

Zdzisław Kopacz¹⁾, Cezary Specht²⁾

POLSKI SYSTEM DGPS — KONCEPCJA: 1994

POLISH DGPS SYSTEM — CONCEPT: 1994

STRESZCZENIE W artykule zaprezentowano prace wstępne zmierzające do uruchomienia na polskim wybrzeżu krajowej sieci DGPS. Omówiono proces przygotowania koncepcji stworzenia tego systemu (zrealizowanej w Instytucie Nawigacji i Hydrografii Morskiej AMW) wraz z przeprowadzonymi analizami. Przedstawiono również wybrane badania innych ośrodków na tym etapie prac. Artykuł jest drugim z planowanej serii publikacji związanych z wdrożeniem w Polsce systemu DGPS — jako głównego elementu osłony radionawigacyjnej polskich obszarów morskich.

Słowa kluczowe:

osłona radionawigacyjna akwenów morskich RP, polski system DGPS, nawigacja, koncepcja.

ABSTRACT This article presents initial efforts aimed at establishing the national DGPS network on the Polish coast. It discusses the process of working out a concept for developing such a system (realized at the Institute of Navigation and Marine Hydrography, Gdynia Naval Academy) together with the analyses done. It also presents some selected investigations carried out by other centers at this stage of work. It is the second article in the series of planned publications relating to the implementation of the DGPS system in Poland — seen as the main element of the radio-navigational shield of the Polish maritime areas.

Keywords:

radio-navigational shield of the Polish maritime areas, Polish DGPS system, navigation, concept.

DOI: 10.5604/0860889X.1133259

¹⁾ Akademia Marynarki Wojennej, Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego, 81-103 Gdynia, ul. J. Śmidowicza 69; e-mail: z.kopacz@amw.gdynia.pl

²⁾ Akademia Morska w Gdyni, Wydział Nawigacyjny, 81-225 Gdynia, ul. Morska 81-87, e-mail: c.specht@geodezja.pl

KONCEPCJA POLSKIEGO SYSTEMU DGPS

Perspektywa wyłączenia łańcuchów bałtyckich hiperbolicznego systemu Decca do 2000 roku oraz rezygnacja z systemu radiolatarń morskich zakresu częstotliwości LF/MF wykorzystywanych dla celów pozycyjnych wymagało na początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku podjęcia działań zmierzających do zapewnienia osłony radionawigacyjnej akwenów morskich RP. Między innymi z tego powodu inicjatywę uruchomienia systemu DGPS ze stacjami referencyjnymi pracującymi w paśmie częstotliwości 283,5–315 KHz należy uznać za niezmiernie trafną i realizowaną z odpowiednim wyprzedzeniem. Uruchamiany na polskim wybrzeżu system miał zabezpieczyć:

- nawigację w rejonach ścieśnionych;
- nawigację na podejściach do portów;
- wspomaganie pozycjonowania jednostek w ramach VTS;
- zastosowanie w wybranych fazach rybołówstwa (połowy włokiem dennym, za pomocą koszy, żaków itp.);
- wspomaganie wykonywania prac hydrograficznych;
- eksploatację złóż podwodnych, pozycjonowanie pław oraz zastosowań w ramach ECDIS.

Za wyborem radiolatarń dla transmisji poprawek różnicowych DGPS przemawiały:

- możliwość wykorzystania przyziemnej fali radiowej;
- możliwość dodatkowych zastosowań radiolatarń (np. nawigacja lądowa);
- pokrycie przez radiolaternie większości wód przybrzeżnych świata.

THE CONCEPT OF THE POLISH DGPS

The prospects of switching off the Baltic chains of the Decca hyperbolic system, by the year 2000 and resignation from the system of marine radio beacons working at LF/MF, used for fixing positions required at the beginning of the 1990s and taking appropriate actions to provide for radio-navigational protection of the Polish marine areas. For this reason, among others, it must be stated that the initiative to set up the DGPS system composed of reference stations, working at the frequency range 283.5–315 kHz was justified and executed early enough. The system that was being set up on the Polish coast was expected to support:

- navigation in congested waters;
- navigation in approaches to ports;
- fixing positions of ships within VTS;
- its use at some stages of fishing (employing bottom trawling, fishing baskets, fishing traps, etc.);
- hydrographic works;
- exploitation of undersea deposits, positioning buoys and actions within ECDIS.

The factors in favor of choosing radio beacons for transmitting DGPS differential corrections were as follows:

- possibility to use radio ground waves;
- possibility to use radio beacons in additional modes (e.g. land navigation);
- coverage of most coastal waters in the world by radio beacons.

Z punktu widzenia formalnego koncepcję budowy w Polsce morskiego systemu DGPS oparto na trzech zasadniczych dokumentach, stanowiących ekspertyzy [9, 14] oraz wstępnej koncepcji technicznej [16]: ELSE Technical & Research Service C.O., LTD., *Koncepcja lokalizacji radiolatarń morskich na polskim wybrzeżu*, Gdańsk 1994; Hallmann U., Łysejko A., *A proposed DGPS Marine Radiobeacon System for the Republic of Poland*, November, 1994; Kopacz Z., Dziewicki M., Fic Z., Specht C., *Kryteria wyboru stacji referencyjnych DGPS dla wybrzeża polskiego*, Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni, Gdynia 1994.

