

Adam DREWNIAŃY<sup>1</sup>, Jacek NOWAKOWSKI<sup>2</sup>

## BADANIA DROGOWE POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH

**Streszczenie:** W ramach badań porównawczych bezstykowych systemów pomiarowych, przeprowadzono pomiary przebytej drogi podczas przejazdu ze stałą prędkością, pomiary rozpędzania oraz skuteczności hamowania pojazdu. Rejestracja wybranych parametrów została zrealizowana przy wykorzystaniu uniwersalnego rejestratora  $\mu$ EEP11, do którego wprowadzono cyfrowo sygnały impulsowe z czujnika optycznego Correvit S-400 (340 imp./m) oraz inercyjnego systemu nawigacji satelitarnej GPS GNSS RT2002 (1000 imp./m). Badania przeprowadzono w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji „BOSMAL” w Bielsku-Białej.

**Słowa kluczowe:** badania drogowe, bezstykowe systemy pomiarowe, dokładność pomiarów

## ROAD TESTS OF MOTOR VEHICLES

**Summary:** As part of the comparative tests of contactless measurement systems, measurements of the distance traveled during a drive with constant speed, as well as measurements of acceleration and vehicle braking efficiency were carried out. The recording of selected parameters was carried out using the universal  $\mu$ EEP11 recorder, to which the impulse signals from the Correvit S-400 optical sensor (340 imp./m) and the inertial GPS GNSS RT2002 satellite navigation system (1000 imp./m) were entered. The research was carried out by the Research Institute and Automotive Development "BOSMAL" in Bielsko-Biala.

**Keywords:** road tests, contactless measurement systems, measurement accuracy

### 1. Cel i zakres badań drogowych

W zależności od założonego kryterium badania pojazdów można grupować w różny sposób. Z uwagi na obiekt badań wyodrębnić można na przykład badania: elementów, zespołów oraz kompletnych pojazdów. Z uwagi na metodę przeprowadzania eksperymentów wyróżniamy na przykład badania: stanowiskowe oraz drogowe. Kompletnie pojazdy w przeważającej części testuje się w warunkach drogowych, natomiast elementy oraz zespoły na stanowiskach. Pomimo tego nie jest to stała zasada, gdyż występują stanowiska do prób pojazdów, jak również czasami przeprowadza się badania drogowe, których zadaniem jest zbadanie tylko konkretnych zespołów [1, 2, 3, 4].

---

<sup>1</sup> inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, kierunek: Mechanika i Budowa Maszyn, specjalność: Samochody i silniki

<sup>2</sup> prof. ATH dr hab. inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, email: jnowakowski@ath.bielsko.pl

Rozróżniamy badania kompletnych pojazdów:

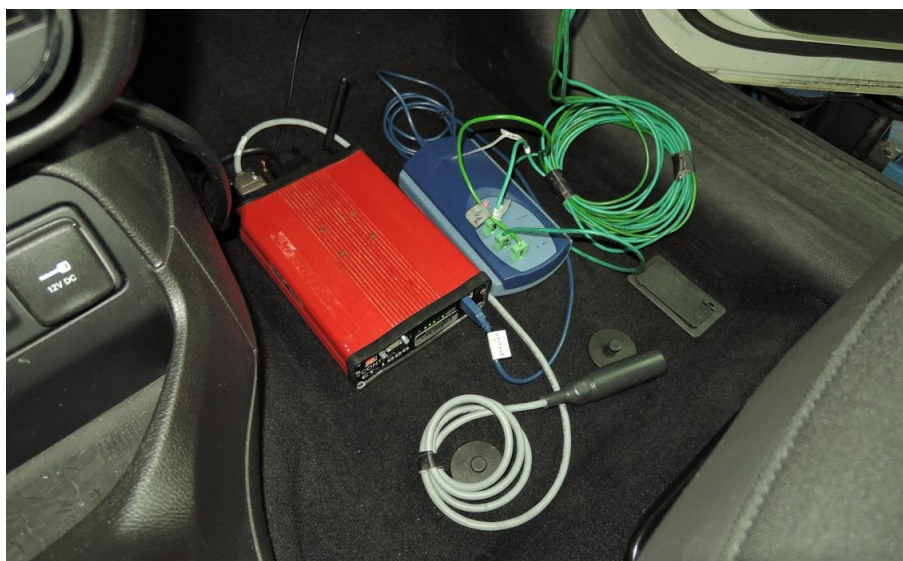
- badania właściwości technicznych - wielkości oraz cechy, które cechują nowy pojazd,
- badania właściwości eksploatacyjnych - określają właściwości użytkowe samochodu oraz jego przydatność do realizowania zadań według jego przeznaczenia,
- badania trwałości oraz niezawodności - dają możliwość oceny żywotności samochodu oraz jego zespołów, ale również ustalenia prawdopodobieństwa wystąpienia różnych defektów oraz awarii,
- badania skutków kolizji - dają możliwość nie tylko oceny uszkodzeń samochodu, które powstają w rezultacie zderzenia, ale także stopnia ochrony osób biorących udział w wypadku przed jego skutkami.

W zależności od warunków technicznych badania kompletnych pojazdów realizuje się na:

- publicznych drogach,
- na stanowiskach badawczych,
- na wyspecjalizowanych próbnym torach, poligonach badawczych oraz bezdrożach.

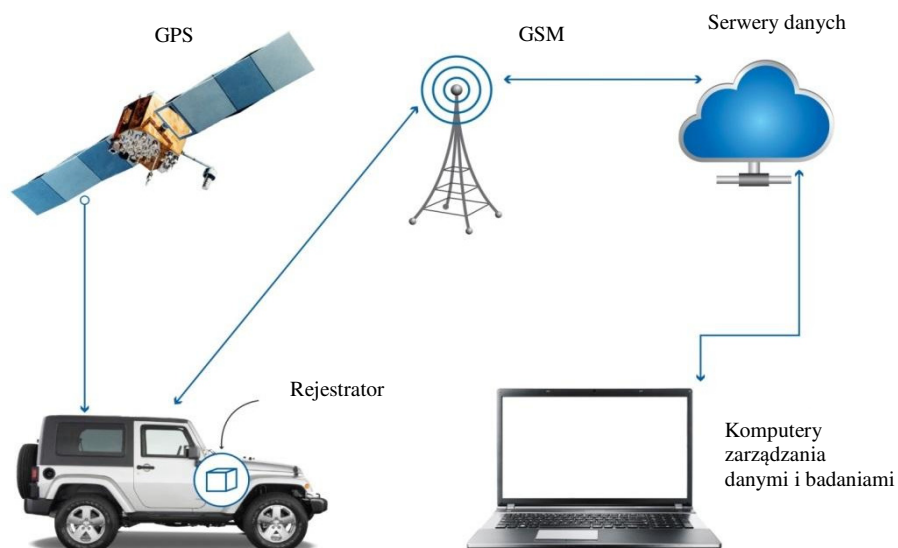
## **2. Nowoczesne techniki zapisu i transmisji danych**

Postęp technologii motoryzacyjnej, oprócz działań konstrukcyjnych obliguje do zrealizowania obszernych badań funkcjonowania nowych rozwiązań w pojeździe samochodowym. Najlepsze rozwiązanie konstrukcyjne potrzebuje zweryfikowania w realnych warunkach pracy, w celu ustalenia jego funkcjonalności, niezawodności oraz trwałości. Badania dają możliwość ustalenia optymalnych parametrów pracy, a także skontrolowania wymogów materiałowych oraz technologicznych. Równocześnie do modernizowanych pojazdów rozwija się system badań, które wykorzystują coraz to nowocześniejsze narzędzia. Umożliwia to zintensyfikowaniu precyzji przeprowadzonych badań, prostszą ich archiwizację, analizę oraz badanie całkowicie nowych korelacji, które mają wpływ na eksploatację samochodu, które do tej pory były niemożliwe do zarejestrowania. Aparatura nowszej generacji daje możliwość zbadania znacznie większej ilości pojazdów oraz zgromadzenia dużej ilości danych z ograniczeniem do minimum liczby osób obsługi zaangażowanych w badania. Dla potrzeb analizy odczytywane są informacje z modułów elektronicznych samochodu. Zapisy można odczytać za pomocą interfejsu diagnostycznego za pośrednictwem komputera lub właściwym modułem nadzorującym, który pozwala na szczegółowy odczyt danych z wymaganą częstotliwością, a także ich gromadzenie, a następnie przekazywanie na serwer przy pomocy sieci GSM 9 (rys. 1, 2). Informacje odczytywane z podzespołów pojazdu mogą być powiązane z informacjami z dodatkowych czujników badawczych, które są zainstalowane w pojeździe, wśród nich temperatury, ciśnienia a także położenia GPS [4, 5, 6, 7, 8, 9].



Rysunek 1. System automatycznej akwizycji danych w samochodzie. Źródło: własne

Bezpośredni przekaz danych na serwer daje możliwość interpretacji wyników przez kilku pracowników równolegle, każdy badający w swojej sferze kompetencji. Analiza może być przeprowadzona właściwie w czasie powstawania danych.



Rysunek 2. Schemat nowoczesnego układu rejestracji danych. Źródło: własne

Nowoczesne technologie wykorzystywane w produkcji pojazdów wymagają powstania nowych instrumentów badawczych. Modyfikacje wdrażane w pojazdach wielokrotnie mogą zostać „zweryfikowane” wirtualnie na trójwymiarowym modelu

budowanym przez inżyniera, eliminuje to potrzebę tworzenia wielu prototypów oraz prowadzi do wykonania bezpośrednio modelu przedprodukcyjnego. Ulokowanie dużej ilości mikrokontrolerów w samochodzie umożliwiło usprawnienie jego funkcjonalności jedynie poprzez modyfikację oprogramowania, ale jednocześnie stworzyło możliwość występowania problemów będących rezultatem nieprawidłowej współpracy poszczególnych układów w samochodzie (uzależnionych także od użytego oprogramowania). Wywołuje to potrzebę zbierania dużej ilości danych z układów/zespołów pojazdu. Trzeba podkreślić, że nie wszystkie zgromadzone dane są poddawane interpretacji, natomiast ich archiwizowanie jest konieczne, aby w razie potrzeby możliwe było określenie warunków wystąpienia nieprawidłowości.

### 3. Budowa i zasada działania aparatury pomiarowej wyposażonej w głowicę optyczną Correvit oraz urządzenia pomiarowego wykorzystującego sygnał GPS GNSS RT2002 V2

#### Głowica optyczna Correvit

Do badań dynamiki pojazdów samochodowych dotychczas stosowano urządzenie bezstykowego pomiaru prędkości i drogi przebytej przez pojazd, wykorzystujące zasadę korelacyjno - optyczną. Najczęściej stosowanym urządzeniem wyposażonym w tę głowicę optyczną jest Correvit, który w latach 70 – 80-tych zdominował techniki pomiarowe w badaniach drogowych (rys. 3, 4, 5).

