

# Nowoczesne technologie nawigacji satelitarnej

*Choć dla przeciętnego użytkownika, postęp w technologiach GPS wydaje się niezauważalny, faktem jest, że w sferze tej ostatnio bardzo dużo się dzieje, a sytuacja na orbicie naszej planety znacząco się zmienia. O ile na powierzchni Ziemi obserwujemy jedynie wzrost popularności odbiorników GPS, które integrowane są w coraz bardziej różnorodnych urządzeniach, wiele wskazuje na to, że niebawem sprawność i precyzja pozycjonowania wzrosną, a ponadto chcąc skorzystać z nawigacji, staniemy przed różnego rodzaju wyborami.*

Na wstępie warto zaznaczyć, że stosowanie terminu GPS w odniesieniu do wszelkiego rodzaju nawigacji satelitarnej jest mylące. GPS, a dokładniej GPS Navstar (Global Positioning System – NAVigation Signal Timing And Ranging) to nazwa własna systemu nawigacji opracowanego i nadzorowanego przez Stany Zjednoczone. O ile jeszcze kilka lat temu był to w praktyce jedyny użyteczny system tego typu, w tej chwili sytuacja diametralnie się zmienia. W bardzo zaawansowane stadium rozwoju weszły bowiem dwa konkurencyjne systemy nawigacji satelitarnej: rosyjski GLONASS i chiński Compass. Trwają również prace nad europejskim systemem Galileo, ale ze względu na liczne opóźnienia trudno przewidywać kiedy zacznie on naprawdę funkcjonować. Z powyższych względów, o ile wciąż moduły do nawigacji określa się mianem GPS, to prawidłową nazwą będzie GNSS – Global Navigation Satellite System.

## Zmiany w GPS

System GPS też podlega zmianom i to różnego rodzaju. Jego użyteczność w zastosowaniach cywilnych znacząco wzrosła w 2000 roku, kiedy to ostatecznie zniesiono kod zakłócający (Selective Availability), który ograniczał precyzję pozycjonowania za pomocą zwykłych odbiorników do około 100 m. Kolejne usprawnienia wprowadzane są wraz z zastępowaniem starych satelitów na nowe. Czynność ta jest konieczna, gdyż orbitujące nadajniki mają ograniczony czas życia i muszą być wymieniane.

Wprowadzane zmiany obejmują nowe kody, częstotliwości oraz dostosowanie mocy nadawczej do aktualnych warunków panujących na Ziemi.

Podstawowo, system GPS działa na częstotliwości L1 (1575,42 MHz), na której nadawane są dwa zakodowane sygnały:

C/A (Coarse / Acquisition), który konieczny jest do identyfikacji satelitów oraz zgrubnego oszacowania pozycji i szyfrowany P(Y), który umożliwia precyzyjne wskazanie pozycji, ale jedynie odbiornikom wojskowym dysponującym odpowiednim kluczem deszyfrującym. Ponieważ głównym problemem, który ogranicza precyzję wskazania pozycji jest wpływ jonosfery na przesyłany sygnał, satelity GPS nadają też kod P(Y) na drugiej częstotliwości: L2 (1227,60 MHz), co pozwala odbiornikowi porównać odebrane sygnały i uwzględnić wpływ jonosfery w obliczeniach.

Pomiędzy 2005 a 2009 roku wystrzelono 8 nowych satelitów zaliczanych do bloku IIR-M, które wysyłają nowy kod wojskowy na częstotliwościach L1 i L2. Pozwala on odbiornikom militarnym na pozycjonowanie bez potrzeby korzystania z sygnału C/A potrzebnego dotąd do namierzenia satelitów. Ponadto kod „M” będzie nadawany w przyszłości przez dwie anteny z każdego satelity: jedną obejmującą zasięgiem całą ziemię i jedną kierunkową, obejmującą obszar kilkuset kilometrów. Pozwoli to znacznie zwiększyć moc dostępnego sygnału wojskowego tam, gdzie będzie to potrzebne.

Dla użytkowników cywilnych niemałe zmiany przynosi kolejny blok satelitów: IIF.