W lutym 1994 roku z inicjatywy Biura Hydrograficznego RP powstała *Koncepcja lokalizacji radiolatarń morskich na polskim wybrzeżu* dotycząca przede wszystkim modernizacji polskiego systemu radiolatarń morskich, w której przedstawiono również pięć wariantów rozmieszczenia stacji referencyjnych DGPS na polskim wybrzeżu. Zrealizowała je firma ELSE Technical & Research Service C.O., LTD. z Gdańska [9]. Możliwe lokalizacje stacji referencyjnych dla polskiego wybrzeża ustalano w oparciu o teoretyczne modelowanie zasięgów stacji z wykorzystaniem metody Szulejki-Van der Pola, przy założeniu stałej przewodności i przenikalności elektrycznej podłoża. Przedstawione wyliczenia nie uwzględniały zmian środowiska propagacji (woda/ląd), nie przeprowadzono też analiz dotyczących wpływu zakłóceń atmosferycznych na emisję G1D (różnicową GPS) na częstotliwościach około 300 kHz stanowiących główną przyczynę zakłóceń.

Formally the concept of building maritime DGPS in Poland was based on three main documents, which were expert opinions [9, 14] and the initial technical concept [16]: ELSE Technical & Research Service C.O., LTD., *The Concept of Localization of Radio Beacons on the Polish Coast*, Gdańsk 1994 [available in the Polish]; Hallmann U., Łysejko A., *A proposed DGPS Marine Radiobeacon System for the Republic of Poland*, November, 1994; Kopacz Z., Dziewicki M., Fic Z., Specht C., *Criteria for Selecting Referential Stations DGPS for the Polish Coast* [available in the Polish], Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni, Gdynia 1994.

In February 1994, on the initiative of the Polish Hydrographic Bureau, the Concept of Locating Radio Beacons on the Polish Coast was worked out. It was focused, first of all, on the modernization of the Polish system of radio beacons and also contained five variants of placing the referential stations DGPS on the Polish coast. They were realized by the firm ELSE Technical & Research Service Co., LTD. from Gdańsk [9]. Possible locations for the reference stations on the Polish coast were based on theoretical modeling of station ranges using the Szulejkin-Van der Pol method, assuming constant conductivity and permittivity of the base. The calculations presented did not take into account the change in propagation environment (water, land). Neither were any analyses carried out concerning the impact of atmospheric interference on the emission of G1D (differential GPS) at frequencies of approximately 300 kHz, which is the main cause of interference.

Pierwszą publikacją dotyczącą propozycji uruchomienia na akwenach morskich RP systemu DGPS, która ukazała się w polskim piśmiennictwie naukowym, było opracowanie ówczesnego dyrektora Biura Hydrograficznego RP i przedstawiciela firmy Magnavox [14] *A Proposed DGPS Marine Radiobeacon System for the Republic of Poland*, wydane w listopadzie 1994 roku. W artykule przedstawiono konkretną konfigurację sprzętu firmy Magnavox dla polskiego wybrzeża. Poza stacjami referencyjnymi koncepcja zawierała stacje monitorujące (*Integrity Monitoring Station*) oraz stację kontrolną zlokalizowaną w Biurze Hydrograficznym RP.

Równolegle BHRP zleciło Akademii Marynarki Wojennej naukową ekspertyzę obejmującą założenia dla realizacji tego projektu. Pracę pod tytułem *Kryteria wyboru stacji referencyjnych DGPS dla wybrzeża polskiego* zrealizowano w Instytucie Nawigacji i Hydrografii Morskiej AMW w Gdyni na podstawie zlecenia Biura Hydrograficznego RP nr BHRP-1058/94 z 19.10.1994 r. oraz umowy nr 56/B/94 z 24.10.1994 r. Zakres tematyczny pracy został określony w harmonogramie będącym załącznikiem do umowy. Głównymi zagadnieniami były:

- optymalizacja wyboru lokalizacji stacji DGPS na polskim wybrzeżu w aspekcie osłony tras żeglugowych na obszarach RP;
- określenie kryteriów porównawczych dla wyboru dostawców urządzeń (stacji) DGPS;
- określenie harmonogramu i warunków czasowego uruchamiania stacji DGPS w okresie prób.

The first publication relating to the proposal of setting up the DGPS system in the Polish maritime areas which appeared in Polish scientific literature was *A Proposed DGPS Marine Radio beacon System for the Republic of Poland* written by the then director of the Polish Navy Hydrographic Bureau and a representative of the firm Magnavox [14] and published in November, 1994. The article presented a specific configuration of the equipment made by Magnavox suitable for the Polish coast. Apart from the reference stations, the concept included Integrity Monitoring Stations and a control station located at the Polish Navy Hydrography Bureau.

At the same time PNHB ordered a scientific expert opinion by the Polish Naval Academy which included the assumptions for this Project. The project code-named *Criteria for Selecting Referential DGPS Stations for the Polish Coast* was carried out at the Institute of Marine Navigation and Hydrographics, PNA, Gdynia following the order no. BHRP-1058/94, as of 19 October, 1994 placed by the Polish Navy Hydrography Bureau and the contract no. 56/B/94 as of 24 October, 1994. The scope of work was stated in the schedule which was an annex to the contract. The main issues were:

- optimization of selecting locations for DGPS stations on the Polish coast in relation to protection of the shipping lanes in the Polish maritime areas;
- determining comparative criteria for selecting suppliers of DGPS component parts (stations);
- creating a schedule and conditions for periodical starting up of the stations during trials.

