

Techniczno-ekonomiczne uwarunkowania wykonalności Geodezyjnego Systemu (CORS-PL) dla potrzeb krajowej służby geodezyjnej i kartografii

# Wielofunkcyjny lepiej od geodezyjny

Zlecone przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii badania nad techniczno-ekonomicznymi uwarunkowaniami utworzenia Geodezyjnego Systemu Stacji Permanentnych GPS GSSP (CORS-PL) w Polsce były prowadzone w dwóch etapach. W pierwszym – przeprowadzono analizę funkcjonujących, względnie będących w stadium rozwoju, globalnych, regionalnych i wybranych krajowych systemów permanentnych stacji GPS. W drugim – skoncentrowano uwagę na opracowaniu wstępnego projektu GSSP (CORS-PL) oraz na technicznych i ekonomicznych warunkach jego realizacji, eksploatacji i rozwoju (przedstawiamy skrót raportu z tego etapu badań wykonanych przez zespół pod kierunkiem prof. Lubomira W. Barana).

Mimo przekonania o celowości tworzenia w Polsce systemu stacji wielofunkcyjnych, podobnie jak czynią to inne kraje europejskie, w niniejszym opracowaniu, zgodnie z treścią zlecenia Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii, skoncentrowano się przede wszystkim na techniczno-ekonomicznych uwarunkowaniach utworzenia Geodezyjnego Systemu Stacji Permanentnych GPS (GSSP) dla potrzeb krajowej służby geodezyjnej i kartograficznej przy użyciu Internetu i metody *postprocessingu*. Dodatkowo rozważano jednak drugi wariant, zakładający rozszerzenie funkcji stacji referencyjnych o generowanie i emitowanie poprawek DGPS oraz danych niezbędnych do prowadzenia pomiarów techniką RTK. Wprowadzenie tych dodatkowych funkcji będzie miało istotny wpływ na zwiększenie ekonomicznej efektywności systemu. Dotychczasowe doświadczenia wskazują bowiem, że zainteresowaniem znacznego kręgu użytkowników będzie cieszyło się pozycjonowanie z dokładnością od 1 dm do 2-3 m, co zapewnia technika DGPS. Interesujące perspektywy rysują się przed techniką RTK. Wiąza się one z rozwojem cyfrowej telefonii komórkowej w Europie oraz z opracowaną niedawno koncepcją wirtualnej stacji referencyjnej. Nadzwyczaj ważną zaletą tej koncepcji jest możliwość wyeliminowania istotnej niedogodności występującej przy pomiarach RTK, jaką jest konieczność dysponowania gęstą siecią stacji.

### Zagraniczne wzory

Podstawowe dane charakteryzujące analizowane systemy w różnych krajach przedstawia załączona tabela. Ujęto w niej systemy Austrii, Czech, Niemiec, Szwajcarii, Szwecji, Wielkiej Brytanii, Stanów Zjednoczonych i na tym tle ukazano stan aktualny oraz projektowany Geodezyjny System Stacji Permanentnych GPS w Polsce.

Lp.	Kraj Nazwa systemu	Siedziba Centrum
1	<b>Austria</b>	Wiedeń Dwie stacje monitorujące: – Graz-Lustbühel – Vöcklabruck
2	<b>Czechy</b>	Praga
3	<b>Niemcy</b> SAPOS	Frankfurt nad Menem
4	<b>Szwajcaria</b> swipos	Berno; serwer komunikacyjny w Wabern
5	<b>Szwecja</b> SWEPOS	Gävle
6	<b>Wielka Brytania</b> UK COGRs	Southampton
7	<b>USA</b> NGS CORS	Silver Spring
8	<b>Polska</b> (stan obecny)	Brak
9	<b>Polska</b> (projekt) Geodezyjny System Permanentnych stacji GPS (CORS-PL)	Warszawa – Obserwatorium Politechniki Warszawskiej w Józefosławiu. Docelowo także dwa centra stowarzy- szone

Tab. 1. Charakterystyka niektórych wybranych krajowych

# Stacji Permanentnych GPS raficznej

# nego

Z analizy wybranych rozwiązań zagranicznych wynikają następujące wnioski:

1. Są to systemy wielofunkcyjne, świadczące usługi zarówno w trybie *postprocessingu*, jak i w czasie rzeczywistym. Wyjątkami są służby Stanów Zjednoczonych (NGS CORS) i Wielkiej Brytanii (UK COGRs), chociaż i tam rozważa się możliwość uruchomienia DGPS o submetryjnej precyzji.
2. Największą gęstością rozmieszczenia stacji referencyjnych wyróżnia się niemiecki system SAPOS. Jedna stacja aktywna ma tam przypadać na 3000 km<sup>2</sup>, co oznacza, że wzajemna odległość między stacjami wyniesie około 50 km.
3. W tworzenie, a następnie w koordynację krajowych systemów stacji referencyjnych

zaangażowane są centralne władze geodezyjne poszczególnych państw.