Ich wystrzeliwanie rozpoczęło w 2010 roku i oprócz wcześniej wymienionych sygnałów, nadają one również kod L2C na częstotliwości L2. Umożliwi on zwykłym odbiornikom dokonywanie korekcji wpływu jonosfery bez konieczności korzystania z systemów takich jak SBAS. Kod L2C jest nadawany z mocą o 2,3 dB mniejszą niż L1 C/A ale zawiera więcej danych kontrolnych co pozwala polepszyć sprawność korekcji błędów. Ze względu na większą podatność na wpływ jonosfery, korzystanie jedynie z L2C do pozycjonowania spowodowałoby zwiększenie niepewności pomiaru o ok. 65%.

Satelity bloku IIF mają też mieć dodatkowe zastosowanie w zadaniach związanych z ochroną życia. Nadają bowiem dodatkowy sygnał na częstotliwości L5 (1176,45 MHz) z dwukrotnie większą mocą niż L1. Wybrana częstotliwość znajduje się w paśmie, które na całym świecie jest zarezerwowane dla usług radionawigacji aeronautycznej, dzięki czemu jej odbiorniki będą znacznie mniej narażone na zakłócenia.

Kolejne zmiany mają być wprowadzone w 2014 roku wraz z trzecią generacją satelitów. Przede wszystkim, zamiast sygnału L1 C/A będą nadawały nieco zmodyfikowany, ale kompatybilny wstecznie sygnał L1C. Z punktu widzenia użytkownika, różnice sprowadzają się głównie do mocy. Kod L1C i L2C będzie odbierany na poziomie morza z mocą ok -157 dBW. Kod P(Y) na częstotliwościach L1 i L2 z mocą -160 dBW. Kod M będzie docierał z mocą -158 dBW, ale po zastosowaniu anteny kierunkowej na wybranym obszarze będzie odbierany z mocą -138 dBW. Sygnał na częstotliwości L5 będzie odbierany z mocą -154 dBW. Wzrost mocy dla L1 został podyktowany zwiększeniem się poziomu szumu elektromagnetycznego na powierzchni Ziemi.



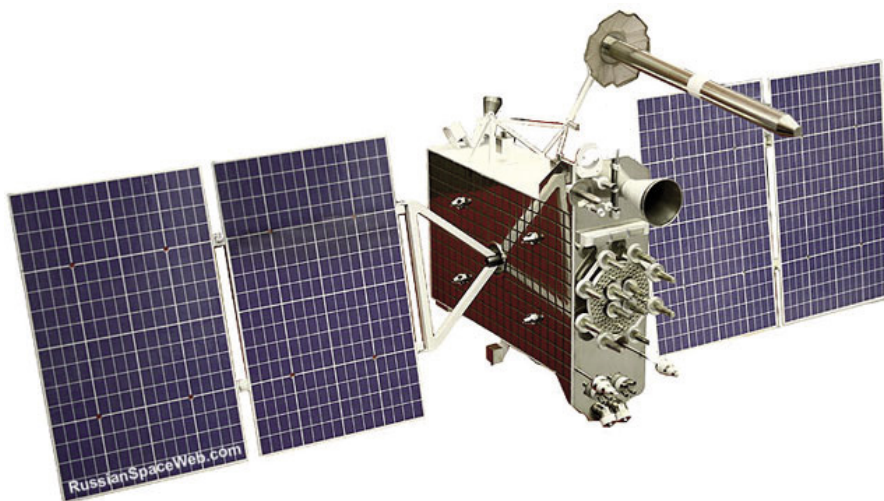
Fotografia 1. Satelita GPS

## GLONASS

Główną konkurencją dla GPS-a jest obecnie rosyjski GLONASS (ГЛОНАСС, Глобальная навигационная спутниковая система; Globalnaja Nawigacionnaja Sputnikowaja Sistiema), który w 2011 roku odzyskał pełną, globalną sprawność dzięki 24 orbitującym sprawnym satelitom. Choć system ten został stworzony z powodów militarnych, począwszy od 2007 roku, satelity GLONASS oferują te same sygnały cywilom co i na potrzeby wojska. Jednakże przewaga GPS-a, polegająca głównie na jego wcześniejszej dostępności i znacznie większej popularyzacji sprawiły, że władze Rosji musiały podjąć dodatkowe działania, wymuszające na producentach sprzętu elektronicznego korzystanie z GLONASS-a. Akcja ta poskutkowała i obecnie coraz więcej nowoczesnych urządzeń elektronicznych wyposażanych jest w odbiorniki GNSS pozwalające na odbiór sygnału GPS i rosyjskiego systemu nawigacji.