Ekspertyza miała wyłącznie charakter teoretyczny. Zasadniczym problemem, z którym musieli się uporać wykonawcy, był czas. Realizacja zleconej pracy trwała tylko dwa miesiące. Prowadzone analizy optymalizacyjne realizowano w zakresie przestrzeni kryterialnej obejmującej: strefę działania, dostępność oraz dokładność systemu, celem ustalenia optymalnej lokalizacji stacji referencyjnych.

USTALENIE LOKALIZACJI STACJI REFERENCYJNYCH SYSTEMU DGPS POLSKIEGO WYBRZEŻA

Zasadniczym celem projektu było zaplanowanie lokalizacji stacji referencyjnych DGPS dla polskiego wybrzeża poprzez określenie stref działania, które pokryłyby akweny morskie RP, w tym podejścia do głównych portów wybrzeża. Strefa działania stacji odniesienia DGPS jest to przestrzeń odniesiona do współrzędnych geograficznych (φ, λ, h) i stacji odniesienia DGPS, w której istnieje możliwość odbioru transmisji telemetrycznej z wymaganą wiarygodnością. Wymagania dla transmisji zostały określone między innymi w [4]. Strefa działania systemu DGPS jest funkcją [15]:

- poziomu zakłóceń atmosferycznych;
- natężenia fali radiowej;
- wymaganego stosunku sygnału do zakłóceń (S/Z) .

Lokalizacja stacji powinna zapewniać uzyskiwanie przez system wymaganych przepisami międzynarodowymi dokładności, dostępności i niezawodności, zgodnych z wymaganiami międzynarodowymi dla żeglugi oraz innych form działalności ludzkiej na morzu.

The expert opinion was only of theoretical nature. The main problem the makers had to face was time. It took only two months to realize the project. The optimization analyses were carried out in relation to the criteria-related space including: zone of action, availability, and accuracy of the system necessary in order to fix the optimum position for the reference stations.

DETERMINING LOCATIONS FOR THE DGPS STATIONS ON THE POLISH COAST

The main objective of the project was to determine locations for the DGPS reference stations on the Polish coast by determining zones of activity which would cover the Polish maritime areas, including the approaches to the main ports on the coast. The operational zone of a DGPS reference station, is the area referred to by the geographical coordinates (φ, λ, h) and to a DGPS reference station which is capable of receiving telemetric transmission with the required accuracy. The requirements for transmission are specified, among others, in [4]. The operating zone of a DGPS system is the function [15] of:

- the level of atmospheric interference;
- radio wave power;
- the required signal ratio to interference (S/I) ratio.

The location of a station should ensure that the system provides the accuracy, availability and reliability required by international regulations relating to shipping and other forms of human activity at sea. The first stage was to establish requirements for all types of

Pierwszym etapem było ustalenie wymagań dla wszystkich rodzajów nawigacji morskiej. Stację referencyjną należało tak zlokalizować, aby w zależności od realizowanej działalności ludzkiej w polskiej strefie ekonomicznej sygnały DGPS zapewniały możliwości jej zabezpieczenia. Dla tego celu wykorzystano wieloletni dorobek INiHM wynikający z analiz teoretycznych oraz pomiarów terenowych. Wspomniane wymagania przedstawiono w tabelach 1. i 2.

Biorąc pod uwagę dane zaprezentowane w tabelach 1. i 2., należało tak zlokalizować stacje, aby każdy z istotnych portów polskiego wybrzeża znalazł się w strefie działania stacji, która na jego podejściu zapewni wyspecyfikowany poziom dokładności, dostępności, niezawodności itp.

Wydaje się, że ustalenie lokalizacji stacji referencyjnych polskiego wybrzeża należałoby rozpocząć od energetycznych analiz wysyłanych przez nie sygnałów w kontekście pełnego pokrycia polskiej strefy ekonomicznej. W dalszej kolejności należałoby rozważać możliwości zapewnienia wysokiej dokładności określenia pozycji. Wersja różnicowa GPS to jednak specyficzne rozwiązanie, bowiem od uzyskiwania poprawek pseudoodległościowych drogą radiową przez odbiornik GPS zależy dokładność wyznaczeń. Z tego względu znaczenia nabiera możliwość zapewnienia po stronie odbiornika wysokiej wartości stosunku sygnał/zakłócenie w strefie działania systemu, pokrywającej polską wyłączną strefę ekonomiczną.

marine navigation. A reference station had to be placed in such a location that, depending on the type of human activity in the Polish economic zone, DGPS signals could provide support for it. To this end the expertise of the IMNH, built over many years through theoretical analyses and on site measurements was used. The requirements mentioned are presented in tables 1 and 2.

Taking into account the data presented in tables 1 and 2, the stations had to be relocated in such a way that important ports on the Polish coast were within the operating zone of a station which could provide the specified level of accuracy, availability, and reliability, etc., on the approach to the port.

It seems that ascribing locations to the reference stations on the Polish coast should begin with energy-relating analyses of signals transmitted by them in the context of full coverage of the Polish economic zone. Then it would be necessary to consider the possibility of ensuring high accuracy in fixing a position. The differential version of GPS is a special kind of solution as the accuracy of fixings depends on obtaining pseudo-range corrections by a GPS receiver. Therefore the possibility of ensuring a high signal to interference ratio in the receiver in the operation zone of the system, covering the Polish exclusive economic zone, becomes important.