## Cele

Opierając się na dokonanej analizie systemów stacji referencyjnych w krajach europejskich i Stanach Zjednoczonych, określono następujące cele utworzenia Geodezyjnego Systemu Stacji Permanentnych GPS (CORS-PL) w Polsce:

- gromadzenie wyników obserwacji GPS w interwałach 30-sekundowych i mniejszych, ich przetwarzanie oraz udostępnianie za pośrednictwem Internetu w uzgodnionym formacie (RINEX) dla potrzeb *postprocessingu*, a także innych danych na nośnikach typu CD-ROM;

Status Systemu	Liczba stacji	Rodzaje usług	Transmisja danych, emisja poprawek	Poziomy dokładności	Koordynator systemu
Stadium rozwoju	12	<ul style="list-style-type: none"> <li>Postprocessing (RINEX)</li> <li>RTK</li> <li>DGPS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Internet</li> <li>Technika DARC (Data Radio Channel)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Premium (ok. 1 cm metodą statyczną oraz RTK w pobliżu stacji referencyjnych)</li> <li>Profi (poniżej 1 m)</li> <li>Standardowy (poniżej 10 m – DGPS oraz DGPS/GLONASS)</li> </ul>	Austriacki Federalny Urząd Metrologii i Miernictwa (BEV)
Stadium rozwoju	1	DGPS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Internet</li> <li>VHF/RDS</li> <li>LF</li> </ul>	~1 m (2D)	Politechnika Praska
Stadium rozwoju	~100; docelowo - 200	<ul style="list-style-type: none"> <li>Postprocessing (RINEX)</li> <li>RTK</li> <li>DGPS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Internet (GHPS)</li> <li>Internet (GPPS)</li> <li>GSM</li> <li>VHF (2m), GSM</li> <li>FM/RDS, LW ALF, VHF (2m)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>GHPS: poniżej 1 cm</li> <li>GPPS: 1 cm (postprocessing)</li> <li>GPPS: 1 cm (czas rzeczywisty)</li> <li>HEPS: 1-5 cm</li> <li>EPS: 1-3 m</li> </ul>	Federalny Urząd Kartografii i Geodezji (BKG) oraz Stowarzyszenie Urzędów Mierniczych 16 landów (AdV)
Stadium rozwoju	10 w 2001 r.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Postprocessing (RINEX)</li> <li>RTK (RTCM 2.2)</li> <li>DGPS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Internet, GSM (GEO, GIS)</li> <li>FM/RDS (Premium, Intermed.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>GEO: 0,01-0,1 m</li> <li>GIS: 0,1-1 m</li> <li>Premium: 1-2 m</li> <li>Intermediate: 2-5 m</li> </ul>	Szwajcarski Federalny Urząd Topograficzny (swisstopo)
System operacyjny	25	<ul style="list-style-type: none"> <li>Postprocessing (RINEX)</li> <li>RTK</li> <li>DGPS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Internet</li> <li>FM/DARC</li> <li>GSM</li> <li>FM/RDS (Serwis Epos)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1-10 cm</li> <li>1 m</li> </ul>	National Land Survey of Sweden
Stadium rozwoju	30	<ul style="list-style-type: none"> <li>Postprocessing (RINEX)</li> <li>DGPS (możliwość uruchomienia)</li> </ul>	Internet	<ul style="list-style-type: none"> <li>1-5 cm</li> <li>0,1- 0,5 m</li> </ul>	Ordnance Survey of Great Britain
Stadium rozwoju	147; docelowo kilkaset dalszych	<ul style="list-style-type: none"> <li>Postprocessing</li> <li>DGPS (możliwość generowania poprawek)</li> </ul>	Internet	<ul style="list-style-type: none"> <li>3-5 cm</li> <li>1-2 cm (docelowo)</li> </ul>	National Geodetic Survey
Brak systemu	10, w tym: 5 IGS/EUREF 3 Trójmiasto 2 DGPS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Postprocessing (potencjalna możliwość)</li> <li>DGPS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Internet</li> <li>VHF</li> <li>UHF</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1-3 cm (w ograniczonym zasięgu)</li> <li>1-3 m</li> </ul>	Brak
Projekt wstępny	60	<p><b>Wariant A</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Postprocessing (RINEX)</li> </ul> <p><b>Wariant B</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Postprocessing (RINEX)</li> <li>RTK</li> <li>DGPS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Internet</li> <li>VHF</li> <li>GSM</li> <li>VHF/DARC</li> <li>UHF</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1-5 cm</li> <li>1-5 cm</li> <li>3-5 cm</li> <li>0,5-3 m</li> </ul>	Główny Urząd Geodezji i Kartografii

systemów stacji permanentnych

- świadczenie usług polegających na odbieraniu za pośrednictwem Internetu danych z obserwacji polowych użytkownika i odsyłaniu tą samą drogą wyznaczonych położenia punktów w wymaganym układzie współrzędnych;

- generowanie i transmisja poprawek DGPS;

- transmisja danych niezbędnych do realizacji pomiarów metodą RTK.