Satelity GLONASS orbitują nieco poniżej nadajników GPS. Ich ułożenie sprawia, że pozycjonowanie z ich użyciem jest nieco mniej dokładne niż w przypadku GPS-a, za wyjątkiem obszaru przy kołach podbiegunowych, gdzie system GPS jest zdecydowanie mniej precyzyjny. Podstawowy sygnał GLONASS jest nadawany w paśmie L1, tj. na 15 kanałach w okolicach częstotliwości 1602 MHz. Są one ułożone tak, by nigdy w zasięgu odbiornika nie znajdowały się dwa satelity nadające na tym samym kanale. O ile w paśmie L1 nadawany jest sygnał standardowy (SP), to w paśmie L2 (częstotliwość środkowa równa 1246 MHz) nadawany jest sygnał wysokiej precyzji (HP).

W praktyce sygnał SP pozwala na pozycjonowanie z dokładnością nie lepszą niż 5-10 metrów w poziomie i 15 metrów w pionie. Obliczenia prędkości ograniczone są do dokładności około 10 cm/s, a synchronizacja czasu do 200 ns. Nowsze satelity serii GLONASS-M i trzeciej generacji: GLONASS-K zwiększają te precyzję, ale jak na razie nie ma ich na orbicie wystarczająco wiele. Obecnie w paśmie L2 nadawany jest dodatkowy sygnał SP, co pozwala na redukcję wpływu jonosfery. Dodatkowo satelity GLONASS-K będą emitować sygnał L3 (w okolicach 1207,14 MHz), który będzie odpowiednikiem sygnału na częstotliwości L5 w przypadku GPS. W 2015 roku na orbitę mają zacząć być wprowadzane satelity GLONASS-KM, które zostaną ponadto wyposażone w nadajnik pracujący na paśmie oznaczonym jako L5, w okolicach częstotliwości 1176,45 MHz. Dokładność dorównującą obecnej precyzji systemu GPS, GLONASS powinien osiągnąć w okolicach 2020 roku. Co ciekawe, kolejne modele satelitów wprowadzają pewne zmiany w sposobie modulowania przesyłanego sygnału, których celem jest ułatwienie



Fotografia 2. Satelita GLONASS

w przyszłości tworzenia odbiorników wielosystemowych.

## Galileo

O europejskim systemie Galileo mówiło się od dłuższego czasu, ale dopiero w najbliższych latach należy się spodziewać efektów dotychczasowych prac i faktycznego rozwoju dostępnej funkcjonalności. Na kompletny system ma się składać 30 satelitów (z czego 3 jako zapasowe), ale jak dotąd nad Ziemią krążą jedynie dwa. Kolejne dwa mają zostać wystrzelone 28 września tego roku, co pozwoli już na przeprowadzanie realnych testów skuteczności pozycjonowania. W następnych dwóch latach satelity mają być wprowadzane na orbitę częściej, tak by w 2014 roku znalazło się ich tam 18, co pozwoliłoby na ogłoszenie częściowej operacyjności systemu. Pełna operacyjność ma być osiągnięta w okolicach 2019 roku.

Satelity Galileo orbitują nieco wyżej niż GPS. Początkowo miały nadawać na tej samej częstotliwości co w przypadku GPS, ale aby ułatwić ich łączne użycie oraz by uniezależnić możliwość zakłócenia jednego z nich bez wpływania na pracę drugiego, zmieniono częstotliwość sygnałów Galileo. Dokładność, jaką Galileo ma zapewniać dla wszystkich użytkowników za darmo ma wynosić 1 m w pionie i w poziomie. Dostępny ma też być sygnał szyfrowany, do którego dostęp będzie płatny i który pozwoli na pozycjonowanie z centymetrową dokładnością. Dodatkowo zapewniony będzie sygnał dla nawigacji w celu ochrony życia – przypominający zastosowaniem GPS L5 i GLONASS L3. W sytuacjach ekstremalnych ma być dostępny czwarty sygnał, z którego korzystać mogłyby agencje rządowe.