Rodzaje głowic optycznych:

- L - do badania prędkości wzdłużnej,
- Q - do badania prędkości poprzecznej,
- S, S-CE - do badania prędkości zarówno wzdłużnej, jak i poprzecznej,
- H - do badania wysokości.



Rysunek 3. Czujnik pomiaru prędkości Correvit L. Źródło: własne



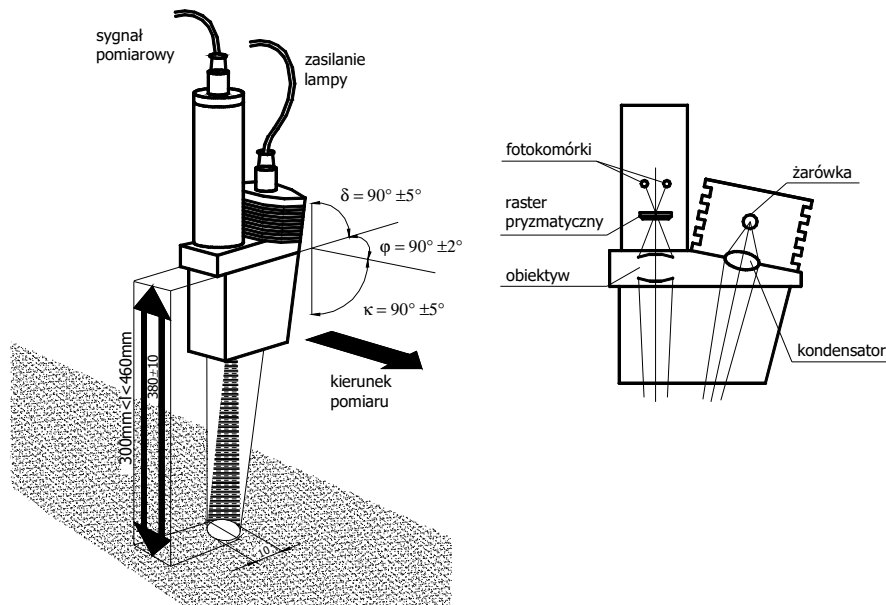
Rysunek 4. Czujnik pomiaru prędkości Correvit S. Źródło: własne

Oprócz tego istnieją także głowice zintegrowane. Najbardziej znana to zintegrowana głowica typu S-CE dokonująca jednocześnie pomiaru prędkości wzdłużnej i poprzecznej oraz wysokość.



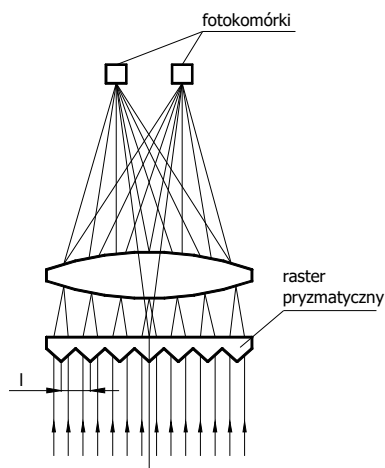
Rysunek 5. Czujnik pomiaru prędkości Correvit S-CE. Źródło: własne

Głowicę aparatu Correvit mocuje się do pojazdu nad powierzchnią drogi. Zaopatrzona jest ona w system oświetlający, a także w układ optyczny, którego częściami są: raster pryzmatyczny, obiektyw, kondensator, żarówka oraz dwie fotokomórki (rys. 6, 7).



Rysunek 6. Schemat budowy głowicy – opracowano na podstawie [3]

Urządzenie działa następująco: promienie świetlne, które odbijają się od powierzchni jezdni, po przejściu przez obiektyw tworzą wiązkę równoległą padającą na raster, który rozdziela je na dwie wiązki, ogniskowane w dwóch fotokomórkach. W każdej z nich są skoncentrowane promienie świetlne padające na wręby rastra o identycznym pochyleniu.



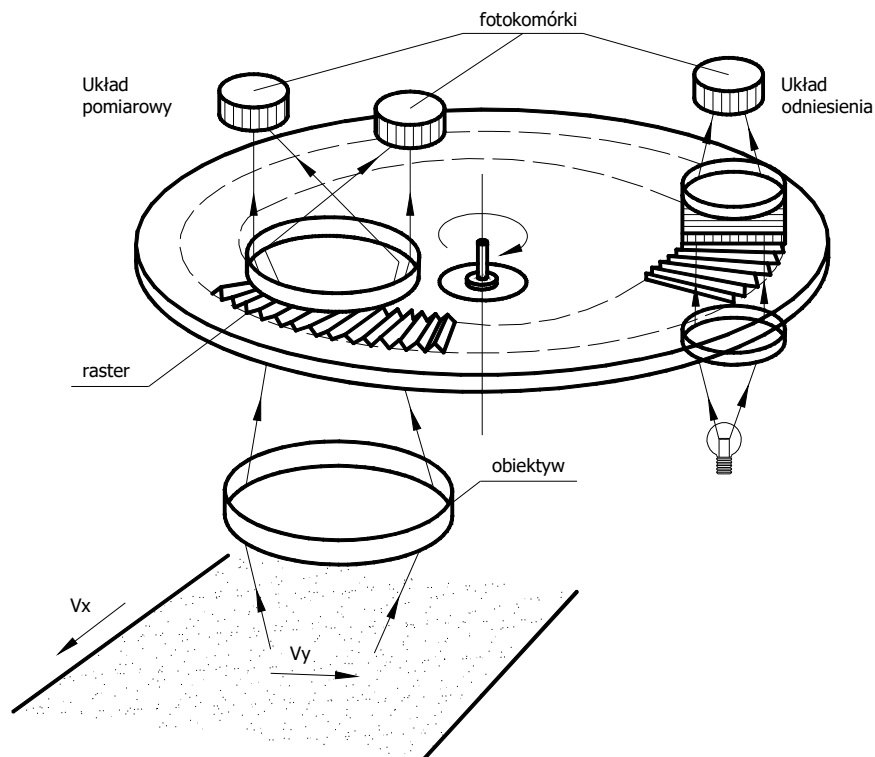
Rysunek 7. Zasada działania głowicy [2]

Dodatkowo poza opisanym urządzeniem aktualnie jest proponowana cała grupa czujników korelacyjno-optycznych, wspomagających pomiary właściwości ruchowych pojazdów. Przedsiębiorstwo takie jak Datron - Corrsys wytwarzają czujniki do pomiarów drogi przebytej przez pojazd oraz jego wzdłużnej prędkości, na przykład Correvit L, LM, L3, L-CE, sensory do badania prędkości poprzecznej do toru jazdy (Correvit Q), a także czujniki do prób przemieszczeń, używane na przykład podczas prób zmian odległości nadwozia od nawierzchni drogi (Correvit H). Wytwarzane są również czujniki dające możliwość jednoczesnego badania prędkości zarówno wzdłużnej jak i poprzecznej samochodu, co jest bardzo ważne podczas badania stateczności. Da się wyszczególnić takie czujniki jak: Correvit S-CE firmy Corrsys oraz Davit-V firmy Datron. W fazie przygotowywania są również porównywalnie funkcjonujące czujniki, w których zastosowano regułę działania radaru mikrofalowego.

Na rysunku 8 przedstawiono regułę pracy czujnika korelacyjno-optycznego w wariantcie mającym zastosowanie przy pomiarze prędkości bocznego znoszenia pojazdu (Correvit Q). Jego praca jest analogiczna do przeanalizowanego wcześniej, z taką różnicą, że raster pryzmatyczny jest wytworzony nie jak w wersji L, czyli w formie płytki o równoległych wrębach, a w postaci krążka o wrębach naciętych promieniowo.

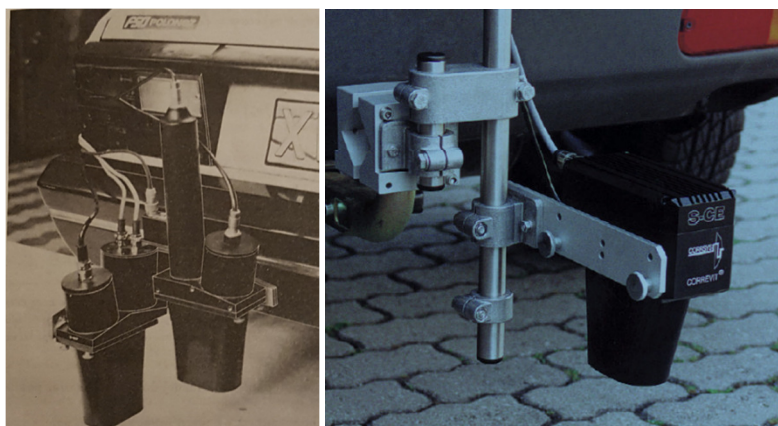
Krążek kręci się z dużą prędkością. Współdziałają z nim dwa układy optyczne. Jeden, który reaguje na odbite światło od nawierzchni jezdni, zlokalizowany jest w takim miejscu tarczy, gdzie jej prędkość obwodowa jest pionowa do kierunku jazdy. Wysyła on sygnał prędkości równoznacznej sumie prędkości znoszenia bocznego  $v_y$  oraz

obwodowej prędkości tarczy. Drugi, czyli optyczny układ odniesienia, który jest rozświetlany swoim źródłem światła, pomaga w badaniu prędkości obwodowej tarczy. Zróżnicowanie pomiędzy tymi sygnałami tworzy szukaną wartość prędkości boczno-tycznej.



Rysunek 8. Zasada działania czujnika Correvit Q do pomiaru prędkości bocznych [2]

Podczas badań prędkości boczno-tycznej pojazdu trzeba zwrócić szczególną uwagę na technikę mocowania czujnika Correvit. W wyniku przechyłów pojazdu na skutek oddziaływania sił bocznych, na przykład na łuku drogi uwidacznia się pozorna składowa poprzecznej prędkości, która jest rezultatem kątownego poruszania się czujnika połączonego z nadwoziem. Im wyżej jest przytwierdzony czujnik, tym wyższy jest błąd pomiaru. Przy precyzyjnych czynnikach pomiarów błąd ten da się wyliczyć z wykorzystaniem pomocniczego badania kąta przechyłu nadwozia, na przykład przy pomocy dwóch czujników Correvit H.

