpracy z UTS.

Zamontowanie dwóch odbiorników laserowych pozwala na sterowanie wysokością oraz nachyleniem lemieszka. System taki pozwala na większą koncentrację operatora na prowadzeniu maszyny. Dzięki temu uzyskuje się większą efektywność i dokładność pracy.

Dwa odbiorniki GPS to system uzyskujący wysoką dokładność i jest bardzo wszechstronny. Dzięki niemu możemy znacznie lepiej wykorzystać atuty danej maszyny. Na przykład dla równiarki lepiej można wykorzystać: wysunięcie lemieszka, pochylenie kół przednich i możliwość łamania ramy maszyny. Podwójny GPS to przede wszystkim dokładniejsze zorientowanie maszyny. Według firmy Trimble, systemy dwóch GPS-ów daje wyższą dokładność niż systemy oparte na czujnikach magnetycznych lub czujnikach ruchu.



Źródło: Opracowanie własne [Instrukcja obsługi kontroli sytemu skali GCS 900 ]  
Source: own work [Instrukcja obsługi kontroli sytemu skali GCS 900 ]

**Rysunek 6.** Wykres zależności ceny od funkcjonalności systemu  
**Figure 6.** A graph of the correlation of prices with the system functionality

Rys. nr 6 przedstawia zależność ceny i funkcjonalności poszczególnych systemów, i potwierdza zasadę, że cena jest silnie skorelowana z funkcjonalnością i możliwościami urządzenia.

## WNIOSKI KOŃCOWE Z PORÓWNIANIA SYSTEMÓW STEROWANIA FIRMY TRIMBLE

Systemy sterowania zastosowane do cywilnych potrzeb są całkowicie zaadaptowane z wcześniejszych systemów wojskowych. Pierwsze próby nawigacji satelitarnej pojawiły się już pod koniec lat pięćdziesiątych (!). Służby wojskowe krajów wysoko rozwiniętych [www.kosmos.gov.pl (2010)] potrafiły określić współrzędne przemieszczającego się punktu z dużą dokładnością, już w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Wszelkiego typu czujniki ruchu używane obecnie w sprzęcie geodezyjnym i budowlanym, miały szerokie zastosowanie wiele lat temu, przy budowie w rakiet balistycznych. Po opanowaniu kosmosu dla celów militarnych (systemy sterowania pociskami raketowymi) systemy nawigacyjne znajdują coraz szersze zastosowanie w wielu dziedzinach życia, między innymi w budownictwie. Możliwość orientacji punktu w przestrzeni wraz z określeniem kierunku przemieszczania znajduje bardzo szerokie zastosowanie we współczesnym świecie [Dąbrowski 2010]. Udana próba ich zastosowania na placach budów pozwalają przypuszczać, że wiele prac z geodezyjnej obsługi budów liniowych zostanie w swym zakresie ograniczonych. Być może, że w przyszłości wytyczanie dużych obiektów w terenie zostanie ograniczone do minimum. Zdecydowanie jednak wzrośnie rola i znaczenie numerycznego modelu terenu i umiejętność kalibracji z projektem numerycznym. Zmiany zachodzące na rynku udowadniają, że coraz większe znaczenie w procesie kształcenia geodetów powinna zajmować geomatyka i systemy informacji o terenie. Rozwój nawigacji satelitarnej w przyszłości prawdopodobnie znacznie ograniczy tra-



dycyjne pomiary geodezyjne. Będzie to miało duży wpływ na sposób i zakres kształcenia geodetów. W przyszłości zdaniem autora geodeci, a właściwie fachowcy od systemów informacji o badanym obiekcie (obecnie ziemi) ze skali makro będą wykorzystywani w skali mikro. Na przykład obecnie wykonywane operacje laparoskopowe mogą być w przyszłości szeroko zastąpione odpowiednimi systemami sterowania. Maszyna budowlana pracująca samodzielnie na podstawie NMT w skali makro do złudzenia przypomina narzędzie chirurgiczne pracujące w czasie operacji pod kontrolą specjalisty. Dziś nie jesteśmy jeszcze w stanie określić wszystkich możliwych zastosowań systemów sterowania. Ich wpływ na życie gospodarcze i na otaczającą nas rzeczywistość trudny jest do przewidzenia. Niewątpliwie rozwój systemów sterowania znacznie ogranicza nakłady pracy i ma istotny wpływ na podniesienie efektywności pracy.

Do zalet systemów sterowania możemy zaliczyć:

- podniesienie wydajności i dokładności pracy,
- ograniczenie prac przygotowawczych i kontrolnych,
- całkowita kontrola nad przebiegiem pracy poszczególnej maszyny i całej floty,

– zminimalizowanie ryzyka kradzieży lub niewłaściwego wykorzystania maszyn budowlanych,

- natychmiastowa reakcji serwisu na awarie lub brak paliwa,

Do wad systemów sterowania możemy zaliczyć:

- znaczący koszt inwestycji,
- brak opłacalności stosowania systemów dla małych obiektów,
- duża wrażliwość na mechaniczne uszkodzenia,
- szkodliwy wpływ na zdrowie osób pracujących w obrębie strefy bezpośredniego oddziaływania systemu sterowania (fale radiowe, promieniowanie laserowe itp.).

## BIBLIOGRAFIA

- Dąbrowski J. *Systemy pomiarowe w pracach geodezyjno-budowlanych*. Geomatyka i inżynieria. Kwartalnik 1/2010, Jarosław 2010. ss.63.
- Dąbrowski J. *Systemy sterowania w pracach geodezyjno-budowlanych*. Geomatyka i inżynieria. Kwartalnik 2/2010, Jarosław 2010. ss.74.
- Instrukcja obsługi kontroli sytemu skali GCS 900 Niemcy 2008. ss. 168.  
<http://www.tpi.com.pl> [dostęp: 12 października 2010].
- <http://www.kt.agh.edu.pl> [dostęp: 12 października 2010].
- <http://www.heading.enter.net.pl/glonass.htm> [dostęp: 14 października 2010].
- <http://www.kosmos.gov.pl> [dostęp: 14 października 2010].

Dr inż. Janusz Dąbrowski  
Państwowa Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna  
w Jarosławiu im. ks. Bronisława Markiewicza  
Instytut Inżynierii Technicznej  
The State School of Higher Vocational Education in Jarosław  
The Institute of Technical Engineering  
e-mail:jd@pwszjar.edu.pl  
37-500 Jarosław, ul. Czarnieckiego 16  
tel. (16) 621-75-20

Recenzent: *Prof. dr hab. inż. Waldemar Krupiński*