Zdecydowaną nowością w Galileo jest mechanizm wyszukiwania wezwań pomocy, które miałyby być przekazywane do odpowiednich służb ratunkowych. Co ciekawe, system ten ma umożliwiać przesyłanie komunikatów zwrotnych do odbiornika znaj-

dującego się w zagrożonej sytuacji, w celu poinformowania użytkownika o stanie akcji ratunkowej.

Częstotliwości Galileo noszą miano E2-L1-E1 (1559-1591 MHz), E6 (1260-1300 MHz) i E5a+E5b (1176,45-1207,14 MHz).

Obecnie producenci modułów i chipsetów do nawigacji satelitarnej przygotowują je do pracy z Galileo, ale ze względu na fakt, że nie przeprowadzono jeszcze wielu testów, układy te będą wymagały aktualizacji firmware.

## Compass (Beidou-2)

Czarnym koniem wyścigu w dziedzinie systemów nawigacji satelitarnej wydaje się być chiński Compass. Trudno jednak to dokładnie ocenić, gdyż chiński rząd wybiórczo udziela informacji na temat swojego projektu.

Compass jest rozwinięciem uruchomionego na początku tego wieku lokalnego systemu nawigacji satelitarnej Beidou (inaczej: Wielka Niedźwiedzica). Początkowo Chiny dołączyły się do prac nad Galileo, ale nie były zadowolone z przebiegu prac i wycofały się z niego. Nie ma się co dziwić: porównując tempo w jakim Chiny opracowują swoje projekty z tempem prac nad Galileo, można odnieść wrażenie, że Europejskie rządy niespecjalnie dbają o rozwój GNSS. Od momentu rozpoczęcia projektu Compass w 2007 roku, na orbitach Ziemi znalazło się 13 satelitów tego systemu, z czego najnowsze obejmują swoim zasięgiem już także Europę.

System jest już w pełni sprawny dla odbiorników na terenie Chin. Do końca tego roku pełna sprawność ma dotyczyć też całej Azji południowo-wschodniej, a pełna operacyjność nad całą Ziemią ma zostać osiągnięta do 2020 roku, gdy na orbicie znajdzie się łącznie 35 satelitów tego typu.



Compass oferuje dwa rodzaje usług. Bezpłatną, która umożliwia pozycjonowanie z dokładnością do 10 m (czas z dokładnością do 20 ns, a docelowo 10 ns; prędkość z dokładnością do 0,2 m/s) i dokładniejszą – płatną, wymagającą autoryzacji za pomocą dwustronnej komunikacji. Ponadto Compass ma oferować poprawki różnicowe i umożliwiać przesyłanie krótkich wiadomości tekstowych.

Istnienie Compassa może też zagrozić projektowi Galileo, gdyż częstotliwości na których nadaje chiński system pokrywają się częściowo z częstotliwościami pracy europejskiego GNSS. Dotyczy to szczególnie pasm E1 i E2, na których Galileo ma nadawać sygnał dostępny dla agencji rządowych. Międzynarodowe porozumienia mówią, że prawo do nadawania w danym paśmie ma ten kraj, który pierwszy rozpocznie transmisję i wiele wskazuje na to, że będą to Chiny.

### SBAS

Oprócz podstawowego segmentu kosmicznego, do systemów GNSS należy segment naziemny wraz z uzupełniającym kosmicznym. Większość nowoczesnych modułów obsługuje pozycjonowanie różnicowe, tj. DGPS (Differential GPS) i realizowane z użyciem satelitów (SBAS – Satellite-Based Augmentation System). Pozwala ona na zwiększenie precyzji pozycjonowania, która w przypadku klasycznego GPS-u i pojedynczej częstotliwości transmisji sygnału, ograniczona jest przez wpływ jonosfery. Problem polega na tym, że czas przechodzenia sygnału przez jonosferę różni się w zależności od naturalnych zjawisk w niej zachodzących i trudno go dokładnie określić bez sygnału porównawczego. O ile w przypadku skorzystania z dodatkowych częstotliwości, innych niż L1, wpływ jonosfery da się oszacować porównując czasy docierania sygnału na dwóch nośnych, to w tanich odbiornikach nie jest to możliwe. System SBAS rozwiązuje ten problem przesyłając do odbiorników aktualne informacje na temat jonosfery, co pozwala zwiększyć precyzję pozycjonowania. Co ciekawe, choć system SBAS dotyczy tylko i wyłącznie satelitów systemu GPS, jest obsługiwany przez różne, niezależne organizacje, działające lokalnie. Badają one stan nieba w swoim regionie i nadają informacje na ten temat do utrzymywanych przez siebie satelitów geostacjonarnych. Systemy te to europejski: EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), amerykański: WAAS