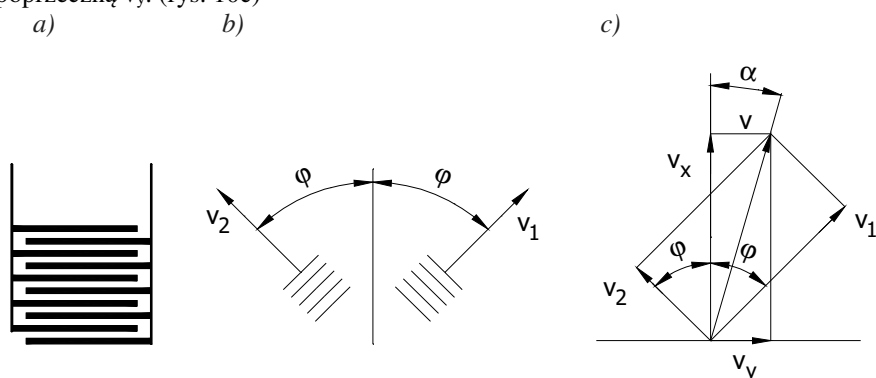


Rysunek 9. Czujniki Correvit L i Q oraz S-CE zamontowane w pojazdach [2]

Powyższy rysunek 9 przedstawia wygląd dwóch czujników - Correvit Q i L zamocowanych na zderzakach pojazdów, gotowych do testów prędkości boczno-wnoszenia. Komplet ten można zamienić jednym czujnikiem, jak na przykład Davit-V, czy też Correvit S-CE, które robią pomiary równocześnie dwóm składowym prędkości - wzdłużnej i poprzecznej.

Regulę funkcjonowania czujnika Davit-V, wyprodukowanego przez firmę Datron, nieco różniącą się od omawianych na przykładzie czujników Correvit Q, L, przedstawiono na rysunku 10.

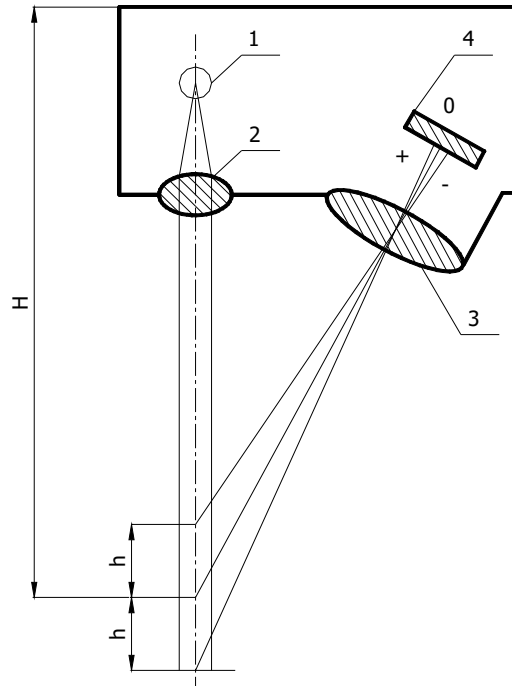
Dwie fotokomórki oraz raster pryzmatyczny zmieniono na raster z fotodiod. Obraz powierzchni drogi jest wyświetlany przez obiektyw na matrycę paskowych fotodiod. Paski parzyste jak i nieparzyste są zespolone (rys. 10a). W rezultacie uzyskuje się, podobnie jak wcześniej, impuls o częstotliwości porównywalnej do prędkości samochodu. Obraz drogi rzutuje się na dwa rastry, które mierzą pod kątem  $45^\circ$  prędkość w obydwóch kierunkach odnośnie do podłużnej osi samochodu (rys. 10b). Z dwóch nawzajem poprzecznych składowych prędkości  $v_1$  i  $v_2$  da się wyliczyć prędkość wypadkową  $v$ , kąt znoszenia  $\alpha$ , a także prędkość wzdłużną  $v_x$  i prędkość poprzeczną  $v_y$ . (rys. 10c)



Rysunek 1. Zasada pomiaru prędkości wzdłużnej i poprzecznej samochodu za pomocą czujnika Davit-V [2]



W tej samej grupie znajdują się czujniki Correvit H, pomimo, że funkcjonują na innej zasadzie, czujniki te stosowane są do badania zmian odległości nadwozia samochodu do powierzchni jezdni (rys. 11).



Rysunek 2. Zasada działania czujnika Correvit H [2]

Struga światła przesyłanego przez promiennik podczerwieni 1 zostaje skoncentrowany przez soczewkę 2, stwarzając na drodze nieznaczną plamkę. Obraz plamki trafia przez obiektyw 3 na fotokomórkę 4, zbudowaną tak, że napięcie na wyjściu z diody wynika z miejsca, w którym pada na nią punkt światła. Podczas gdy światło pada na środek diody, w punkcie 0, napięcie wyjściowe z czujnika równa się 0 V. Jeśli dystans czujnika od nawierzchni jezdni zmienia się, punkt światła przemieszcza się w kierunku „+” czy też „-” oraz na wyjściu z czujnika uzyskuje się dodatnie bądź ujemne napięcie, współmierne do dystansu plamki światła do punktu 0. Tego rodzaju czujniki są produkowane w zróżnicowanych sekcjach, dla różnorodnych odległości H czujnika od nawierzchni jezdni oraz zróżnicowanych obszarów pomiarowych  $\pm h$ .

### Urządzenie pomiarowe GPS GNSS RT20002 V2

Szybko rozwijająca się technologia nawigacji satelitarnej pozwala inżynierom zajmującym się badaniami dynamiki samochodów, wykorzystać w testach badawczych, sygnał nawigacji satelitarnej GPS. Jedną z firm wykorzystującą w swoich urządzeniach badawczych sygnał GPS jest firma Oxford Technical Solutions produkująca system inercyjny GNSS RT. Występują trzy grupy urządzeń

w rodzinie RT, takie jak: RT2000, RT3000 i RT4000 - dodatkowo każde z nich zawiera różne modele (rys. 12, 13).



Rysunek 12. GPS GNSS RT2002 V2 firmy Oxford Technical Solutions [9]

Od czerwca 2014 r. wszystkie produkty z grupy RT - z pominięciem modelu RT2500, są budowane na nowej specyfikacji pod nazwą - v2. Urządzenia v2 mogą osiągnąć dokładność 1 cm RTK w rzeczywistym czasie w miejsce 2 cm dokładności wcześniejszych modeli. Aby osiągnąć bardzo dokładne pomiary RT korzysta z algorytmów matematycznych przygotowanych do zastosowania w systemach nawigacji samolotów myśliwskich. Trzy akcelerometry, trzy żyroskopy (czujniki prędkości kątowej) oraz blok czujnika inercyjnego pomagają w obliczeniach wszystkich wyjść.

System RT przetwarza informacje w czasie faktycznym. Wyniki w tym czasie są wyprowadzane za pomocą szeregowego portu RS232 z użyciem transmisji UDP. Wyjścia są opatrzone oznaczeniem czasu oraz odnoszą się do czasu GPS. Można też zastosować synchronizację czasową 1PPS w celu zapewnienia bardzo dokładnej synchronizacji czasowej pomiędzy systemami. Pomiary inercyjne są skoordynowane z zegarem GPS.

Można wyróżnić trzy rodzaje produktów RT, które oparte są na zbliżonej technologii, dodatkowo w ramach każdego rodzaju jest cały szereg modeli o różnej dokładności:

- RT2000s - wyposażony w tańsze odbiorniki GNSS, dostępny w wersji zarówno z pojedynczą jak i podwójną anteną, występuje w wersji 100 Hz i 250 Hz,
- RT3000s - odbiorniki GNSS klasy pomiarowej zapewniają precyzyjną pozycję oraz prędkość pomiarów, nawet w wielościeżkowych środowiskach, dostępne są modele zarówno z jedną jak i dwiema antenami, częstotliwość aktualizacji do 100 Hz,
- RT4000s - produkty te są tożsame z serią RT3000, różnią się częstotliwością aktualizacji, która w tym modelu wynosi do 250 Hz.

Pojedyncza antena wyróżnia się zaawansowanym algorytmem w oprogramowaniu RT, oznacza, że większość pojazdów drogowych jest w stanie korzystać z jednego systemu antenowego. Blokada kursu i zaawansowane funkcje poślizgu umożliwiają RT urządzenia do utrzymywania dokładnego kursu w czasie postoju i jazdy z niską dynamiką pojazdu.



Rysunek 13. Urządzenie RT zamontowane w pojeździe [4]

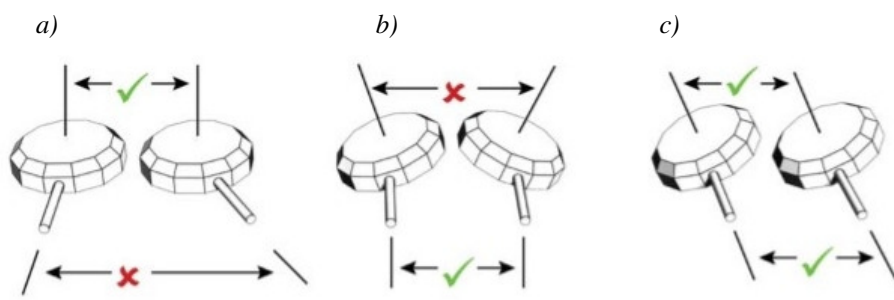
Natomiast podwójna antena - zapewnia wysoką dokładność informacji o kursie i prawie stałą wydajność w każdych warunkach.

Podstawowe mierzone parametry urządzenia:

- położenie,
- prędkość,
- czas,
- promień toczenia,
- odchylenie boczne,
- prędkość pionowa,
- prędkość poprzeczna,
- prędkość wzdłużna,
- wysokość.

Dla ułatwienia eksploatacji najlepiej jest przymocować urządzenie RT, tak aby jego osie były zgodne z osiami pojazdu. Jeżeli system musi być zainstalowany niewspółosiowo odnośnie pojazdu, a użytkownik nie może dokładnie zmierzyć kąta przesunięcia, urządzenie RT posiada pewne zastosowania do pomiaru samych przesunięć. Przesunięcie kursu można zmierzyć, jeżeli pojazd posiada niekierowaną oś.

Aby uzyskać optymalną wydajność, niezbędne jest, aby antena (-y) GNSS (e) były montowane na dachu pojazdu, na metalowej powierzchni za pomocą dołączonych uchwytów magnetycznych. Anteny nie mogą być montowane na nieprzewodzących materiałach, czy też w okolicy krawędzi materiałów przewodzących. W systemach z podwójną anteną - antena wtórna powinna być zainstalowana jako antena główna, jak pokazano na rysunku 14.



Rysunek 14. Orientacja podwójnej anteny.