Tabela 1. Synteza wymagań nawigacyjnych w żegludze przybrzeżnej na akwenach morskich [16]
 Table 1. Synthesis of navigational requirements in coastal trade and maritime shipping [16]

Rodzaj działalności Type of activity		Minimalne wartości kryteriów nawigacyjnych Minimum criteria for navigational magnitudes									
		Dokładność / Accuracy (P = 95%)			Strefa działania Zone of operation	Dostępność Availability [%]	Niezawodność Reliability	Częstość określania pozycji Frequency of fixing position	Liczba współrzędnych Number of coordinates	Liczba użytkowników Number of users	Identyfikacja Identification [%]
		Absolutna Absolute	Odtwórcza Retraceable	Względna Relative							
wszystkie jednostki all vessels	BN / SF	0.25 Mm	-	-	99.7		2 min	2		99.9	
		0.25–2.0 Mm	-	-							99.0
rybołówstwo fishery		0.25 Mm	15–200 m	-	99.0	w zależności od wykonywanych zadań depending on the tasks carried out	1 min	2	nieograniczona unlimited	99.9	
		1–100 Mm	1–100 m	-							99.0
badanie bogactw naturalnych exploration natural resources		0.25 Mm	90–200 m	100 m	99.7		1 min	2		99.0	
		0.25 Mm	100–600 m	-							99.0

BN / SF — bezpieczeństwo nawigacyjne/safety of navigation

Tabela 2. Synteza wymagań nawigacyjnych na podejściach do portów i w portach oraz na wodach wewnętrznych [16]
 Table 2. The synthesis of navigational requirements in approaches to ports and in ports, and in internal waters [16]

Rodzaj działalności Type of activity	Minimalne wartości kryteriów nawigacyjnych Minimum criteria for navigational magnitudes									
	Dokładność / Accuracy (P = 95%)			Strefa działania Zone of operation	Dostępność Availability [%]	Niezawodność Reliability	Częstość określenia pozycji Frequency of fixing position	Liczba współrzędnych Number of coordinates	Liczba użytkowników Number of users	Identyfikacja Identification [%]
	Absolutna Absolute	Odtwórcza Retraceable	Względna Relative							
BN / SF wszystkie jednostki all vessels	10-20 m		-	Bałtyk Baltic	99,7	w zależności od wykonywanych zadań depending on the tasks carried out	6-10 s	2	nieograniczona unlimited	99,9
	50 m		-		99,7		10 s	2		99,9
badanie bogactw naturalnych exploration of natural resources	1-10 m	1-10 m	-	Bałtyk Baltic	99,0	w zależności od wykonywanych zadań depending on the tasks carried out	1s	2	nieograniczona unlimited	99,9
	50 m		-		99,7		10 s	2		99,9

BN / SF — bezpieczeństwo nawigacyjne/safety of navigation

Z badań przeprowadzonych przez ICAO (*International Civil Aviation Organisation*) dostępność segmentu kosmicznego GPS wynosi 99,9998%, dlatego w dalszych rozważaniach uwagę skupiono na analizach dostępności użytkownika do odbierania poprawek różnicowych. Przez pojęcie dostępności należy rozumieć prawdopodobieństwo znajdowania się systemu w stanie zdolności w dowolnym momencie. Kompleksową dyskusję terminologiczną oraz metodykę szacowania tego istotnego kryterium porównawczego systemów radionawigacyjnych czytelnik znajdzie w [24, 25].

Dostępność systemu DGPS jest powiązana z wartością współczynnika sygnał/szum po stronie odbiornika, a ów współczynnik wiąże się z poziomem szumów atmosferycznych występujących w rozważanym zakresie częstotliwości radiowych. W przypadku pracy systemu w opcji kodowanej (rozwiązanie praktycznie niestosowane) wymagany stosunek sygnał/szum wynosi 5 dB, natomiast praca w opcji niekodowanej 10 dB. Jak pokazuje tabela 3, dokładności od pięciu do siedmiu metrów w przypadku kodowania będą osiągalne przez 99,9% w obszarze stu kilometrów od stacji. Dostępność systemu spada do 99,7%, 99,0% i 97,0% na zasięgach odpowiednio 175, 250 i 400 km. Jeśli praca stacji referencyjnej systemu DGPS nie jest kodowana, dostępność z dokładnością 5–7 m wynosi 99,9%, 99,7%, 99,0%, 97,0% odpowiednio dla zasięgów 75, 100, 175, 275 kilometrów.

It follows from the studies carried out by ICAO (*International Civil Aviation Organization*) that the availability of the space segment of GPS is 99.9998%. Hence in further considerations attention was focused on analyses relating to the availability to receive differential corrections by a user. The notion of availability is understood to be the probability for the system to be used at a given moment. A complex discussion on the terminology and the methodology used to estimate this important comparative criterion in radionavigational systems can be found in [24, 25].

The DGPS system availability is connected with the magnitude of the signal/noise ratio in a receiver, and this ratio is associated with the level of the atmospheric noises occurring in the radio frequency range under consideration. When the system operates in the coded mode (in practice never used) the required signal/noise ratio is 5 dB, whereas in the non-coded mode it is 10 dB. As table 3 shows the accuracy to be from five to seven meters when the signal is coded, it will be 99.9% within a range of 100 km from the station. The availability drops to 99.7%, 99.0% and 97% for the ranges 175, 250 and 400 km respectively. If the operation of a reference station is not coded, the availability with accuracy 5–7 m is 99.9%, 99.7%, 99.0%, 97.0% for the ranges 75, 100, 175, 275 km respectively.