## Struktura

Przystępując do analizy techniczno-ekonomicznych uwarunkowań utworzenia Geodezyjnego Systemu Stacji Permanentnych GPS w Polsce, postanowiono rozważyć dwa rozwiązania:

- **Wariant A** – usługi w trybie *postprocessingu* (na wzór NGS CORS),

- **Wariant B** – usługi w trybie *postprocessingu* i w czasie rzeczywistym (DGPS/RTK). Przyjęto następującą ogólną strukturę systemu, jednakową dla wariantów A i B:

- segment stacji referencyjnych,
- segment użytkowników,
- Centrum Gromadzenia i Przetwarzania Danych,

- Rada Konsultacyjna.

Rozważając lokalizację punktów sieci GSSP, uznano, że w jej skład powinny wejść:

- funkcjonujące permanentne stacje IGS/EUREF: Borowa Góra, Borowiec, Józefosław, Lamkówko, Wrocław;

- zaprojektowane w 1995 roku (patrz: *Ekspertyza dotycząca celowości i zasad tworzenia w Polsce sieci permanentnych stacji GPS*, Warszawa 1995) nowe permanentne stacje EUREF, tj. Dziwnów i Rozewie (istniejące permanentne stacje DGPS) oraz Kraków i Suwałki;

- funkcjonujące permanentne stacje lokalnego systemu aglomeracji trójmiejskiej: Gdańsk, Sopot, Gdynia, utworzone w latach 1998-2000;

- funkcjonujące (okresowo) aktywne stacje lokalne: Olsztyn, Warszawa;

- 46 nowych stacji rozmieszczonych w większych miastach, najczęściej siedzibach byłych województw.

Przyjęto, że odległości między stacjami powinny wynosić 80-100 km (średnio jedna stacja na 5000 km<sup>2</sup>). Projekt rozmieszczenia stacji referencyjnych GSSP (CORS-PL) przedstawiony jest na rysunku powyżej.

## Koordinator i dysponenci

Wzorem funkcjonujących już europejskich systemów stacji aktywnych oraz amerykańskiego NGS CORS, organizatorem i koordynatorem systemu GSSP (CORS-PL) powinien być Główny Urząd Geodezji i Kartografii. Jego rola polegałaby na:



- określaniu standardów sprzętowych i obserwacyjnych;

- zawarciu odpowiednich umów z instytucjami posiadającymi funkcjonujące stacje permanentne, a także finansowym udziale w ich ewentualnym doposażeniu oraz kosztach eksploatacji;

- uruchomieniu własnych stacji;

- archiwizacji danych i udostępnianiu ich użytkownikom w formie bezpośrednich obserwacji GPS lub odpowiednio przetworzonych.

Zgodnie z założeniami projektu dysponentami stacji referencyjnych powinny być ośrodki dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej lub – tam gdzie jest to możliwe – placówki naukowe. W kilku przypadkach (stacje w miejscowościach nadmorskich) dysponentami mogą być pracownice geodezyjne Urzędów Morskich w Gdyni i Szczecinie.

Do zadań dysponentów stacji referencyjnych powinno należeć:

- przygotowanie danych do sporządzenia logu stacji oraz jego systematyczne uaktualnianie,

- bieżący nadzór nad pracą stacji,

- zapewnienie regularnej transmisji wyników obserwacji do Centrum Gromadzenia i Przetwarzania Danych,

- usuwanie wszelkich awarii aparatury i środków łączności.

Kluczową rolę w utworzeniu i funkcjonowaniu GSSP GPS (CORS-PL) będzie odgrywało Centrum Gromadzenia i Przetwarzania Danych. Zgodnie z projektem siedzibą

tego Centrum powinno być Obserwatorium Instytutu Geodezji Wyższej i Astronomii Geodezyjnej Politechniki Warszawskiej w Józefosławiu. Nowy, liczący przeszło 900 m<sup>2</sup> budynek z klimatyzowanymi pomieszczeniami, wyposażony w sieć komputerową z systemem zasilania awaryjnego, nowoczesną centralę telefoniczną z torami cyfrowymi oraz możliwość zbudowania własnej domeny internetowej gwarantuje niezbędne warunki lokalowe i techniczne do prawidłowego funkcjonowania tego bardzo ważnego segmentu GSSP (CORS-PL). Uwzględniając postulat niezawodności pracy systemu, a także przewidując wzrost zakresu świadczonych usług w miarę rozwoju systemu, należy zakładać konieczność utworzenia stowarzyszonych centrów gromadzenia i przetwarzania danych. Ich siedzibami mogłyby być np. Olsztyn i Wrocław.