- a) Podstawy anten są równoległe, ale kable wychodzą w różnych kierunkach.
- b) Kable wychodzą w tym samym kierunku, ale podstawy anten nie są równoległe.
- c) Podstawy anten są równoległe a kable wychodzą w tym samym kierunku. Ta konfiguracja osiągnie najlepsze wyniki [2]

Linia podstawowa anteny powinna być wyrównana z jedną z osi pojazdu, w linii lub prostopadle do przedniej osi pojazdu. W konfiguracji domyślnej podstawowa antena powinna znajdować się z przodu pojazdu, a antena dodatkowa powinna

znajdować się z tyłu pojazdu. Bardzo ważne jest, aby urządzenie RT było bezpiecznie zamontowane w pojeździe. Jeśli kąt urządzenia RT zmieni się w stosunku do pojazdu, wówczas system podwójnej anteny nie będzie działał poprawnie. Jest to o wiele bardziej prawdopodobne w przypadku systemów z dwiema antenami niż w przypadku systemów z jedną anteną. Konfigurowanie stacji bazowej - do prawidłowego działania systemów o wyższej dokładności niezbędne jest użycie stacji bazowej odbiornika GNSS. Wszystkie systemy mogą być z powodzeniem używane bez stacji bazowej, specyfikacja zostanie jednakże spełniona wyłącznie wówczas, gdy używana będzie stacja bazowa. Stacja bazowa jest odrębnym odbiornikiem GNSS, który monitoruje sygnały z satelity GNSS.

Wykorzystując swoją wiedzę o położeniu, rozwiązuje błędy w każdym sygnale satelity. Mierzy także fazę nośną sygnału dla korekt kinematycznych. Obserwacje fazy nośnej oraz błędy sygnału satelitarne są wysyłane ze stacji bazowej GNSS do urządzenia RT poprzez modem radiowy. Położenie anteny GNSS stacji bazowej może być określone przez odbiornik GNSS czy też stację bazową lub może być badane przez biegłego mierniczego. Jeśli odbiornik GNSS stacji bazowej określi swoją pozycję jako uśrednienie pozycji, wtedy każdy błąd w odbiorniku stacji bazowej spowoduje również błąd w urządzeniu RT. Aby powiązać sygnały urządzenia RT z mapami bądź innymi obiektami na świecie, niezbędne jest, aby pracownik zmierzył pozycję anteny GNSS, a później powiadomił stację bazową odbiornika GNSS, której pozycji użyć (rys. 15, 16).



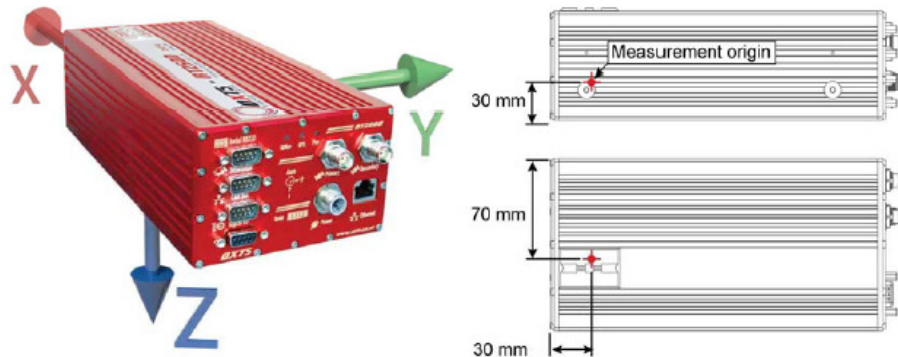
Rysunek 15. Stacja bazowa GNSS [9]



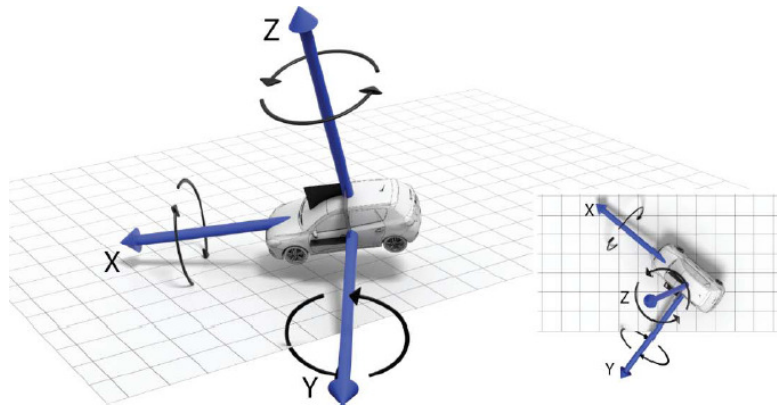
Rysunek 16. Schemat działania stacji bazowej [9]

Przyrząd pomiarowy RT 2002 wyposażony w urządzenie IMU umożliwia pomiar kątów obrotu, pochylenia i odchylenia wykorzystując trzy żyroskopy, oraz pomiar przyspieszenia w trzech kierunkach przy zastosowaniu trzech akcelerometrów z wykorzystaniem pojedynczego systemu pomiarowego (rys. 17, 18):

- prędkość kątowna wokół osi wzdłużnej pojazdu,
- prędkość kątowna wokół osi pionowej pojazdu,
- prędkość kątowna wokół osi poprzecznej pojazdu,
- przyspieszenie wzdłużne,
- przyspieszenie poprzeczne,
- przyspieszenie pionowe.



Rysunek 17. Ramka referencyjna IMU używana przez RT [4]



Rysunek 18. Przykład montażu ramy RT [4]

Rama urządzenia RT jest przymocowana do pojazdu, obraca się zgodnie z kierunkiem pojazdu, ale nie obraca się wraz z jego przechyleniem i nachyleniem. Osie X i Y pozostają równoległe do płaszczyzny poziomej, a dodatkowo oś X jest równoległa do kursu pojazdu.

1. Oś X jest prostopadła do grawitacji i jest skierowana do przodu pojazdu, rzutowana na płaszczyznę poziomą.
2. Oś Y jest prostopadła do grawitacji i do osi X i jest skierowana w lewy bok pojazdu oraz rzutowana na płaszczyznę poziomą.
3. Oś Z jest współosiowa z wektorem grawitacji i dodatnia w kierunku do góry.

Produkty z rodziny RT2002 to precyzyjne i zaawansowane systemy nawigacji inercyjnej i GPS do pomiaru ruchu, a także położenia. Urządzenia używają technologii Inertial Navigation System (INS) i łączą się z odbiornikami GPS. Najlepsze cechy systemów nawigacyjnych i GPS są łączone w celu uzyskania optymalnego rozwiązania, dzięki temu urządzenia z grupy RT mogą być użytkowane przez nieokreślony czas bez konieczności resetowania.

#### 4. Wyposażenie samochodu badawczego w czasie próby drogowej

##### 4.1. Opis badanego pojazdu

Badanie drogowe przeprowadzone zostało na samochodzie osobowym Alfa Romeo Stelvio 2.2 16V będący w badaniach w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji Bosmal.



Rysunek 19. Widok pojazdu Alfa Romeo Stelvio z zamontowaną aparaturą pomiarową. Źródło: Badania własne

Tabela 1. Parametry techniczne samochodu

pojemność skokowa silnika	2143 cm <sup>3</sup>
moc maksymalna	190 KM
maksymalny moment obrotowy	450Nm
układ napędowy	4WD
rok produkcji	2019
skrzynia biegów	automatyczna
prędkość maksymalna	210 km/h
rodzaj paliwa	olej napędowy

Źródło: Badania własne.

## 4.2. Aparatura pomiarowa

### 4.2.1. System akwizycji danych $\mu$ EEP11 firmy CORRSYS-DATRON

Podczas badań został wykorzystany system akwizycji danych  $\mu$ EEP11 firmy CORRSYS-DATRON. Zadaniem tego urządzenia jest rejestracja sygnałów cyfrowych i analogowych przekazywanych z czujników zamontowanych na badanym pojeździe. Urządzenie to zostało wyposażone w system pomiarowy służący do akwizycji danych oraz wizualizacji wyników parametrów.



Rysunek 20. System akwizycji danych  $\mu$ EEP11 firmy CORRSYS-DATRON.

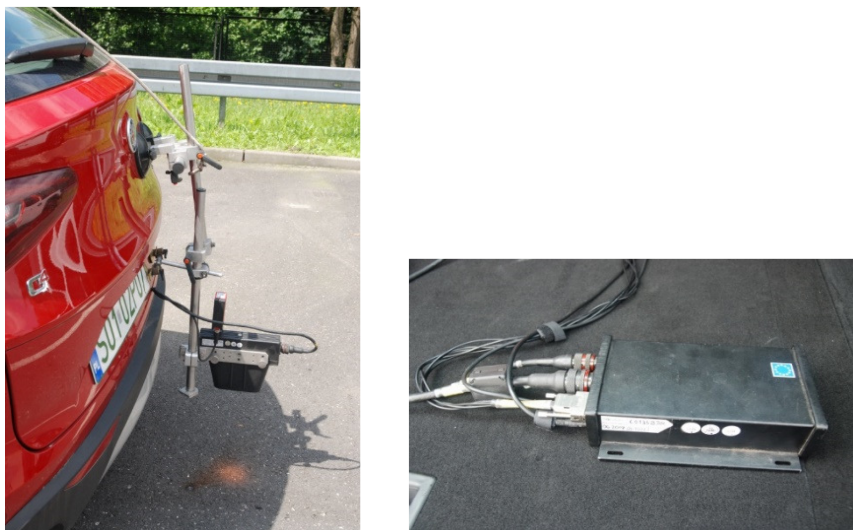
Źródło: Badania własne



Rysunek 21. Widok monitora z bieżącymi danymi  $\mu$ EEP11 firmy CORRSYS-DATRON. Źródło: Badania własne

#### 4.2.2. Głowica pomiarowa Correvit (Corrsys-Datron) S- 400

Zamontowana na pojeździe głowica pomiarowa Correvit S- 400 to urządzenie do bezstykowego pomiaru prędkości i drogi pokonanej przez badany pojazd.



Rysunek 22. Głowica pomiarowa Correvit S-400 i moduł przetwarzający sygnał. Źródło: Badania własne



#### 4.2.3. Bariera świetlna (fotokomórka) firmy CORRSYS-DATRON

Pomiar drogi był każdorazowo inicjowany oraz zakończony poprzez sygnał z bariery świetlnej umieszczonej w początkowym i końcowym punkcie wzorcowanego odcinka pomiarowego.

a)



b)



Rysunek 23. a) słupek pomiarowy do wyzwalania początku i końca odcinka pomiarowego, b) zamocowana fotokomórka na głowicy CORREVIT w tylnej części pojazdu. Źródło: Badania własne

Tabela 2. Parametry techniczne

zasięg	0.3...8 m
źródło światła	Czerwona dioda LED
czas działania	500 $\mu$ s
stopień ochrony IP	67
częstotliwość	1 kHz
zasilanie	10...30 V DC
wymiary	120 mm x 70 mm x 30 mm
waga	150 g

Źródło: Badania własne.