Tabela 3. Związek dostępności systemu DGPS ze sposobem emisji i wartością stosunku sygnał/zakłócenie [1]

Table 3. The relation between DGPS system availability and the mode of emission and the magnitude of the signal/interference ratio [1]

Dostępność Availability	Poziom szumów Level of noise [dB]	Bez kodowania dla Without coding for SNR > 5 dB		Z kodowaniem dla With coding for SNR > 10 dB	
		wymagany sygnał required sygnal [dB μ]	zasięg range [km]	wymagany sygnał required sygnal [dB μ]	zasięg range [km]
97,0 %	18,6	23,6	400	28,1	275
99,0%	23,5	28,5	250	33,0	175
99,7%	28,5	33,5	175	38,0	100
99,9%	32,8	37,8	100	42,3	75

Jak już wspomniano, w 1994 roku liczba wartościowych publikacji dotyczących badania charakterystyk nawigacyjnych systemu DGPS była nieduża. Szczególną publikacją, w której połączono charakterystyki nawigacyjne, takie jak dostępność z poziomem natężenia sygnału oraz stosunku sygnał/zakłócenie, jest [1]. Zaprezentowane w niej analizy dostępności stacji referencyjnych DGPS Porkalla i Almagrundet znacząco przyczyniły się do prowadzonych analiz optymalizacyjnych związanych ze stworzeniem polskiej instalacji różnicowej GPS.

Analiza danych tabelarycznych i stref dostępności skandynawskich stacji DGPS pozwoliła wyciągnąć następujące wnioski w kontekście ustalenia lokalizacji polskich stacji [16]:

1. Zabezpieczenie dostępności DGPS na poziomie 99,7% dla obszaru polskiej strefy ekonomicznej na Morzu Bałtyckim odpowiada natężeniu sygnału promieniowanej fali 38 dB μ oraz stosunkowi sygnał/szum powyżej 10 dB. Wartości te dotyczą transmisji niekodowanej i odpowiadają 100 km odległości od stacji

As previously mentioned, in 1994 the number of available publications concerned with investigating navigational characteristics in a DGPS system was small. Item [1] is a special publication in which navigational characteristics such as signal strength and signal/interference ratio are combined. The analyses of the availability of DGPS reference stations by Porkalla and Almagrundet presented in it have significantly contributed to the optimization analyses concerned with the setting up of the Polish differential installation.

The analysis of the tabular data and availability zones in the Scandinavian DGPS stations made it possible to draw conclusions relating to determining locations for the Polish stations [16] as follows:

1. Providing DGPS availability at a level of 99.7% for the Polish economic zone in the Baltic Sea corresponds to the signal power of the propagated wave 38 dB μ and the signal/noise ratio over 10 dB. These magnitudes relate to non-coded transmission and correspond to a range

- referencyjnej DGPS. Powyższe ustalenia dotyczą mocy promieniowanej równej 1 W.
2. Zgodnie z wymaganiami ogólnymi dla systemu DGPS polski system powinien mieć dostępność minimalną na poziomie 99%, która powinna zostać zapewniona dla polskiej strefy ekonomicznej. Wynika stąd, że zasięg stacji referencyjnej może wynosić do 175 km.
 3. Dostępność sygnałów i serwisu jako kryterium oceny systemu nawigacyjnego DGPS jest zasadniczym parametrem decydującym o zdolności do utrzymania wysokiej stabilności pracy.
 4. Oceny dostępności systemu należy przeprowadzać w okresie prób rocznych, na zróżnicowanych zasięgach.
 5. Przy porównywaniu parametrów tego samego systemu wytworzonego przez różnych producentów należy mieć na uwadze zabezpieczenie jak najwyższej dostępności systemu na danym obszarze koniecznym do pokrycia, a w szczególności w miejscach, gdzie bardzo wysoka dostępność jest niezbędna dla wykonania zadań (m.in. podejście do portu).
 6. Analiza porównawcza dostępności systemów powinna dotyczyć również ich badania na zasięgach granicznych oraz w rejonach o zróżnicowanych warunkach propagacji fal radiowych.

W dalszej kolejności analizowano strefy działania projektowanych stacji przy uwzględnieniu wymagań dotyczących dostępności sygnałów. Doprowadziło

of 100 km from a DGPS reference station. These findings apply to a radiation power equal to 1 W.

2. In accordance with the general requirements for a DGPS system the Polish system should have availability at the level of 99% which should be ensured in the Polish economic zone. Hence, a reference station range can be up to 175 km.
3. Signal and service availability as a criterion for estimating a DGPS navigation system is the main parameter deciding the capability of the system to maintain high performance stability.
4. Estimations of the system availability should be carried out during yearly trials, over varied ranges.
5. When comparing parameters of the same system developed by different producers attention should be paid to providing the system with the highest availability in the area to be covered, especially in places where very high availability is indispensable to carry out tasks (e.g. approaching port).
6. The comparative analysis should also include investigations relating to border ranges in the areas characterized by varied radio wave propagation.