(Wide Area Augmentation System), indyjski GAGAN (GPS Aided Geo Augmented Navigation) i japoński MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System). Ponadto, w Japonii tworzą jeszcze jeden, bardzo podobny system: QZSS (Quasi-Zenith Satellite System), którego działanie opiera się o 3 satelity poruszające się względem ziemi, w taki sposób, by zawsze jeden z nich był w zenicie nad Japonią. Co więcej, QZSS to system hybrydowy, ponieważ dostarcza nie tylko sygnału DGPS, ale przesyła też dodatkowy sygnał na tych samych częstotliwościach co satelity GPS. Sam QZSS nie pozwala na wyznaczenie pozycji, ale odbiorniki go obsługujące, a znajdujące się we wschodniej Azji będą traktowały satelity systemu QZSS, jak dodatkowe nadajniki GPS.

Ponadto swoje usługi DGPS oferuje firma OmniSTAR, do której należą satelity geostacjonarne obsługujące 8 regionów świata. Korzystanie z OmniSTAR-a wymaga posiadania odpowiedniego odbiornika oraz opłacenia abonamentu. Zaletą systemu jest możliwość uzyskania bardzo dokładnego pozycjonowania.

### Anteny GPS i złącza

Implementacja obsługi wybranego systemu GNSS w urządzeniu wymaga zastosowania odbiornika lub gotowego modułu. Skorzystanie z tego drugiego rozwiązania jest wygodniejsze i skraca czas prac projektowych. Wybór modułów jest bardzo duży i został w skrócie przedstawiony w Wyborze Konstruktora w niniejszym numerze Elektroniki Praktycznej. Jednak sam moduł to nie wszystko – konieczna jest bowiem jeszcze antena. Część modułów ma co prawda wbudowane anteny, ale nie zawsze możliwe jest takie umieszczenie tego elementu w urządzeniu, by odbiór sygnału nie był utrudniony. Dlatego nierzadko stosuje się anteny zewnętrzne.

Większość modułów GPS ma wbudowany niskoszumowy wzmacniacz, co powala na stosowanie anten pasywnych. Nic nie stoi jednak na przeszkodzie, by instalować anteny aktywne, które wymagają dodatkowego zasilania.

Anteny do nawigacji satelitarnej mają charakterystykę mało kierunkową. Istnieje kilka różnych rodzajów, przystosowanych do konkretnych rodzajów odbiorników. W przypadku małych anten często w praktyce różnią się one od siebie głównie rodzajem zastosowanego złącza. Te natomiast są bardzo różnorodne, choć część z nich wykorzystywana jest tylko w niektórych rodzajach aplikacji. Przykładowo, w motoryzacji często używa się złączy FAKRA i WICLIC. Zastosowanie w „automotive” znajdują też złącza AVIC Pioneer, GT5 Pioneer, HRS Pioneer AVIC oraz SMB-B. To ostatnie dostępne jest też w zbliżonych odmianach: SMB-A, SMB-C i SMB-D. Stosuje się również wkręcane złącza SMA-A, SMA-B i SMA-C. Wielu producentów stosuje złącza MCX-A, MCX-B, MCX-C, MCX-D i ich odpowiedniki w wersji MMCX. Spotkać można też złącza MC-CARD A, MC-CARD B, FME-A, FME-B, BNC-A, BNC-B, N i TNC. Bardzo często wtyczki są pozłacane.

Anteny zewnętrzne nierzadko oferowane są w obudowach z magnetycznymi podstawami, które umożliwiają przyłączenie ich do powierzchni metalowych – np. w samochodzie. Te powszechnie dostępne są przystosowane do pracy w paśmie L1 (GPS). Podłączenie anteny łączącej przewodem do modułu wymaga zazwyczaj instalacji złącza na PCB. Wyprowadzenia RF modułu są



Fotografia 3. Satelita Galileo





Fotografia 4. Anteny GPS

bowiem przystosowane do bezpośredniego przylutowania ich do ścieżek płytki drukowanej. Warto dodać, że wiele modułów zawiera zabezpieczenie przed zwarcieniem na linii anteny.

