

Jacek KROPIWNICKI

## MOŻLIWOŚCI WYZNACZANIA KĄTA NACHYLENIA DROGI Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU GPS

### Streszczenie

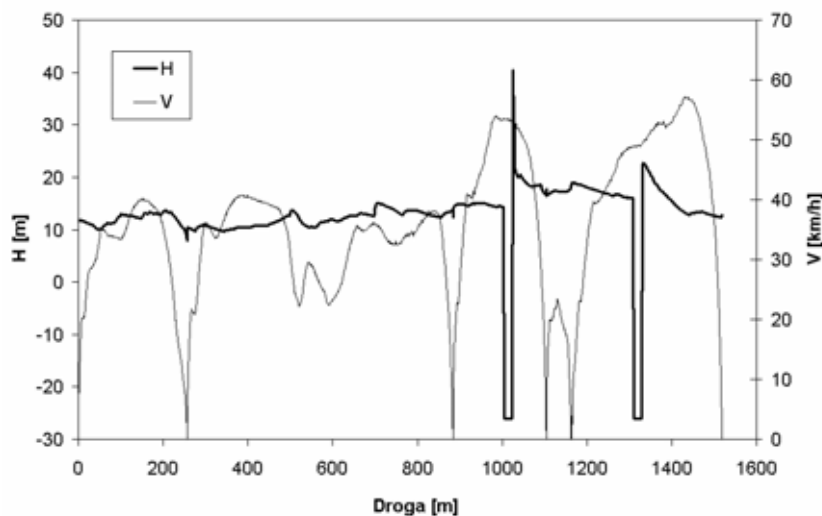
*W pracy przedstawiona została metoda korekty sygnału wysokości pochodzącego z systemu GPS umożliwiająca wyeliminowanie nagłych zmian wysokości, które nie występują w rzeczywistości, a są następstwem odbić lub zaniku sygnału pochodzącego z nadajników satelitarnych. Parametrem charakteryzującym zakres korekty oryginalnego sygnału jest kąt dopuszczalnego pochylenia drogi, który powinien być dobierany ze względu na analizowany typ dróg oraz obowiązujące przepisy prawne w danym kraju. Wyniki przeprowadzonych analiz pozwalają stwierdzić, że zaproponowana korekta sygnału wysokości umożliwia osiągnięcie dużej dokładności w określaniu wysokości, na której znajdował się układ pomiarowy.*

### WSTĘP

Badania drogowe pojazdów związane są najczęściej z określeniem ich własności trakcyjnych, ekologicznych i energetycznych. Jedną z metod określania obciążenia układu napędowego pojazdu jest określenie energii mechanicznej dostarczonej przez układ przeniesienia napędu do kół. Istotnym składnikiem tego bilansu jest energia przeznaczana na wzrost energii potencjalnej pojazdu (w wyniku pokonywania wzniesień) [1, 5, 10, 11]. Koniecznym więc jest precyzyjne określenie wysokości, na której znajduje się pojazd, a ostatecznie chwilowego kąta nachylenia drogi. Jak wykazano w niniejszej pracy zadanie to, z zadowalającą dokładnością, realizować może system pomiaru położenia GPS po odpowiedniej korekcie wskazań. Dodatkowo samochód poruszający się w strumieniu pojazdów, w regularnym ruchu miejskim, może również stanowić urządzenie pomiarowe do określania natężenia ruchu, wyznaczania rzeczywistych warunków eksploatacji pojazdów oraz wyznaczenia profili prędkości typowych dla wybranego odcinka drogi lub dzielnicy miasta [3, 6, 10].