#### 4.2.4. System pomiarowy GPS GNSS RT2002 V2

Urządzenie pomiarowe GPS GNSS RT2002 wykorzystuje sygnały GPS, który zapisuje dane pomiarowe z częstotliwością 100 Hz, co zapewnia dużą dokładność.

Podstawowe parametry mierzone przez urządzenie to: położenie, prędkość, czas, promień toczony, odchylenie boczne, przyspieszenie kątową itd.



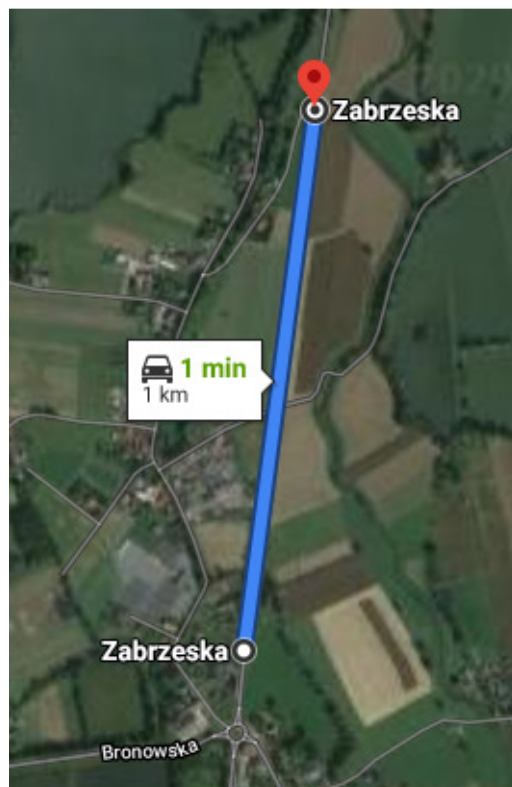
*Rysunek 24. Sposób zamontowania urządzenia GSP GNSS RT2002 V2.  
Źródło: Badania własne*



*Rysunek 25. Sposób zamontowania pojedynczej anteny GNSS G5 Ant-2AMNS1.  
Źródło: Badania własne*



Rysunek 26. Urządzenia rejestrujące dane podczas badania.  
Źródło: Badania własne



Rysunek 27. Odcinek pomiarowy wykonywanego badania. Źródło: Badania własne

## 5. Badania porównawcze – analiza wyników

W ramach badań porównawczych bezstykowych systemów pomiarowych, przeprowadzono pomiary przebytej drogi podczas przejazdu ze stałą prędkością, pomiary rozpędzania oraz skuteczności hamowania pojazdu. Rejestracja wybranych parametrów została zrealizowana przy wykorzystaniu uniwersalnego rejestratora  $\mu$ EEP11, do którego wprowadzono cyfrowo sygnały impulsowe z czujnika optycznego Correvit S-400 (340 imp./m) oraz inercyjnego systemu nawigacji satelitarnej GPS GNSS RT2002 (1000 imp./m).

Pomiary wykonano na płaskim odcinku drogi na trasie Ligota – Zabrzeg. Nawierzchnia w chwili wykonywania badań była sucha, dobrej jakości. Warunki atmosferyczne w trakcie pomiarów, zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Warunki atmosferyczne podczas pomiarów

Temperatura powietrza	[°C]	15,2 ÷ 16,9
Ciśnienie atmosferyczne	[hPa]	997,8 ÷ 998,0
Wilgotność względna	[%]	80,5 ÷ 82,1
Prędkość wiatru	[m/s]	0,0 ÷ 0,3

Źródło: Badania własne.

### 5.1. Pomiar drogi podczas jazdy ze stałą prędkością

Przygotowanie próby, obejmowało wyznaczenie przy użyciu przymiaru wstęgowego 100 m, odcinka drogi o długości 1000 m. Na początku oraz końcu odcinka, zostały umieszczone słupki, wyposażone w taśmę odblaskową, przystosowaną do współpracy z system fotokomórki refleksyjnej.

Inicjacja oraz zakończenie pomiaru następowało po uzyskaniu sygnału z bariery świetlnej, sprzężonej z rejestratorem  $\mu$ EEP11, w chwili przejazdu obok początkowego oraz końcowego słupka metrycznego.

Badania przebytej drogi, zrealizowano dla założonych wcześniej prędkości: 30, 60 i 100 km/h (2 przejazdy dla każdej prędkości). W trakcie przejazdu utrzymywano stałą prędkość z tolerancją  $\pm 2$  km/h. Wyniki przedstawiono w tabeli 4 oraz na wykresie 1.

Błąd bezwzględny określono jako:

$$\Delta = S - S_0 \quad (1)$$

gdzie:  $S$  – wartość drogi zmierzona przez urządzenie pomiarowe,  
 $S_0$  – wartość drogi odmierzona przy użyciu wzorcowanej taśmy pomiarowej o długości 100 m

Błąd względny:

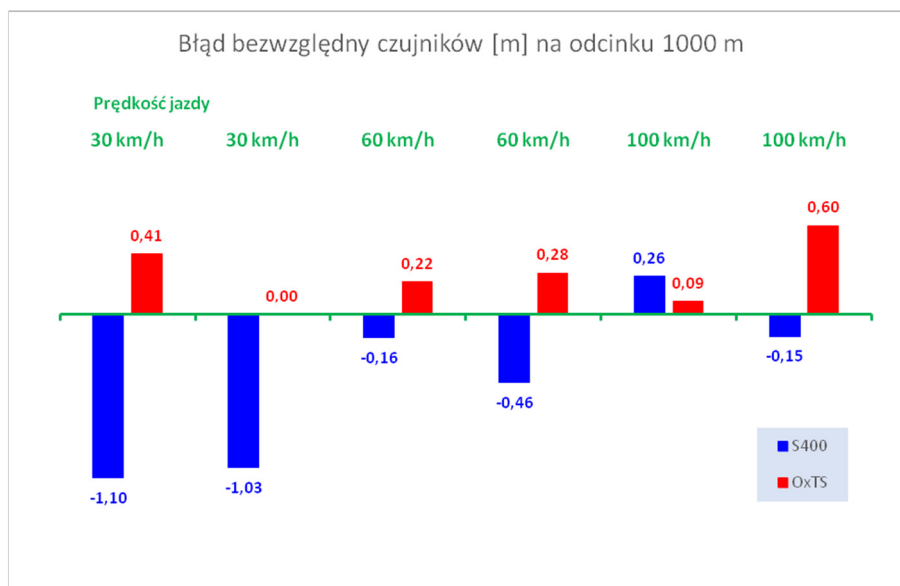
$$\Delta_{\%} = \frac{\Delta}{S_0} \cdot 100\% \quad (2)$$

Tabela 4. Wyniki pomiarów drogi na odcinku 1000 m

Pomiar odcinak drogi o długości 1000 m								
Lp.	Długość odcinka [ m ]	Średnia prędkość jazdy [ km/h ]	S400			OxTS		
			Droga zmierzona [ m ]	Błąd bezwzględny [ m ]	Błąd względny [ % ]	Droga zmierzona [ m ]	Błąd bezwzględny [ m ]	Błąd względny [ % ]
			S	$\Delta$	$\Delta_{\%}$	S	$\Delta$	$\Delta_{\%}$
1	1000	30	998,90	-1,10	-0,11	1000,41	0,41	0,04
2	1000	30	998,97	-1,03	-0,10	1000,00	0,00	0,00
3	1000	60	999,84	-0,16	-0,02	1000,22	0,22	0,02
4	1000	60	999,54	-0,46	-0,05	1000,28	0,28	0,03
5	1000	100	1000,26	0,26	0,03	1000,09	0,09	0,01
6	1000	100	999,85	-0,15	-0,01	1000,60	0,60	0,06

Źródło: Badania własne.

Wykres 1. Wykres błędów bezwzględnych pomiaru drogi podczas jazdy ze stałą prędkością 30, 60 i 100 km/h



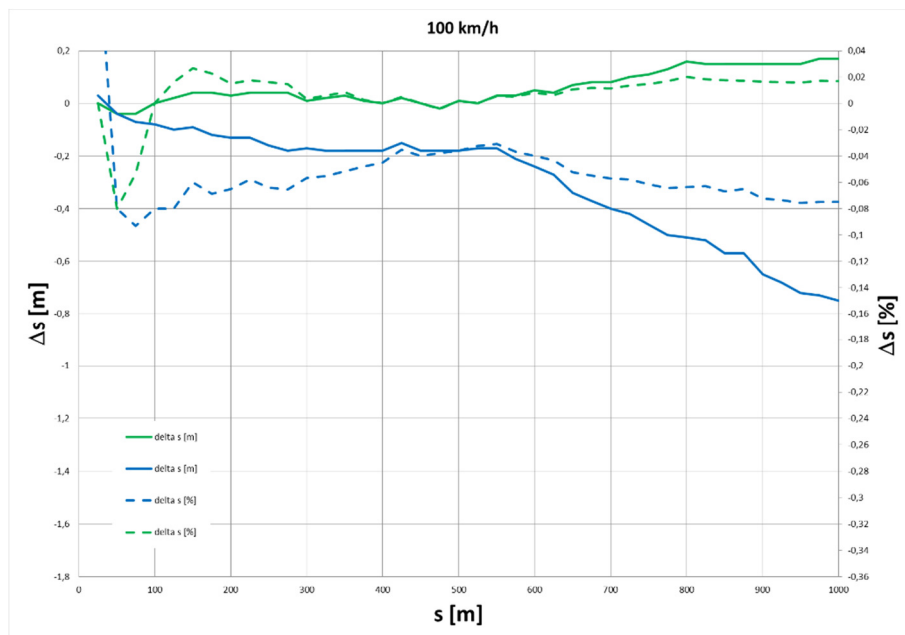
Źródło: Badania własne.

Dla obu sprawdzanych urządzeń uzyskano niskie wartości błędów pomiaru drogi. Maksymalny błąd względny dla czujnika optycznego S400 wyniósł  $-0,11\%$ . Widoczna jest pewna zależność błędu od prędkości jazdy – większe odchyłki uzyskano dla najmniejszej prędkości, wynoszącej  $30\text{ km/h}$ .

W przypadku systemu GPS GNSS RT2002 maksymalny błąd względny wyniósł  $0,06\%$ . Nie jest widoczna zależność błędu od prędkości jazdy. Na powstanie i wielkość błędów, oprócz samych urządzeń, wpływ mogły mieć inne czynniki, między innymi dokładność wyznaczenia oraz prostoliniowość przejazdu odcinka pomiarowego.