Further, the zones of operation for the intended stations were analyzed, taking into account the signal availability requirements. This led to the following conclusions concerning the Polish coast [16]:

to do następujących wniosków dotyczących polskiego wybrzeża [16]:

1. Wymagany minimalny stosunek sygnał/szum dla prawidłowej transmisji DGPS wynosi 10 dB. Zapewnia on pracę systemu z dostępnością 99%, co odpowiada natężeniu sygnału 33 dB μ przy zastosowaniu opcji kodowania oraz wymagany minimalny stosunek sygnał/szum 5 dB przy rozszerzeniu pokrycia do konturu 23 dB μ .
2. Dla zapewnienia dostępności 99,9% rocznie pokrycie powinno obejmować kontury odpowiednio 42 dB μ i 32 dB μ . Przy tych kryteriach system można uznać za całkowicie wiarygodny w rozumieniu nawigacji. Wnioski te zostały wysnute na podstawie analizy pracujących stacji bałtyckich, których warunki pracy są bardzo zbliżone do polskich. Wręcz identyczne wyniki uzgodniono na drugiej sesji Radionavigation Committee IALA.
3. Rozważając pokrycie polskiej strefy ekonomicznej radiolatarniami DGPS, należy mieć na uwadze, iż część tego obszaru zabezpieczają radiolatarnie Hammerodde i Hoburg. Przy rozstawianiu stacji DGPS na polskim wybrzeżu newralgicznymi rejonami ze względu na wymagane natężenie sygnału, stosunek sygnał/szum oraz wysoką dostępność systemu będą obszary portów Gdańsk — Gdynia, Szczecin — Świnoujście, Kołobrzeg oraz Zalew Wiśłany i Zalew Szczeciński. Za zasadę należy uznać konieczność uzyskiwania powyższych wartości jako minimalnych w dowolnym rejonie obszaru wymagającego pokrycia.
1. The minimum signal/noise ratio required for the proper DGPS transmission is 10 dB. It ensures 99% system availability, which corresponds to a signal intensity of 33 dB μ , when the coding option is used, and the minimum signal/noise ratio 5 dB, when the coverage is extended to the contour 23 dB μ .
2. To ensure 99.9% availability the yearly coverage should include two contours: 42 dB μ and 32 dB μ respectively. Using these criteria the system can be considered fully reliable as far as navigation is concerned. These conclusions were based on the analysis of the working Baltic stations whose performance conditions are very close to those of the Polish.
3. When considering the coverage of the Polish economic zone with DGPS radio beacons it must be noted that part of the area is supported by the Hammerodde and Hoburg radio beacons. When placing the DGPS stations on the Polish coast the crucial areas, with regard to the required signal intensity, signal/noise ratio and high system availability, will be the port areas of Gdańsk — Gdynia, Szczecin — Świnoujście, Kołobrzeg and Vistula Lagoon and Szczecin Lagoon. The necessity to obtain the above magnitudes, as the minimum in any point of the area required to cover, should be considered as a rule.
4. A similar analysis should be carried out for a few stations whose ranges cover a larger area. The magnitudes

4. Podobną analizę należy przeprowadzić dla kilku stacji pokrywających swym zasięgiem większy obszar. Trzeba mieć na uwadze, aby w każdym miejscu tego obszaru móc uzyskać powyższe wartości co najmniej od jednej stacji.

W latach dziewięćdziesiątych zasadą było lokalizowanie stacji referencyjnych DGPS w miejscach, w których znajdowały się radiolaternie morskie (RC) wykorzystywane powszechnie w nawigacji przybrzeżnej do radionamierzenia. Biorąc pod uwagę wyszczególnione powyżej założenia i analizy oraz rozmieszczenie stacji RC, podjęto decyzję, iż proponowanymi lokalizacjami stacji DGPS polskiego wybrzeża staną się Rozewie i Dziwnów, których zadaniem będzie zabezpieczenie żeglugi odpowiednio na Zatoce Gdańskiej i Zalewie Wiślanym oraz Zatoce Pomorskiej i Zalewie Szczecińskim. Wzorem krajów sąsiednich oraz międzynarodowych przepisów [4] przyjęto zasięg nominalny 90 km dla każdej ze stacji. Na rysunku 1. przedstawiono strefy działania stacji DGPS południowego Bałtyku wraz z planowanymi polskimi stacjami DGPS.

Analizy dostępności zaprezentowane w projekcie ustanowienia polskiego systemu DGPS [16] należy uznać za właściwe, ale dotyczyły one jednostkowej mocy promieniowania wychodzącego z anteny nadawczej stacji referencyjnej ($ERP = 1 \text{ W}$). Zasadne na tym etapie byłoby ustalenie sprawności systemów antenowych radiolarń