## Warunki techniczne

**1. Punkt pomiarowy (wariant A i B)** powinien odpowiadać poniższym warunkom:

- trwała stabilizacja eliminująca jego ruchy poziome i pionowe;

- stabilny montaż anteny, sprowadzający do minimum ewentualne krótkookresowe wpływy termiczne;

- stabilne zasilanie i bateria zapewniająca zasilanie awaryjne przez 12 godzin;

- minimalne zakłócenia elektromagnetyczne;

- stosunkowo czysty horyzont, bez żadnych przeszkód terenowych powyżej 10°;

- znak pomiarowy w niewielkiej odległości od anteny;

- odbiornik i węzeł komunikacyjny w pomieszczeniu zapewniającym ochronę przed wpływem czynników atmosferycznych;

- antena w środowisku zapewniającym zminimalizowanie wpływu odbić sygnału (*multipath*).

**2a. Odbiornik (wariant A)** powinien mieć:

- dwie częstotliwości (L1 i L2);

- możliwość śledzenia co najmniej 10 satelitów powyżej 10° nad horyzontem;

- możliwość prowadzenia obserwacji pełnej fazy fali nośnej L2 przy włączonym SA;

- możliwość prowadzenia obserwacji z częstotliwością próbkowania sygnału równą 30 sekund;

- możliwość dostarczania następujących danych: L1 pseudoodległość (kod C/A lub kod P), L1 pełna faza fali nośnej i L2 pełna faza fali nośnej (dodatkowo w wersji preferowanej: L2 pseudoodległość »kod P« oraz L1 i L2 wyniki pomiarów efektu Dopplera).

**2b. Odbiornik (wariant B)** powinien spełniać warunki wariantu A i mieć możliwość równoległej dystrybucji obserwacji w trybie DGPS i RTK. Byłby to odbiornik typu uniwersalnej stacji referencyjnej. Dla potrzeb precyzyjnych pomiarów geodezyjnych powinien mieć możliwość podłączenia zewnętrznego wzorca częstotliwości.

**3. Antena** powinna być co najmniej dwuczęstotliwościowa i posiadać dostępny model centrum fazowego. Pożądana byłaby antena typu *choke ring* z osłoną przeciwnieżną.

**4. Sprzęt komputerowy (wariant A)** powinien ograniczać możliwości lub przynajmniej zminimalizować skutki wystąpienia sytuacji awaryjnych. Zalecane środki osiągnięcia wysokiej niezawodności systemu to:

- stosowanie pamięci masowych zwiększających redundancję przechowywania danych (macierze dyskowe);

- stosowanie komputera buforującego przesyłanie danych do Centrum (PROXY);

- organizacja awaryjnego łącza z CGPD;

- organizacja awaryjnego zasilania stacji referencyjnej (przynajmniej w stopniu umożliwiającym poprawne zamknięcie systemów komputerowych);

- automatyczne tworzenie na komputerach biorących udział w przesyłaniu i przetwarzaniu danych lokalnych archiwów zawierających dane z ostatniego okresu (np. 21 dni);

- utworzenie archiwum w CGPD, w którym wyniki obserwacji będą przechowywane przez dłuższy okres czasu.

**5a. Szybka łączność internetowa (wariant A):**

- stacja musi posiadać łączność internetową w celu cyfrowej transmisji danych ob-

serwacyjnych do Centrum Gromadzenia i Przetwarzania Danych (CGPD). Wskazane jest posiadanie przynajmniej dwóch niezależnych systemów łączności (różni operatory lub różne techniki);

- odpowiedzialność za funkcjonowanie sprzętu telekomunikacyjnego spoczywa na dysponencie stacji.

**5b. Szybka łączność internetowa (wariant B)**

- media udostępniania obserwacji w czasie rzeczywistym (wydzielona linia modemowa telefonii kablowej, komórkowej lub radiomodemowej, RDS, DARC).

**6a. Przesyłanie, gromadzenie i przekazywanie danych (wariant A)**

- zakłada się, że GSSP (CORS-PL) będzie utrzymywał operacyjną aktywność przez 24 godziny na dobę w ciągu całego roku, z wyjątkiem ustalonych przerw, związanych z przeglądem sprzętu;

- stacja referencyjna powinna posiadać oprogramowanie umożliwiające zapis obserwacji w formacie RINEX oraz automatyczne ich przesyłanie do CGPD (mogą to być programy stosowane przez permanentne stacje IGS i EUREF);

- dane pomiarowe powinny być rejestrowane w interwałach 30-sekundowych lub krótszych, np. 5-sekundowych. W tym drugim przypadku, każda stacja wytwarza w ciągu jednej doby około 5 MB danych, w skompresowanej formie;

- obserwacje powinny być transmitowane do CGPD w cyklu dobowym i opcjonalnie – godzinny;

- dane powinny być przechowywane w stacji referencyjnej przez okres 3 tygodni i następnie archiwizowane na nośnikach informacji typu CD-ROM.