Wysokość podawana przez odbiornik GPS nie jest zbyt precyzyjna dla zastosowań naziemnych. Prosta geometria komponentów satelitarnych systemu sprawia, że precyzja pomiaru wysokości jest około dziesięciokrotnie gorsza od precyzji pomiaru pozycji poziomej. Typowy błąd pozycji pionowej w sygnałach i urządzeniach dla użytku cywilnego jest mniejszy niż 10 m. Podstawowym problemem przy wykorzystaniu tych odbiorników w warunkach badań drogowych jest jednak powstawanie odbić sygnału pochodzącego z nadajników satelitarnych lub jego chwilowy zanik. W warunkach miejskich przyczyną tego zjawiska jest przede wszystkim gęsta zabudowa i występowanie wysokich budynków w bezpośrednim sąsiedztwie jezdni oraz wiaduktów i tuneli. Na rys. 1 przedstawiono przebieg wysokości  $H$  oraz prędkości pojazdu  $V$  rejestrowanych w czasie przejazdu przez centrum Gdańska. Do analizy

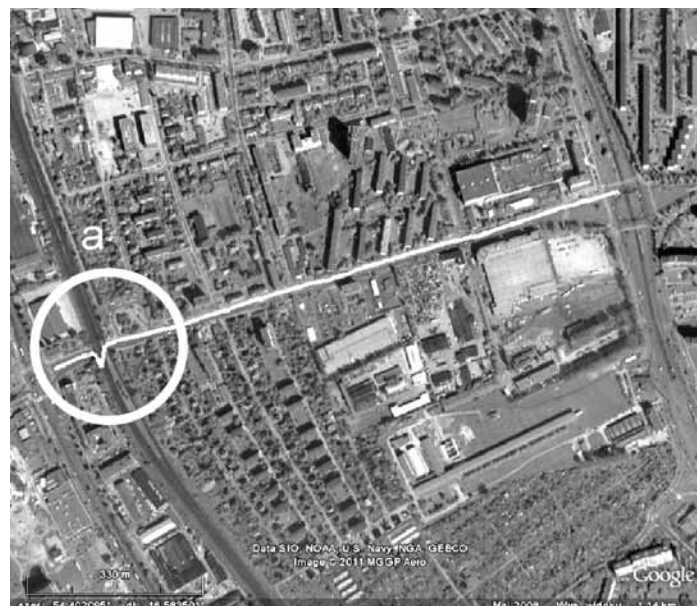
wybrana została trasa przejazdu przebiegająca ulicami o gęstej zabudowie, z budynkami występującymi w bezpośrednim sąsiedztwie jezdni. Widoczne są tam dwa miejsca, gdzie nastąpiło zakłócenie sygnału z satelity objawiające się gwałtownym wzrostem lub spadkiem wskazywanej wysokości, a następnie jej powrotem do poziomu wyjściowego.



**Rys. 1.** Przebieg wysokości  $H$  oraz prędkości pojazdu  $V$  rejestrowany w czasie przejazdu przez centrum Gdańska

Źródło: Opracowanie własne.

Na rys. 2 widoczne jest zdjęcie satelitarne wraz z zaznaczonym za pomocą pogrubionej linii położeniem pojazdu wg wskazań systemu GPS oraz obszarem „a”, gdzie następuje zakłócenie sygnału z satelitów. Na rys. 3 widoczne jest natomiast zbliżenie obszaru „a”. W obszarze tym widoczny jest wiadukt kolejowy, pod którym odbywa się przejazd samochodów. Wiadukt ten jest przyczyną zakłóceń oraz zaniku fal radiowych pochodzących z nadajników satelitarnych.



**Rys. 2.** Położenie pojazdu według wskazań systemu GPS (obszar, gdzie następuje zakłócenie sygnału z satelitów oznaczono symbolem „a”)

Źródło: Opracowanie własne.