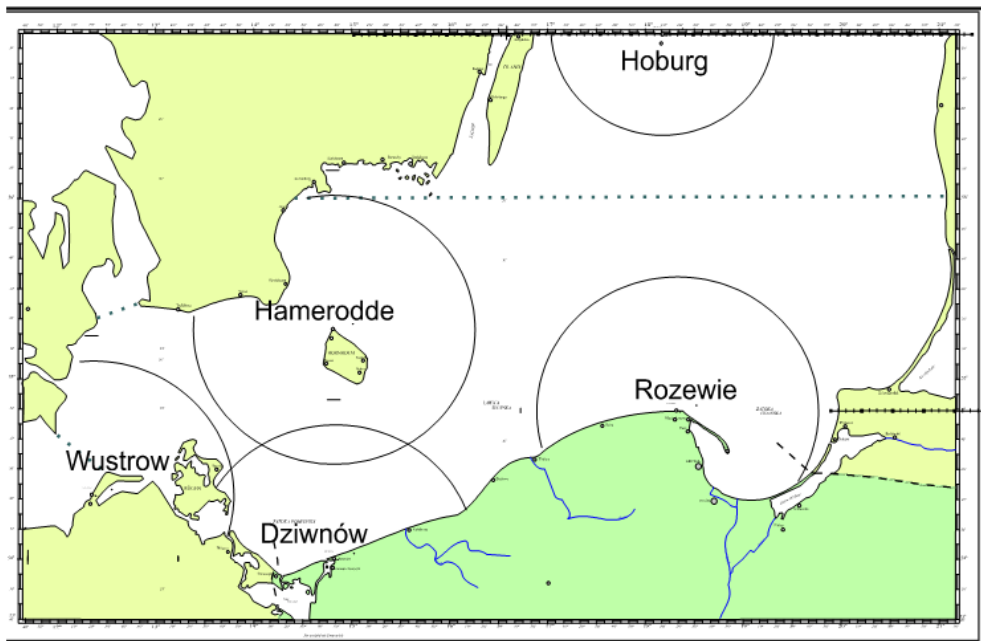
above should be obtainable for every point in the area from at least one of the stations.

In the 1990s, as a rule, DGPS reference stations were placed in locations where radio beacons were commonly used for radio direction-finding in coastal trading. Taking into consideration the assumptions listed above, the analyses carried out and location of radio beacons, a decision was made to place the DGPS stations on the Polish coast at Rozewie and Dziwnów. Their task was to support the shipping in the Bay of Gdańsk and the Vistula Lagoon and the Bay of Pomerania and the Szczecin Lagoon respectively. Following the solutions adopted by the neighboring countries and the international regulations [4] the nominal range of 90 km was assumed for each of the stations. Figure 1 presents the operating zone for DGPS stations in the Southern Baltic together with the planned Polish DGPS stations.

The availability analyses presented in the project of setting up the Polish DGPS system [16] must be considered to be correct, but they were concerned only with unitary radiation power emitted by the broadcast antenna of the reference station ($ERP = 1 \text{ W}$). At this stage it would have been justifiable to determine the efficiency of the antenna systems in radio beacons planned to use as DGPS stations by means of measurements. However, due to the short time set for realization of the project this could not be done.

planowanych do wykorzystania jako stacji DGPS na drodze pomiarów. Z powodu krótkiego czasu realizacji projektu nie można jednak było tego zrealizować. Ponadto nie dysponowano oprogramowaniem umożliwiającym ocenę strefy energetycznych stacji referencyjnych DGPS. Pozostawało pozyskanie informacji o poziomie natężenia zakłóceń, co w przypadku systemu DGPS sprowadzało się do uwzględnienia zakłóceń atmosferycznych.

Additionally, software used to estimate zones for DGPS reference stations was not available. Thus the action that could be taken was to obtain data relating to the interference intensity level, which in the case of a DGPS system meant taking atmospheric interference in to account.



Rys. 1. Strefy działania (nominalne) stacji odniesienia DGPS południowego Bałtyku wraz z planowanymi polskimi stacjami Rozewie i Dziwnów

Fig. 1. The operating zones (nominal) for the DGPS reference stations in the Southern Baltic together with the planned Rozewie and Dziwnów stations

WYMAGANIA TECHNICZNE DLA APARATURY DGPS

Jednym z założeń realizacji koncepcji polskiego systemu DGPS [16] było ustalenie wymagań technicznych dla

TECHNICAL REQUIREMENTS FOR DGPS APPARATUS

One of the assumptions underlying the concept of the Polish DGPS system [16] was that of working out technical

aparatury sieci stacji referencyjnych. Należy pamiętać, że sygnały DGPS wysyłano przez stację referencyjną równoległe z emisją modulacji A1A, na częstotliwości przesuniętej o 0,5 kHz, wykorzystywaną w radionamierzaniu (do 1995 r.). Poniżej zestawiono określone wówczas wymagania.

1. System DGPS powinien być odpowiedni dla nawigacyjnych zastosowań wymagających dużej dokładności określenia pozycji, ale także powinien umożliwiać niezakłóconą pracę radiolatarni dla radionamierzania.
2. Forma transmisji dla radionawigacji powinna być międzynarodowo standaryzowana dla wszystkich użytkowników i sprzętu, a wyposażenie powinno mieć stosunkowo niską cenę.
3. Transmisja poprawek różnicowych powinna umożliwić zwiększenie dokładności do 15 m ($p = 0.95$).
4. Rozważając optymalną liczbę stacji na dany region, powinno się wykonywać oceny wielokryterialnie. Większe pokrycie powinno zabezpieczyć kilka stacji z rozdziałem częstotliwości. Należy pamiętać, że poprzez to zastosowanie dokładność może zostać zmniejszona, a interferencje z falą jonosferyczną mogą ograniczać dostępność systemu w niektórych obszarach.
5. System powinien być dostępny w co najmniej 99% rocznie, mniejsza dostępność jest dopuszczalna na obszarach o mniejszym znaczeniu dla żeglugi.
6. Umieszczenie stacji różnicowej GPS zależy zasadniczo od odległości, na którą należy transmitować poprawki dla zapewnienia niezbędnej dokładności określania pozycji, a także

requirements for the component parts of reference stations. It must be remembered that DGPS signals were transmitted by a reference station together with emission of the A1A modulation, at the frequency shifted by 0.5 kHz, used in radio direction-finding (until 1995). Below there is list of the requirements worked out at that time.