**6b. Przesyłanie, gromadzenie i przekazywanie danych (wariant B):**

- dane powinny być rejestrowane w jedno-sekundowym interwale (około 25 MB danych w ciągu doby z jednej stacji);

- dane powinny być przechowywane w stacji referencyjnej przez okres jednego tygodnia.

**7. Dokładność wyznaczenia współrzędnych stacji referencyjnych (wariant A i B):**

- składowe poziome punktów stacji referencyjnych powinny być wyznaczone w układzie EUREF 89 z błędem średnim około 1 cm, a składowa pionowa z błędem średnim około 2 cm;

- dokładność dowiązania centrum fazowego anteny do znaku pomiarowego punktu sieci GSSP nie powinna być gorsza niż 5 mm;

- wszystkie punkty sieci GSSP powinny być dowiązane do niwelacji precyzyjnej I i II klasy.

**8. Wyposażenie dodatkowe** powinno obejmować:

- zewnętrzny wzorzec częstotliwości;
- automatyczną stację meteorologiczną.

## Dokładność

Analizując możliwą do uzyskania dokładność pomiarów GPS oraz wyznaczeń pozycji, oparto się głównie na wynikach badań polskich geodezyjnych ośrodków naukowych. Badania te dotyczyły zarówno pomiarów statycznych, jak i pomiarów wykonywanych w czasie rzeczywistym.

W przypadku pomiarów statycznych (UWM, IGIK) stwierdzono, że dokładność wyznaczenia pozycji zależy nie tylko od długości sesji obserwacyjnej, lecz także od pory doby, w której sesję tę wykonywano. Oznacza to konieczność kontynuacji badań nad doskonaleniem modeli wpływu jonosfery i troposfery na wyniki pomiarów GPS.

Analiza dokładności wyznaczeń pozycji metodą RTK (PW) wykazała, że przy odległości około 20 km między stacją referencyjną i stacją ruchomą dokładność metody RTK jest porównywalna z dokładnością metody statycznej. Błędy średnie składowych wektorów w obu przypadkach są rzędu 1-2 cm. Wzrost odległości między stacją referencyjną a stacją ruchomą powoduje wzrost wartości błędów, jednak jeszcze przy odległości 40 km uzyskiwane wyniki mogą być w pełni przydatne przy realizacji wielu prac geodezyjnych. Błędy średnie składowych poziomych nie przekraczają w tym przypadku 3 cm, a składowej pionowej – 5 cm.

Interesujące badania dokładności metody DGPS przeprowadzono w Instytucie Geodezji i Kartografii w Warszawie. Polegały one na wyznaczeniu za pomocą systemu DGPS NAVI-GSM współrzędnych punktów sieci POLREF, odległych od stacji referencyjnej od 0,2 do 380 km. Okazało się, że w żadnym z 29 rozważanych przypadków bezwzględne wartości różnic współrzędnych nie przekroczyły 1,5 m.

## Potencjalni użytkownicy

Za podstawę do opracowania prognozy zapotrzebowania na dane i usługi świadczone w ramach GSSP (CORS-PL), przy założeniu realizacji wariantu A, przyjęto liczbę uprawnionych geodetów w Polsce. W czerwcu 2000 roku wynosiła ona 16 715 osób, w tym 7599 osób z wykształceniem wyższym oraz 3261 osób przed 40. rokiem życia. Zakładając, że tylko 10% ostatniej z wymienionych grup uprawnionych geodetów będzie zainteresowanych wdrażaniem techniki GPS w swoich przedsiębiorstwach i firmach prywatnych, uzyskuje się liczbę ponad 320 użytkowników GSSP (2% ogółu

uprawnionych geodetów). Wydaje się, że w krótkim okresie czasu po utworzeniu systemu wymienioną liczbę będzie można co najmniej podwoić.

Osobną grupą użytkowników GSSP korzystających z usług w trybie *postprocessingu* będą geodezyjne placówki naukowe i dydaktyczne, a także uczelnie morskie i Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych w Dęblinie, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, resort telekomunikacji.