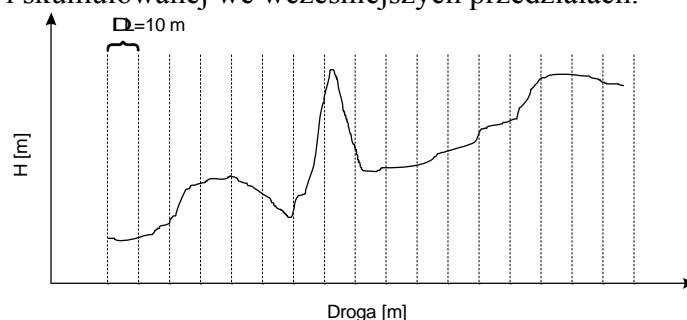


**Rys. 3.** Zbliżenie obszaru o oznaczeniu „a”, gdzie następuje zakłócenie sygnału GPS  
 Źródło: Opracowanie własne.

## 1. KOREKTA SYGNAŁU WYSOKOŚCI Z SYSTEMU GPS

Wprowadzenie korekty sygnału wysokości polegało na wykluczeniu wskazań wysokości dających nachylenie drogi wyższe niż dopuszczalne w przepisach. Metoda ta umożliwia wyeliminowanie wpływu błędnych wskazań systemu dotyczących pomiaru wysokości, w odróżnieniu od powszechnie używanych metod filtracji cyfrowej [2, 4, 7, 8], które powodują tylko osłabienie tego wpływu. Poniżej zamieszczono opis tej procedury, z użyciem schematów rysunkowych (rys. 4 i 5).

Analizowaną trasę przejazdu w płaszczyźnie poziomej podzielono na przedziały o równej długości  $\Delta L$  wynoszącej 10 m, a następnie obliczono średnią wartość wysokości w poszczególnych przedziałach wskazywaną przez system GPS. Na rys. 4 przedstawiono schemat takiego podziału. Wyjątek stanowi tylko ostatni przedział, którego długość wynika z różnicy długości całej trasy i skumulowanej we wcześniejszych przedziałach.



**Rys. 4.** Schemat podziału trasy przejazdu w kierunku poziomym na równe odcinki  
 Źródło: Opracowanie własne.

Następnie liniami prostymi połączono pierwszą zarejestrowaną wysokość przebiegu z wartościami średnimi w środkach poszczególnych przedziałów i ostatnią zarejestrowaną wysokością. Wygenerowano w ten sposób profil drogi odwzorowany za pomocą odcinków prostych o stałej składowej poziomej (za wyjątkiem odcinka pierwszego i ostatniego). Zgodnie z polskimi przepisami dla dróg krajowych dopuszczalne bezwzględne nachylenie drogi powinno być nie większe niż 3,7 stopnia [11]. Przyjęto, że linie proste, których bezwzględne



nachylenie względem poziomu jest mniejsze niż 4 stopnie ( $\alpha_l = 4 \text{ deg}$ ), odpowiadają rzeczywistemu przebiegowi profilu drogi i oznaczono je czarną linią pogrubioną, natomiast pozostałe linie uznano za nieodpowiadające stanowi faktycznemu i zaznaczono szarą linią pogrubioną (rys. 5). Przyjęto więc podział na linie o prawidłowym (pogrubione czarne  $\alpha_l < 4 \text{ deg}$ ) i nieprawidłowym przebiegu (pogrubione szare  $\alpha_l \geq 4 \text{ deg}$ ). Warunek o zachowaniu dopuszczalnego bezwzględnego nachylenia drogi można wówczas sformułować w następujący sposób:

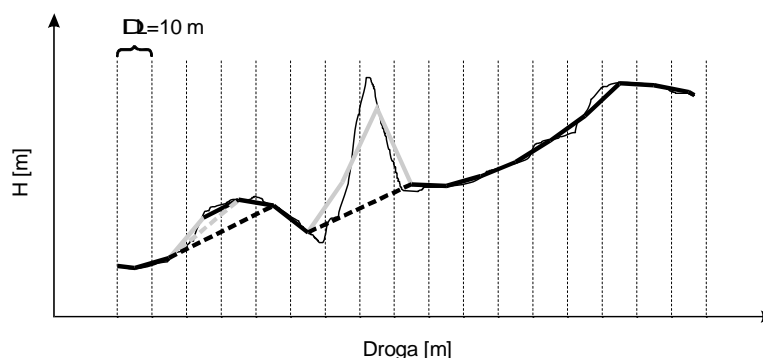
$$|\alpha| < \alpha_l \quad (1)$$

gdzie:

$\alpha$  – kąt nachylenia drogi względem poziomu,

$\alpha_l$  – kąt dopuszczalnego nachylenia drogi. Przyjęto  $\alpha_l = 4 \text{ deg}$ .