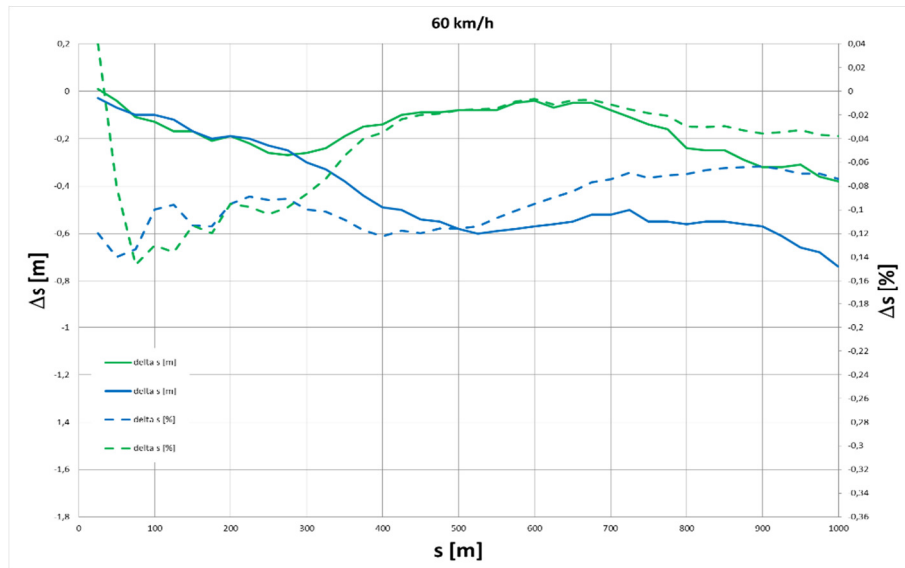
W przypadku obu urządzeń uzyskana dokładność pomiaru jest zadowalająca, kilkakrotnie wyższa od wartości wymaganych w dokumentach normatywnych (np. wg Regulaminu 13-H EKG ONZ wymagana jest dokładność pomiaru prędkości i drogi na poziomie  $\pm 1\%$ ). Przy pomijalnie małym błędzie pomiaru czasu, należy przyjąć, że wartości prędkości i przyspieszeń uzyskiwane na podstawie pomiaru drogi, również będą obciążone niskim błędem pomiaru. Dodatkowo na wykresach 2-4 przedstawiono różnice we wskazaniach obu urządzeń w funkcji przebytej drogi.

Wykres 2. Wykres różnic wskazań drogi podczas jazdy ze stałą prędkością  $100\text{ km/h}$   
Pomiar 1 - kolor zielony, Pomiar 2 – kolor niebieski



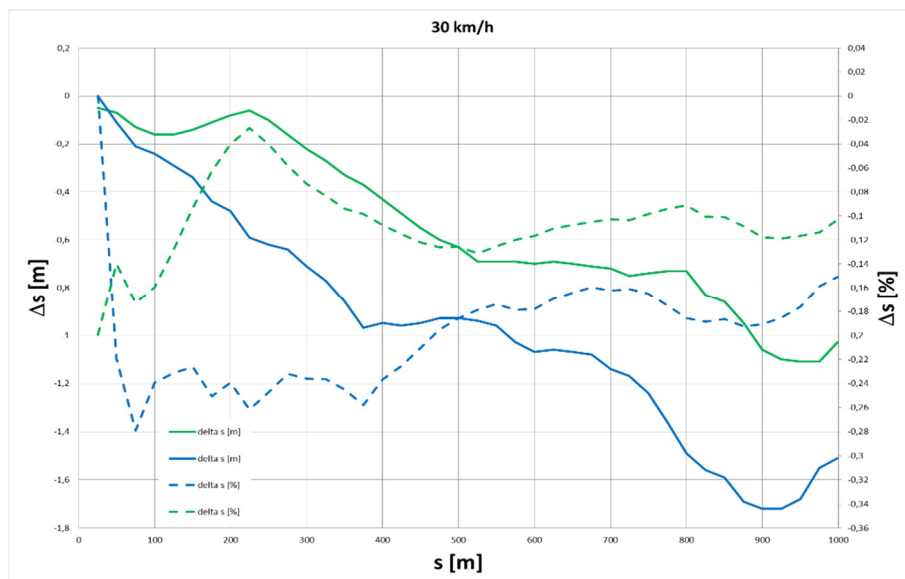
Źródło: Badania własne.

Wykres 3. Wykres różnic wskazań drogi podczas jazdy ze stałą prędkością 60 km/h. Pomiar 1 - kolor zielony, Pomiar 2 – kolor niebieski



Źródło: Badania własne.

Wykres 4. Wykres różnic wskazań drogi podczas jazdy ze stałą prędkością 30 km/h. Pomiar 1 - kolor zielony, Pomiar 2 – kolor niebieski



Źródło: Badania własne.

## 5.2. Skuteczność hamowania

W trakcie badań wykonano pomiary drogi oraz opóźnienia, podczas hamowania z prędkości 100 km/h do zatrzymania. Badania wykonano w oparciu o wytyczne Regulaminu 13-H EKG ONZ: próba typu 0, hamulec roboczy zimny. W trakcie pomiaru pojazd został rozpędzony do prędkości  $100 \div 102$  km/h, a następnie uruchomiony został roboczy układ hamulcowy z maksymalną, możliwą do uzyskania skutecznością (przy aktywnym działaniu systemu ABS). Jako sygnał wyzwalający pomiar przyjęto spadek prędkości do wartości 100 km/h z jednego z czujników. Badanie przeprowadzono trzykrotnie. Wyniki przedstawiono w tabeli 5 oraz na wykresach 5-7.

Tabela 5. Wyniki pomiarów drogi hamowania i średniego w pełni rozwiniętego opóźnienia

HAMULEC ZASADNICZY - PRÓBA TYPU 0 (silnik odłączony)								
Prędkość początkowa hamowania: 100 km/h								
Lp.	Średnie w pełni rozwinięte opóźnienie hamowania				Droga hamowania			
	S400 $d_{m1}$ [ m/s <sup>2</sup> ]	OxTS $d_{m2}$ [ m/s <sup>2</sup> ]	Różnica bezwzględna $ \Delta $ [ m/s <sup>2</sup> ]	Różnica względna $ \Delta _{\%}$ [ % ]	S400 $S_1$ [ m ]	OxTS $S_2$ [ m ]	Różnica bezwzględna $ \Delta $ [ m ]	Różnica względna $ \Delta _{\%}$ [ % ]
pomiar 1	10,15	10,16	0,01	0,03	38,59	37,11	1,48	1,96
pomiar 2	10,03	9,99	0,04	0,21	38,91	37,39	1,52	1,99
pomiar 3	10,24	10,25	0,01	0,06	38,95	37,57	1,38	1,80
<b>średnia</b>	<b>10,14</b>	<b>10,13</b>	<b>0,02</b>	<b>0,10</b>	<b>38,82</b>	<b>37,36</b>	<b>1,46</b>	<b>1,92</b>

Źródło: Badania własne.

Średnie w pełni rozwinięte opóźnienie hamowania:

$$d_m = \frac{V_B^2 - V_e^2}{25.92 \cdot (S_e - S_b)} \quad (3)$$

gdzie:  $V_0$  – prędkość początkowa pojazdu,  
 $V_b$  – prędkość odpowiadająca 0,8  $V_0$ ,  
 $V_e$  – prędkość odpowiadająca 0,1  $V_0$ ,  
 $S_b$  – droga przebyta między  $V_0$  i  $V_b$ ,  
 $S_e$  – droga przebyta między  $V_0$  i  $V_e$ .

Różnica bezwzględna pomiędzy urządzeniami  $|\Delta|$

$$|\Delta| = |x_1 - x_2| \quad (4)$$

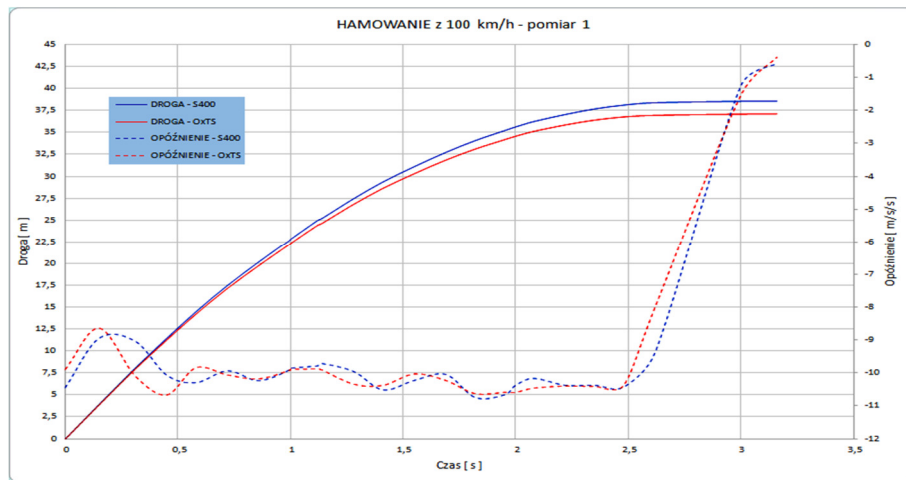
Różnica względna pomiędzy urządzeniami  $|\Delta|_{\%}$ :



$$|\Delta|_{\%} = \left| \frac{x_1 - x_2}{X} \right| \cdot 100\% \quad (5)$$

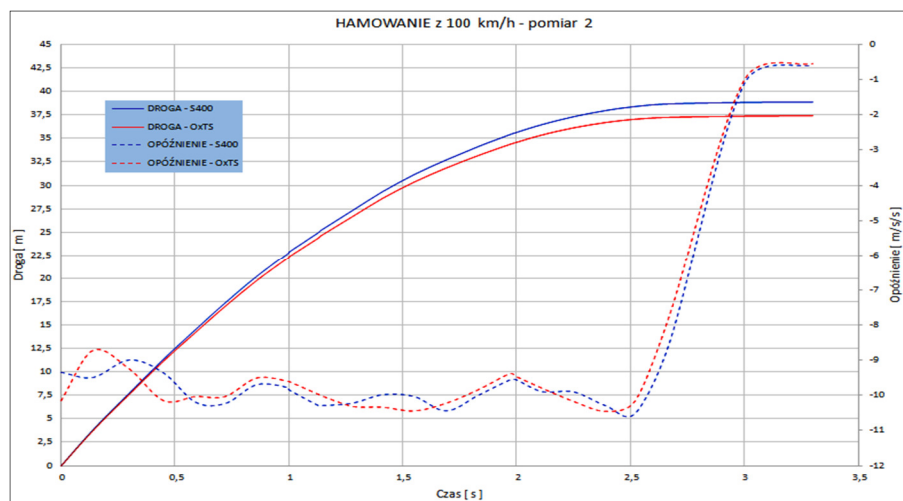
gdzie:  $X = \frac{x_1 + x_2}{2}$  - średnia arytmetyczna wyników z 2 urządzeń.