W przypadku wariantu B (*postprocessing* oraz wyznaczanie pozycji w czasie rzeczywistym) należy oczekiwać znakomitego wzrostu liczby użytkowników, gdyż potencjalne możliwości zastosowań GSSP (CORS-PL) zostaną znacznie rozszerzone. Będzie to niewątpliwie miało wpływ na ekonomiczną stronę funkcjonowania systemu. Oceniając aktualne i przyszłe zapotrzebowanie krajowe na dane i usługi świadczone w ramach GSSP (CORS-PL) należałoby wymienić następujące kierunki zastosowań techniki GPS: **archeologia, budownictwo przemysłowe, eksploatacja dróg, energetyka, fotogrametria** (np. rejestracja współrzędnych środka rzutów kamery w momencie wykonywania zdjęcia, wyznaczanie współrzędnych fotopunktów), **geodezja** (np. wyznaczanie współrzędnych i wektorów z dokładnością centymetrową, praca w czasie rzeczywistym, wytyczanie tras, LIS, GIS, kataster), **geologia, górnictwo, hydrografia, hydrologia, inżynieria ruchu drogowego** (np. automatyczna rejestracja przebiegów, tras, czasów oczekiwania, natychmiastowa lokalizacja miejsc wypadków i utrudnień w ruchu, automatyczne tworzenie „zielonej fali” dla pojazdów uprzywilejowanych, **kartografia** (np. aktualizacja map topograficznych), **kolejnictwo** (np. ewidencja tras, obiektów, automatyczna rejestracja przebiegów, badanie stanu torowiska, dystrybucja dokładnego czasu, śledzenie pozycji pociągów, określanie prędkości, kierowanie pociągami, ostrzeganie o ruchu na skrzyżowaniach torów/droga), **leśnictwo, lotnictwo, melioracja, meteorologia, ochrona mienia, ochrona środowiska, oświetlenie dróg, policja, straż graniczna, radiokomunikacja, ratownictwo** (np. lokalizacja miejsc katastrof, wypadków, poszukiwania, zdalne sterowanie), **rolnictwo** (np. zbieranie informacji o zasobach, sterowanie pracą maszyn rolniczych, zindywidualizowane dawki nawozów, cieczy opryskowych – tzw. rolnictwo precyzyjne), **rurociągi, rybolówstwo, straż pożarna, taksówki, telekomunikacja, transport, zielen miejska i żegluga**.

Jak wykazały doświadczenia uzyskane w czasie tworzenia lokalnego systemu stacji referencyjnych w aglomeracji trójmiejskiej,

największe zainteresowanie wykorzystaniem systemu będą przejawiały tzw. służby zintegrowanego ratownictwa (pogotowie ratunkowe, straż pożarna, policja, pogotowia techniczne) oraz przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej.

## Koszty

Przy szacowaniu kosztów utworzenia projektowanego Geodezyjnego Systemu Stacji Permanentnych GPS (wariant A) uwzględniono następujące koszty cząstkowe: wyposażenie 50 stacji referencyjnych, uzupełnienie wyposażenia stacji DGPS Dziwnów i Rozewie, wyposażenie Centrum Gromadzenia i Przetwarzania Danych, koszty adaptacji pomieszczeń i docelowe roczne koszty osobowe (patrz tabela 2).

Wymienione koszty utworzenia systemu należy traktować jako minimalne. Przy ich szacowaniu nie uwzględniono np. konieczności posiadania w każdej stacji nie jednego, a dwóch odbiorników GPS. Celowość takiego zabezpieczenia stacji potwierdzają siedmioletnie doświadczenia związane z udziałem trzech polskich obserwatoriów w Międzynarodowej Służbie GPS (International GPS Service).

Przyjmując, że wszystkie stacje referencyjne zostaną wyposażone w dwa dwuczęstotliwościowe odbiorniki GPS+GLONASS oraz zakładając poniesienie pełnych rocznych kosztów osobowych w wysokości około **2 000 000 zł**, ogólny koszt GSSP (CORS-PL) wyniosłby ok. **11 600 000 zł**.

Zakładając, że System byłby tworzony w ciągu pięciu lat, w **latach 2001-05**, średnie roczne nakłady (bez uwzględnienia postępującego

go wzrostu kosztów osobowych) wyniosłyby około **2 300 000 zł**.

Roczne etapy realizacji Geodezyjnego Systemu Stacji Permanentnych GPS (CORS-PL) można by scharakteryzować następująco:

### Etap I

- utworzenie Centrum Gromadzenia i Przetwarzania Danych;
- utworzenie czterech nowych stacji EUREF: Dziwnów, Rozewie, Kraków, Suwałki;
- utworzenie sześciu stacji w południowo-zachodniej części kraju;
- rozpoczęcie świadczenia usług w trybie *postprocessingu*, a – w miarę potrzeb lokalnych – także w czasie rzeczywistym (DGPS i RTK).

### Etap II-V

- sukcesywne rozwijanie sieci GSSP (CORS-PL);
- tworzenie lokalnych modeli jonosfery;
- wyznaczanie zawartości pary wodnej w atmosferze.

Roczne nakłady będą sukcesywnie wzrastały od około **1 870 000 zł** w I etapie do **3 330 000 zł** w V etapie.

Przewidywane koszty wyposażenia użytkownika przedstawiono w tabeli 3.