Następnie z punktów, gdzie rozpoczynają się odcinki o nieprawidłowym przebiegu, poprowadzone zostały alternatywne odcinki do kolejnych, dalszych przedziałów. Odbywa to się z pominięciem przedziałów, do których prowadzą odcinki o nieprawidłowym przebiegu (rys. 5). W przypadku, gdy przeprowadzony alternatywny odcinek również nie spełnia warunku o dopuszczalnym bezwzględnym nachyleniu drogi (linia pogrubiona szara przerywana) procedura jest powtarzana. Alternatywne odcinki, które spełniają warunek o dopuszczalnym bezwzględnym nachyleniu drogi, zaznaczone zostały na rys. 5 linią pogrubioną czarną przerywaną. Procedura ta może zostać wykonana w kierunku przeciwnym, jeżeli pierwszy odcinek wyznaczony na podstawie zarejestrowanej trasy przejazdu nie spełnia warunku (1) o zachowaniu dopuszczalnego bezwzględnego nachylenia drogi. W takiej sytuacji punktem startowym do odwzorowania profilu drogi za pomocą odcinków prostych będzie punkt rozpoczynający pierwszy odcinek spełniający warunek (1), a procedura wyznaczania alternatywnych odcinków zostanie przeprowadzona zarówno wprzód jak i wstecz.



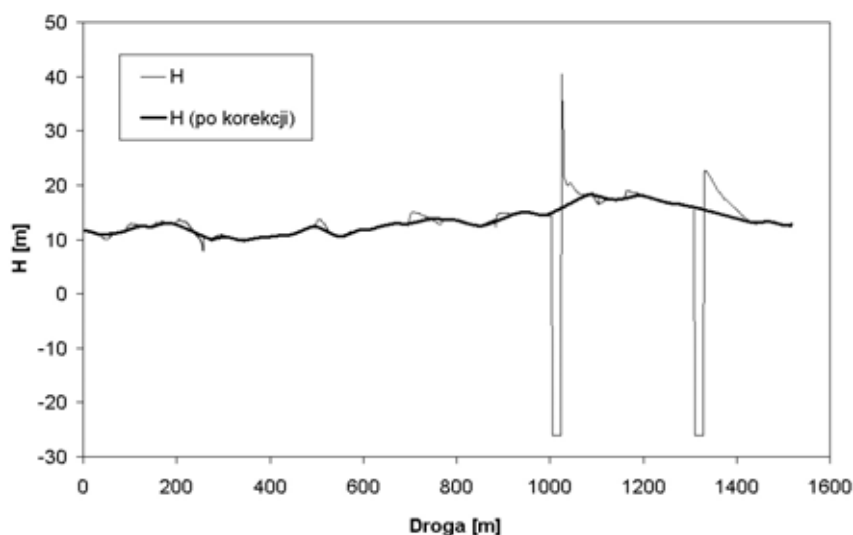
**Rys. 5.** Schemat wyznaczenia alternatywnych odcinków odwzorujących profil drogi: linia pogrubiona czarna – przebieg prawidłowy spełniający warunek (1), linia pogrubiona szara – przebieg nieprawidłowy, linia pogrubiona szara przerywana – przebieg alternatywny nieprawidłowy, linia pogrubiona czarna przerywana – przebieg alternatywny prawidłowy spełniający warunek (1)

Źródło: Opracowanie własne.

## 2. PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA KOREKTY SYGNAŁU WYSOKOŚCI

Na rysunku 6 przedstawiono wyniki korekcji sygnału wysokości zarejestrowanego systemem GPS, przy przejeździe opisanym na rys. 1-3. W obszarze, gdzie zakłócany jest sygnał GPS widoczne są wyraźne piki zmian wysokości (linia cienka), które nie występują w rzeczywistości. Sygnał skorygowany (linia pogrubiona) nie różni się na wymienionych obszarach od rzeczywistych wartości w zakresie większym niż  $\pm 2 \text{ m}$  (różnice szacowane na podstawie mapy).