Wykres 5. Wykres pomiarów drogi i opóźnienia pojazdu, podczas próby hamowania - pomiar 1



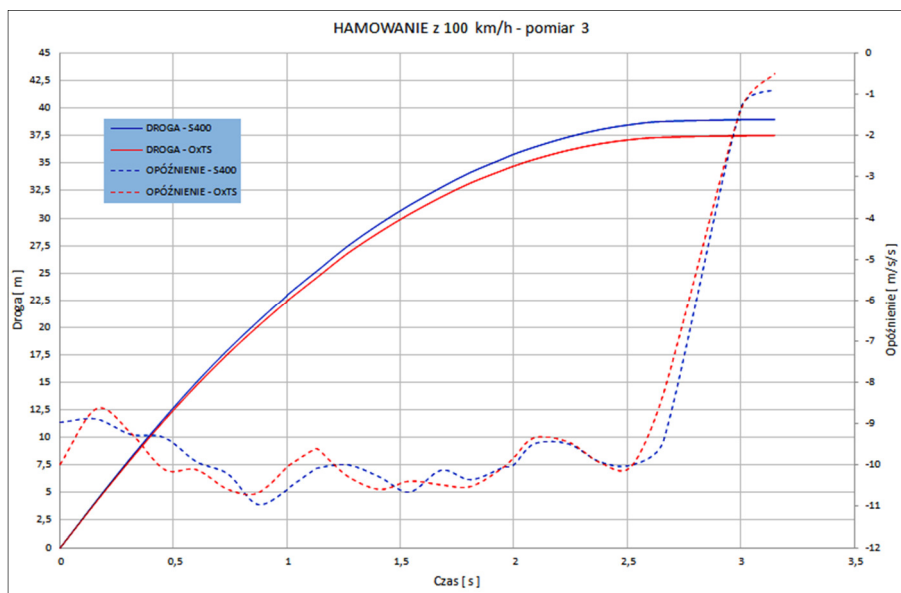
Źródło: Badania własne.

Wykres 6. Wykres pomiarów drogi i opóźnienia pojazdu, podczas próby hamowania - pomiar 2



Źródło: Badania własne.

Wykres 7. Wykres pomiarów drogi i opóźnienia pojazdu, podczas próby hamowania - pomiar 3



Źródło: Badania własne.

W trakcie pomiarów uzyskano bardzo dobrą korelację wyników pomiędzy urządzeniami, w zakresie średniego, w pełni rozwiniętego opóźnienia hamowania, natomiast nieco gorszą dla drogi hamowania.

Maksymalna różnica względna dla opóźnienia wyniosła 0,21 %, natomiast dla drogi 1,99 %. Opisana różnica pomiaru drogi wynika z różnic prędkości zarejestrowanej w chwili rozpoczęcia hamowania. W przypadku czujnika optycznego S400 wielkość ta wynosiła 99,42 do 99,58 km/h, natomiast dla systemu GPS GNSS RT2002 - 97,15 do 98,05 km/h. Wskazuje to, że w warunkach dużej zmienności mierzonych parametrów (opóźnienia), system GPS GNSS RT2002 charakteryzuje się mniejszą bezwładnością wskazań. Przy planowaniu badań tego typu, należy uwzględnić tę cechę danego przyrządu i odpowiednio zaprogramować warunek inicjujący pomiar.

### 5.3. Pomiar intensywności rozpędzania pojazdu

Próba polegała na rozpędzaniu pojazdu ze startu zatrzymanego na odcinku 400 m. W trakcie pomiarów wykorzystano maksymalne osiągi układu napędowego (maksymalne wciśnięcie pedału przyspieszenia), skrzynia biegów została ustawiona w tryb automatyczny.

Rejestracja wskazanych parametrów rozpoczynała się po uzyskaniu prędkości początkowej, wynoszącej 0,5 km/h. Warunkiem kończącym pomiar było osiągnięcie dystansu 400 m. Pomiar intensywności rozpędzania wykonano dwukrotnie, bezpośrednio po sobie, w przeciwnych kierunkach jazdy.

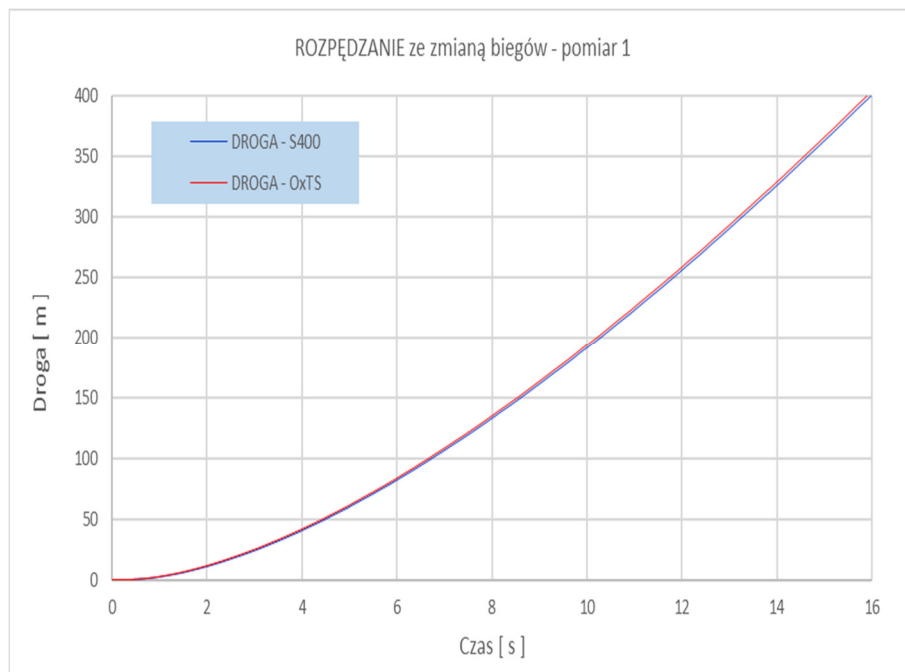
Wyniki przedstawiono w tabeli 6 oraz na wykresach 8-13.

Tabela 6. Wyniki pomiarów czasu rozpędzania

Rozpędzanie ze zmianą biegów od startu zatrzymanego								
Lp.	Czas rozpędzania od 0 do 100 km/h				Czas rozpędzania od 0 do 400 m			
	S400	OxTS	Różnica bezwzględna	Różnica względna	S400	OxTS	Różnica bezwzględna	Różnica względna
	t <sub>1</sub> [ s ]	t <sub>2</sub> [ s ]	Δ  [ s ]	Δ  <sub>%</sub> [ % ]	t <sub>1</sub> [ s ]	t <sub>2</sub> [ s ]	Δ  [ s ]	Δ  <sub>%</sub> [ % ]
pomiar 1	8,17	8,09	0,08	0,49	15,96	15,89	0,07	0,22
pomiar 2	9,17	9,08	0,09	0,49	16,72	16,65	0,07	0,21
<b>średnia</b>	<b>8,67</b>	<b>8,59</b>	<b>0,09</b>	<b>0,49</b>	<b>16,34</b>	<b>16,27</b>	<b>0,07</b>	<b>0,22</b>

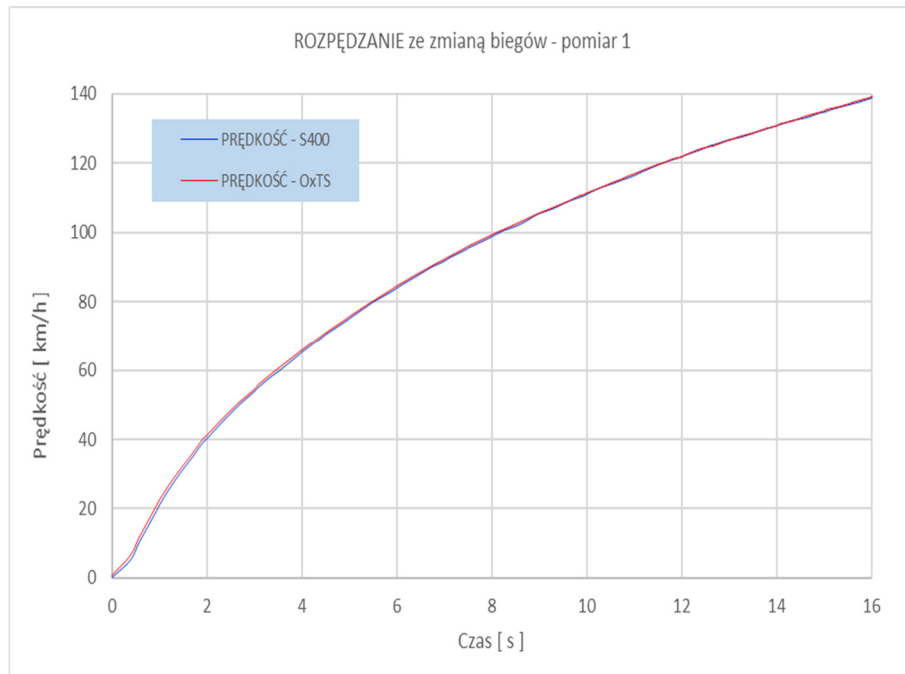
Źródło: Badania własne.

Wykres 8. Wykres pomiarów drogi przebytej przez pojazd, podczas próby rozpędzania - pomiar 1



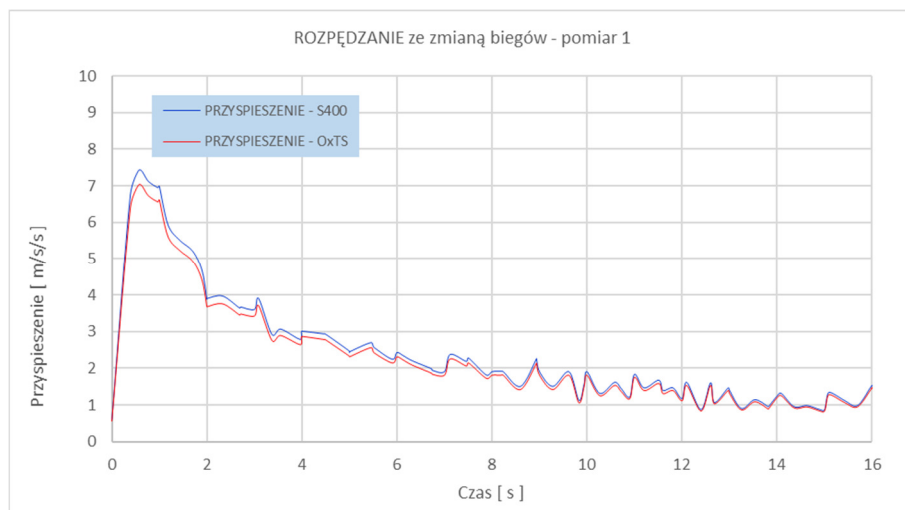
Źródło: Badania własne.