## Za i przeciw

Do czynników sprzyjających rozwojowi Geodezyjnego Systemu Stacji Permanentnych należałoby zaliczyć:

- tworzenie stacji wielofunkcyjnych już w pierwszym etapie realizacji systemu (np. obok *postprocessingu* także DGPS w czasie rzeczywistym);

### Koszt wyposażenia stacji referencyjnej

(bez zewnętrznego wzorca częstotliwości i automatycznej stacji meteorologicznej):

■ odbiornik dwuczęstotliwościowy GPS+GLONASS	80 500 zł
■ lub odbiornik dwuczęstotliwościowy GPS	57 000 zł
■ komputer (monitor oraz modem)	5000 zł
■ zasilanie awaryjne (UPS)	5000 zł
■ system awaryjny	1500 zł
■ adaptacja pomieszczeń, instalacja anteny	10 000 zł
<b>Ogółem (GPS + GLONASS)</b>	<b>99 000 zł</b>
<b>(GPS)</b>	<b>75 500 zł</b>

### Koszty całego systemu:

■ wyposażenie 50 stacji referencyjnych: (GPS+GLONASS)	4 950 000 zł
■ lub (GPS)	3 775 000 zł
■ uzupełniające wyposażenie 2 stacji: (GPS+GLONASS)	161 000 zł
■ lub (GPS)	114 000 zł
■ wyposażenie Centrum Gromadzenia i Przetwarzania Danych	250 000 zł
■ koszty osobowe:	
– 60 etatów w stacjach referencyjnych	1 800 000 zł
– 8 etatów w CGPD	240 000 zł

### Koszty ogółem:

<b>GPS+GLONASS</b>	<b>7 401 000 zł</b>
<b>GPS</b>	<b>6 179 000 zł</b>

(Przy szacowaniu kosztów systemu dysponowano cenami odbiorników GPS z lipca 2000 r. Przyjęto relację: 1 USD = 460 zł)

Tab. 2.

### Koszty wyposażenia użytkownika (w cenach z 2000 roku):

postprocessing dwuczęstotliwościowy GPS+GLONASS	85 500 zł
postprocessing dwuczęstotliwościowy GPS	62 000 zł
RTK (pełna konfiguracja aparatury)	101 000 zł
DGPS (wraz z systemem transmisji i sprzętem komputerowym)	32 000 zł

Tab. 3.

■ właściwą promocję systemu poprzez własną stronę internetową, publikacje na łamach „Przeglądu Geodezyjnego” i GEO-DETY, wprowadzenie problematyki GSSP (CORS-PL) do programów studiów wyższych;

■ spadek cen odbiorników GPS;

■ postęp w modelowaniu jonosfery pozwalający na szersze stosowanie w praktyce jednoczęstotliwościowych odbiorników GPS. Jednym ze źródeł sukcesu systemu będzie obowiązek dowiązywania nowych wyników pomiarów do układu EUREF '89 wprowadzony rozporządzeniem Rady Ministrów z 8 sierpnia 2000 r.

Potencjalne zagrożenia dla Systemu stanowią:

■ nadmierna liczba absolwentów uczelni geodezyjnych, która powoduje dużą konkurencję na rynku pracy i ubożenie przedsiębiorstw, co uniemożliwia im inwestowanie w rozwój technologii;

■ awaryjność łączy internetowych;

■ awaryjność źródeł zasilania odbiornika;

■ rozwój globalnych i regionalnych systemów wyznaczania pozycji (np. EGNOS), co może wpłynąć na zmniejszenie liczby użytkowników korzystających z DGPS, o ile zadowala ich dokładność kilku metrów.

Poważnym zagrożeniem dla Systemu może być losowe lub rozmyślne uszkodzenie centralnego banku danych. Dlatego też należy zalecać stacjom referencyjnym, aby przechowywały wyniki wszystkich swoich obserwacji np. na CD-ROM-ach.

### Przykładowe aplikacje

1. Tworzenie i aktualizacja metodą DGPS średnioskalowych map numerycznych oraz opisowych baz danych w czasie rzeczywistym i w trybie *postprocessingu* dla potrzeb Systemów Informacji Geograficznej (GIS). W przypadku tworzenia mapy bezpośrednio w terenie, stacja ruchoma odbiera drogą radiową poprawki do pseudoodległości (DGPS) w czasie rzeczywistym od stacji referencyjnej (bazowej) w formacie RTCM 104 v. 2.0 (stosowanie radiomodemów dwukanałowych nie jest konieczne, gdyż dane ze stacji bazowej są tylko odbierane). Odbiornik GPS stacji ruchomej oblicza w czasie rzeczywistym swoją pozycję z uwzględnieniem danych ze stacji bazowej. Pozycja stacji ruchomej jest przesyłana do komputera polowego, gdzie następuje połączenie tych

danych z systemem mapy numerycznej (Arc/Info, MicroStation i inne). Aplikacje software'owe dla potrzeb GIS pozwalają nie tylko na tworzenie i aktualizację map numerycznych w lokalnych układach współrzędnych bezpośrednio w terenie, lecz również na budowanie opisowych baz danych, co umożliwia m.in. opracowanie mapy w trybie *postprocessingu* po powrocie z terenu. W tym przypadku użytkownik powinien mieć dostęp do Internetu w celu odebrania danych ze stacji referencyjnej, niezbędnych do wykonania obliczeń bądź też przesłania własnych danych do Centrum Gromadzenia i Przetwarzania Danych i zlecenia ich dalszego opracowania. Praca w trybie *postprocessingu* nie wymaga zakupu radiomodemów. Tworzenie i aktualizacja map numerycznych odbywać się może poza zasięgiem radiowym stacji referencyjnej.