**Rys. 6.** Porównanie przebiegu wysokości rejestrowanej w czasie przejazdu przez centrum miasta Gdańska oraz sygnału skorygowanego

Źródło: Opracowanie własne.

## PODSUMOWANIE

W podsumowaniu można stwierdzić, że opracowana metoda korekty sygnału wysokości pochodzącego z systemu GPS umożliwiła wyeliminowanie nagłych zmian wysokości, które nie występują w rzeczywistości, a są następstwem odbić lub zaniku sygnału pochodzącego z nadajników satelitarnych. Parametrem charakteryzującym zakres korekty oryginalnego sygnału jest kąt dopuszczalnego nachylenia drogi, który powinien być dobierany ze względu na analizowany typ dróg oraz obowiązujące przepisy prawne w danym kraju. Wyniki przeprowadzonych analiz pozwalają stwierdzić, że zaproponowana korekta sygnału wysokości umożliwia osiągnięcie dużej dokładności w określaniu wysokości, na której znajdował się układ pomiarowy.

## BIBLIOGRAFIA

1. Balcerski A., Kneba Z., Kropiwnicki J., Makowski S.: *The conception of exploitation efficiency of autonomic energy systems of land vehicles and ships*, Combustion Engines, R. 48, nr SC2, Mixture Formation, Ignition and Combustion, 2009, s. 70-76.
2. Bendat J.S., Piersol A.G.: *Engineering applications of correlation and spectral analysis*, John Wiley & Sons, Inc. USA, 1980.
3. Casey E.J., Smith W.J., Timoney D.J.: *Examination of Low-cost Systems for the Determination of Kinematic Driving Cycles and Engine Operating Conditions in Dublin, Ireland*, SAE Technical Paper Series, 2009, 2009-01-2791.
4. Fortuna Z., Macukow B., Wąsowski J.: *Metody numeryczne*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1982.
5. Kropiwnicki J.: *Influence of traffic conditions on the operating fuel consumption*, Developments in Mechanical Engineering, Gdańsk University of Technology Publishers, Gdańsk, 2009, Vol. 3.
6. Kulkarni A.V., Sapre R.R., Sonchal Ch.P.: *GPS-Based Methodology for Drive Cycle Determination*, SAE Technical Paper Series, 2005, 2005-01-1060.
7. *MATLAB Help, Filter Design Toolbox*, Release 14, 2004.
8. Press W.H. et al.: *Numerical Recipes in C*, Cambridge University Press 1990.
9. Siłka W.: *Teoria ruchu samochodu*, WNT, Warszawa, 2002.

10. Tzirakis E., Pitsas K., Zannikos F., Stournas S.: *Vehicle Emissions and Driving Cycles: Comparison of the Athens Driving Cycle (ADC) with ECE-15 and European Driving Cycle (EDC)*, Global NEST Journal, Vol. 8, No. 3, 2006, s. 282-290.
11. Ubysz A.: *Energochłonność samochodu a zużycie paliwa w złożonych warunkach ruchu*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2003.

## **POSSIBILITIES OF DETERMINING OF THE ROAD INCLINATION ANGLE WITH THE GPS SYSTEM**

### *Abstract*

*The paper presents a method for the correction of the signal from the GPS system allowing elimination of sudden changes in height, which do not exist in reality and are a consequence of reflections or loss of signal from satellite transmitters. Parameter characterizing the magnitude of the correction is an acceptable angle of the road inclination, which should be selected because of the analyzed type of roads and existing law in the country. The results of the analysis reveal that the proposed adjustment of the signal achieves high accuracy in determining the height, at which there was the measuring system.*

**Autor:** dr inż. **Jacek Kropiwnicki** – Politechnika Gdańska