### Repetery, zestawy ewaluacyjne i aparatura

Oprócz samych modułów, anten i przewodów, poszczególni producenci oferują także dodatkowe narzędzia. Ciekawym przykładem są repetytry GPS, które retransmitują sygnał z satelitów do wnętrza budynku, tam gdzie w normalnej sytuacji sygnał satelitarny by nie sięgał. Pozwala to na korzystanie z systemu nawigacji np. w dużych centrach handlowych, a przykładowym zastosowaniem może być kierowanie klientów do wybranych sklepów.

Oczywiście w ofercie dostawców podzespołów do systemów GNSS znajdują się także narzędzia ułatwiające prototypowanie tworzonej aplikacji. Przykładem są zestawy deweloperskie zawierające moduł GPS, moduł GSM oraz mikrokontroler, dodatkową pamięć, zestaw wejść i wyjść oraz dio-

dy LED i przełączniki. Pozwala to wykonać część oprogramowania obejmującą korzystanie z nawigacji satelitarnej, zanim jeszcze właściwa platforma sprzętowa urządzenia nie zostanie przygotowana.

Do zaawansowanego testowania modułów GNSS posłużyć może natomiast zaawansowana aparatura laboratoryjna. Odpowiednie wielokanałowe generatory sygnałów umożliwiają przeprowadzanie złożonych testów układu nawigacji we w pełni kontrolowanych warunkach. Symulacje definiowane są programowo, tak by odzwierciedlały idealne lub rzeczywiste warunki, z jakimi będzie musiało się zmierzyć gotowe urządzenie. Dostępne opcje, w zależności od producenta, obsługują różne systemy GNSS i m.in. takie scenariusze, jak przejazd z odbiornikiem w gęsto zabudowanym mieście, w którym sygnał satelitarny przysłaniany jest przez drapacze chmur.

### Podsumowanie

Zmiany, jakie obserwujemy na rynku nawigacji satelitarnej na pewno będą miały duże znaczenie dla twórców sprzętu elektro-

nicznego i oprogramowania do niego. O ile jeszcze niedawno na terenie Europy mogliśmy korzystać jedynie z systemu GPS, już teraz uży-



teczny jest także GLONASS, którego obsługa jest implementowana w dużej części nowych urządzeń elektronicznych wyposażonych w mechanizm nawigacji. Tworząc urządzenie, które ma działać w Azji, warto pamiętać o funkcjonującym już na tamtym terenie Compassie, choć jak na razie dostępność odbiorników obsługujących ten system jest bardzo ograniczona. Biorąc jednak pod uwagę przynajmniej kilkuletni czas pracy tworzonego urządzenia, być może opłaca się skorzystać z odbiornika przygotowanego do współdziałania z systemem Galileo.

A jakie znaczenie będą miały te zmiany dla przeciętnych użytkowników? Bardzo duże, gdyż liczba satelitów GNSS na orbicie Ziemi przekroczy 75, co zdecydowanie zwiększy ich „widzialność”. Aby w pełni wykorzystać możliwości płynące z tej sytuacji, konieczne będzie używanie odbiorników obsługujących kilka konstelacji do wyznaczenia pozycji. Pozwoli to nie tylko zwiększyć precyzję jej obliczania, ale przede wszystkim znacząco polepszy dostępność sygnału nawigacyjnego w centrach miast. Obecnie istnieje bowiem wiele miast, które uniemożliwiają poprawne korzystanie z GPS-a, ze względu na zbyt wysokie lub zbyt gęste zabudowania. Obsługa wielu systemów GNSS na raz sprawi, że odbiorniki będą mogły bez problemu wyznaczyć swoją pozycję praktycznie w każdym mieście. A ponadto istnienie kilku niezależnych, podobnych systemów nawigacji może poskutkować konkurencją, która jak wiadomo, zazwyczaj przynosi korzyści dla użytkowników.

**Marcin Karbowniczek, EP**

REKLAMA



**Ładowarka akumulatorów  
ołowiowych 10...200 Ah  
AVT2715**

**www.sklep.avt.pl**

AVT-Korporacja Sp. z o.o., 03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11, tel. 022 257 84 50, e-mail: handlowy@avt.pl