W zależności od rodzaju posiadanego odbiornika na stacji ruchomej, przy tworzeniu i aktualizacji map średnioskalowych dla potrzeb GIS można wykorzystywać tylko pomiary kodowe lub kodowo-fazowe (C/A, L1), a więc wykonywać pomiary przy użyciu najtańszych odbiorników satelitarnych. W takiej konfiguracji możliwe jest wyznaczanie pozycji stacji ruchomych DGPS z dokładnością 1-10 metrów.

2. Tworzenie i aktualizacja wielkoskalowych map numerycznych metodą RTK w czasie rzeczywistym i w trybie *postprocessingu* dla potrzeb Systemów Informacji o Terenie (LIS).

Tworzenie i aktualizacja map wielkoskalowych (skala 1:5000 lub większe) dla potrzeb LIS przy wykorzystaniu pomiarów kodowo-fazowych w czasie rzeczywistym (metoda RTK) wymaga, aby stacja bazowa oraz stacja ruchoma posiadały możliwość pomiaru kodu C/A oraz kodów precyzyjnych P1, P2, a także wykonania pomiarów fazowych na dwóch częstotliwościach L1, L2.

Przy takiej konfiguracji sprzętowej osiągnięta dokładność wyznaczania pozycji stacji ruchomych w czasie rzeczywistym jest centymetrowa (zależy ona od liczby dostępnych satelitów oraz odległości stacji ruchomej i bazowej). Metoda ta może być szczególnie przydatna do pozyskiwania danych terenowych podczas inwentaryzacji urządzeń naziemnych i podziemnych dla celów tworzenia katastru tych urządzeń. Metoda satelitarna, w połączeniu z total station, może do-

skonale wspomagać określanie współrzędnych szczegółów terenowych dla potrzeb katastru gruntów i budynków.

3. Tyczenie w czasie rzeczywistym punktów o znanych współrzędnych; wspomaganie precyzyjnego sterowania maszynami i robotami w otwartym terenie.

Metoda RTK pozwala w czasie bliskim do rzeczywistego wykonywać precyzyjne pozycjonowanie punktów z dokładnością pojedynczych centymetrów. Umożliwia też odzwierciedlanie trasy na podstawie znanych współrzędnych punktów jej załamania. Zakres zastosowań geodezyjnych może obejmować zarówno geodezyjne prace realizacyjne na otwartym terenie (tyczenia tras, prace budowlane i ziemne, budowa autostrad), jak i odszukiwanie punktów o znanych współrzędnych.

Metoda RTK może znaleźć szerokie zastosowanie w precyzyjnym sterowaniu maszynami budowlanymi, pojazdami i automatami (robotami). Maszyna w każdej sekundzie otrzymuje z odbiornika satelitarnego precyzyjną informację o swoim położeniu, prędkości i kierunku ruchu, dzięki czemu może poruszać się po ściśle zaplanowanej przestrzennej trajektorii.

### Perspektywy

Rozwój Geodezyjnego Systemu Stacji Permanentnych GPS (CORS-PL) będzie niewątpliwie związany z doskonaleniem istniejących globalnych systemów pozycyjnych, tj. GPS (dodatkowa częstotliwość) i GLONASS (satelity nowej generacji, pełna konstelacja), a także z tworzeniem nowych (EGNOS, Galileo). Wpłynie to na zwiększenie liczby użytkowników korzystających z usług GSSP (CORS-PL) zarówno w trybie *postprocessingu*, jak i w czasie rzeczywistym. Jeśli chodzi o wewnętrzną strukturę GSSP (CORS-PL), to jej rozwój będzie przebiegał w następujących kierunkach:

■ utworzenie stowarzyszonych centrów gromadzenia i przetwarzania danych;

■ tworzenie lokalnych sieci stacji referencyjnych (aglomeracje miejskie, okręgi przemysłowe).

Należy oczekiwać, że w związku z opracowaniem koncepcji tzw. wirtualnych stacji referencyjnych (*Virtual Reference Stations*) nastąpi wzrost zapotrzebowania na usługi w zakresie RTK.

Skrót redakcji na podstawie raportu z II etapu realizacji badań. Skład zespołu opracowującego raport: prof. Lubomir W. Baran (kierownik), prof. Stanisław Oszczak, prof. Jerzy B. Rogowski, prof. Janusz Śledziński, dr Jan Kryński, dr Jan K. Latka, dr Mieczysław Bakula, dr Lech Kujawa, Janusz Bogusz, Wiesław Kurka, Paweł Wielgosz, Andrzej Rogowski, Lech Siwkowski.