Wykres 9. Wykres pomiarów prędkości pojazdu, podczas próby rozpędzania - pomiar 2



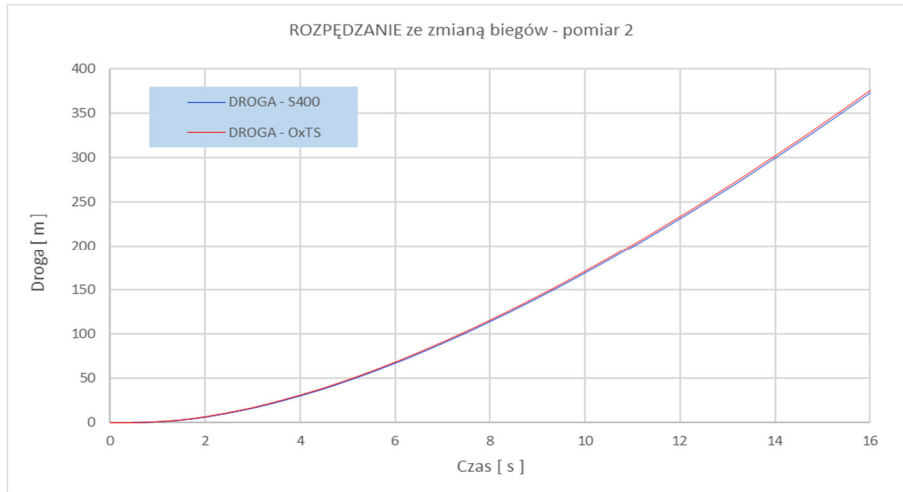
Źródło: Badania własne.

Wykres 1. Wykres pomiarów przyspieszenia pojazdu, podczas próby rozpędzania - pomiar 2



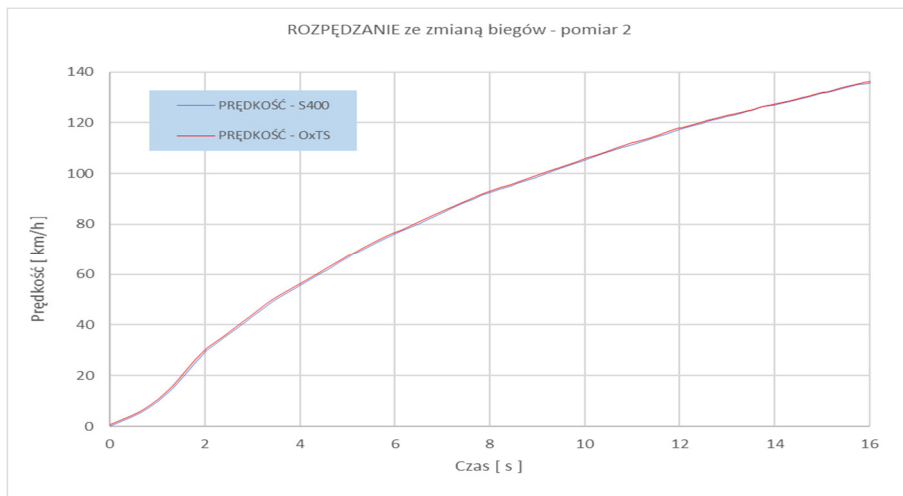
Źródło: Badania własne.

Wykres 11. Wykres pomiarów drogi przebytej przez pojazd, podczas próby rozpędzania - pomiar 2



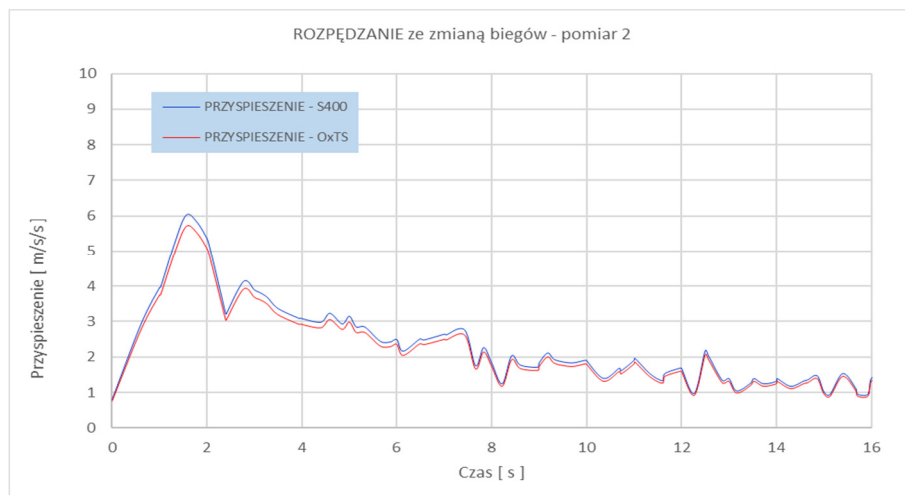
Źródło: Badania własne.

Wykres 13. Wykres pomiarów prędkości pojazdu, podczas próby rozpędzania - pomiar 2



Źródło: Badania własne.

Wykres 13. Wykres pomiarów przyspieszenia pojazdu, podczas próby rozpędzania - pomiar 2



Źródło: Badania własne.

W trakcie pomiarów uzyskano bardzo dobrą korelację wyników pomiędzy urządzeniami. Dotyczy to zarówno analizowanych parametrów (czasów rozpędzania), jak i wartości dyskretnych drogi, prędkości i przyspieszenia, przedstawionych na wykresach.

Maksymalna różnica względna w przypadku czasu rozpędzania 0 do 100 km/h wyniosła 0,49%, natomiast dla czasu rozpędzania 0 do 400 m – 0,22%.

## 6. PODSUMOWANIE

Rozwój nowoczesnego systemu nawigacji satelitarnej, daje możliwość powstania nowego rodzaju przyrządów pomiarowych, pozwala to wyznaczać dynamiczne parametry ruchu pojazdów. Urządzenie daje możliwość autonomicznego pomiaru prędkości jazdy, przyspieszeń, prędkości kątowych itp., bez konieczności skomplikowanego montażu dodatkowych urządzeń pomiarowych, których sygnały muszą być przesyłane do specjalnych przetworników sygnałowych.

Działanie urządzenia, do którego należy omawiana aparatura badawcza GPS GNSS RT2002 V2 oparta jest na systemach nawigacyjnych oraz dwóch konstelacjach satelitów – GPS i system rosyjski GLONASS, co zwiększa ilość odbieranych satelitów, poprawia dokładność i częstość odczytywanych danych. System też może współpracować ze stacją korekcyjną (bazową), która odbiera te same sygnały stacjonarnie i podaje korekty błędów nadawania i odbioru oraz umieszczoną w odległości kilku kilometrów od miejsca pomiaru. Stacja określa odchylenie satelitów, dzięki czemu uzyskujemy precyzję pomiaru  $\pm 2$  cm. Dzięki temu, że urządzenie oparte jest o GPS, przy wyznaczaniu przemieszczeń uwzględnia przyspieszenia liniowe i kątowe, przez co koryguje błędy lub fluktuacje chwilowe

sygnału GPS. Dodatkowo tego typu urządzenia pozwalają na pomiary synchroniczne dla kilku pojazdów w tym samym czasie, na przykład podczas prób zderzeniowych, symulacji kolizji, systemów zapobiegania kolizji.

W przypadku aparatury GPS GNSS RT2002 V2, próbkowanie odbywa się z częstotliwością równą 100 [Hz], która jest wystarczająca w badaniach dynamiki pojazdów. Przeprowadzone badania walidacyjne pokazują, że aparatura badawcza nowego typu umożliwia uzyskanie przebiegów charakterystycznych parametrów ruchu samochodu zgodnych zarówno ilościowo, jak i jakościowo z przebiegami wyznaczonymi za pomocą tradycyjnego toru pomiarowego.

Podstawowym problemem podczas korzystania z czujnika GPS są zakłócenia sygnału satelitarne przez drzewa w okolicy dróg, wiadukty oraz inne obiekty infrastruktury drogowej, natomiast urządzenie wyposażone w czujnik korelacyjny – optyczny Correvit -S400 jest urządzeniem, który jest wrażliwy na stan nawierzchni jezdni, zmienia odczyt, gdy na drodze jest woda lub śnieg oraz gdy nawierzchnia ma zmienną szarość (np. pasy dla pieszych).

Przeprowadzone badania porównawcze urządzenia wyposażonego w czujnik korelacyjny – optyczny Correvit -S400 oraz odbiornika nawigacji satelitarnej GPS GNSS RT2002 V2 (bez stacji referencyjnej) nie wskazuje na istotną różnicę w wynikach przeprowadzonych badań.

## LITERATURA

1. BRZOZOWSKI K., GRABARA A.: Charakterystyka warunków eksploatacji wybranej kategorii pojazdów w ruchu miejskim, pozamiejskim i autostradowym, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, Instytut Naukowo-Wydawniczy "Spatium" Sp. z o.o., Radom 2014.
2. ORZEŁOWSKI S.: Eksperymentalne badania samochodów i ich zespołów, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995.
3. POKORSKI J. (i inni): Badania porównawcze skuteczności hamowania z wykorzystaniem odbiornika nawigacji satelitarnej GPS i czujnika korelacyjnego Correvit-L, Zeszyty naukowe Instytutu pojazdów, 5(2013)96.
4. JONES P. J. (i inni): RT GNSS-aided inertial measurement systems, Oxford Technical Solutions, United Kingdom 2015.
5. AVL KMA Mobile, Product Guide, Austria 2015, 12(2015).
6. Corrsys-Datron, Sensorsysteme GmbH, Wetzlar, nr 05/04.
7. Serwis internetowy:  
<https://www.avl.com/-/avl-kma-mobile> (14.06.2020, g. 15.00).
8. Serwis internetowy: [www.bosmal.com.pl](http://www.bosmal.com.pl) (8.06.2020, g. 19.00).
9. Serwis internetowy: <http://www.oxts.com> (20.06.2020, g. 17.30).