1. A DGPS system should be appropriate for navigational applications which require high accuracy in fixing positions, and it should also allow for the undisturbed working of a radio beacon in radio direction-finding.
2. The form of transmission for radio-navigation should be internationally standardized for all users of the equipment, and the cost of the equipment should be relatively low.
3. Transmission of differential corrections should allow for increasing accuracy up to do 15 m ($p = 0.95$).
4. When considering the optimum number of stations for a given region, multi-criterion evaluations should be made. A few stations with frequency division multiplexing should provide a larger coverage. It must be remembered that owing to this, the accuracy can decrease and the interference with ionospheric wave can reduce the availability of the system in some areas.
5. The system availability should be at least 99% yearly; a lower availability is acceptable in the areas of lesser significance for shipping.
6. The location of a GPS differential station basically depends on the range over which the corrections are

- od rozmiaru obszaru wymagającego pokrycia systemem.
7. W celu pokrycia całego rejonu przybrzeżnego liczba kanałów powinna być ustalana.
 8. Pozostałe wymagania techniczne:
 - transmisja poprawek powinna odbywać się na częstotliwościach 285–325 kHz;
 - częstotliwość nośna dla transmisji poprawek różnicowych powinna być wielokrotnością 500 Hz;
 - tolerancja częstotliwości ± 10 Hz;
 - format transmitowanych danych powinien odpowiadać zaleceniu RTCM Special Committee 104 (wersja 2.0 lub wyższa);
 - transmisja poprawek powinna być ciągła;
 - rekomendowana szybkość transmisji danych wynosi 100 bitów/s;
 - modulacja MSK (*Minimum Shift Keying*);
 - dla szybkości transmisji 200 bitów/s dopuszczalne pasmo wynosi 230 Hz;
 - modulacja fazowa — zeru logicznemu odpowiada opóźnienie fazy o 90 stopni, a jedynie logicznej wyprzedzenie fazy o 90 stopni;
 - odstęp między kanałami 500 Hz.
- to be transmitted in order to provide for indispensable accuracy in fixing positions, as well as on the size of the area requiring coverage.
7. In order to cover the whole coastal region the number of channels should be determined.
 8. The remaining technical requirements:
 - frequencies 285–325 kHz should be used for transmitting differential corrections;
 - carrier frequency for transmitting differential corrections should be multiples of 500 Hz;
 - frequency tolerance ± 10 Hz;
 - the format of transmitted data should correspond to the recommendation by RTCM Special Committee 104 (version 2.0 or higher);
 - transmission of corrections should be continuous;
 - recommended speed of data transmission is 100 bits per second;
 - modulation MSK (*Minimum Shift Keying*);
 - for transmission speed of 200 bits per second the accepted beam is 230 kHz;
 - phase modulation — logic zero corresponds to phase lag by 90 degrees, and logic 1 corresponds to phase lead by 90 degrees;
 - space between channels 500 Hz.

**WYBRANE WYNIKI BADAŃ
WSTĘPNYCH SYSTEMU DGPS
REALIZOWANYCH W AKADEMII
MORSKIEJ W GDYNI I CENTRUM
BADAŃ KOSMICZNYCH PAN**

W dniach 17–18 listopada 1994 roku Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej Akademii Marynarki Wojennej zorganizował IX Konferencję Naukowo-Techniczną „Rola nawigacji w zabezpieczeniu działalności ludzkiej na morzu”, na której zaprezentowano pięć

**SELECTED RESULTS OF INITIAL
INVESTIGATIONS ON THE DGPS SYSTEM
CARRIED OUT AT THE MARINE
ACADEMY IN GDYNIA AND POLISH
ACADEMY OF SCIENCES**

On 17–18 November, 1994 the Institute of Marine Navigation and Hydrographics, the Polish Naval Academy, held the 9th Science and Technology Conference

interesujących referatów [5, 7, 12, 26, 27] dotyczących systemu DGPS oraz analiz związanych z jego ustanowieniem w Polsce. Pierwsze udokumentowane pomiary systemu DGPS wykonane w Polsce oparte na danych pochodzących ze stacji referencyjnej Hammerodde (Dania, Bornholm) zrealizowano w Instytucie Nawigacji i Hydrografii Morskiej AMW 2 czerwca 1994 roku [12]. Wykorzystując dwa odbiorniki Magnavox MX-200, z których jeden pracował jako GPS, a drugi odbierał korekty RTCM z wykorzystaniem odbiornika MSK-MX50R, zrealizowano pomiar 450 wyznaczeń pozycji (co 2 s). Wyniki odniesiono do współrzędnych uśrednionych. Należy zwrócić uwagę na interesujące wnioski wynikające z przeprowadzonych badań. Autorzy stwierdzili, że „uzyskane rezultaty zdają się wskazywać przede wszystkim na znacznie lepsze parametry stacji Hammerodde, niż wynikałoby to z literatury. Zasięg stacji jest wyraźnie większy niż wyspecyfikowany w *Spisie radiosygnatów*, a błąd pozycji oscyluje na poziomie 3 m” (rys. 2.). Spostrzeżenie dotyczące przekraczania oficjalnie publikowanych zasięgów stacji referencyjnych i nakładania się stref działania stacji referencyjnych DGPS południowego Bałtyku zostało potwierdzone rok później [13], a w ciągu kolejnych dwóch lat opublikowano zweryfikowane pomiarowo strefy działania wszystkich stacji referencyjnych Bałtyku [20, 21].

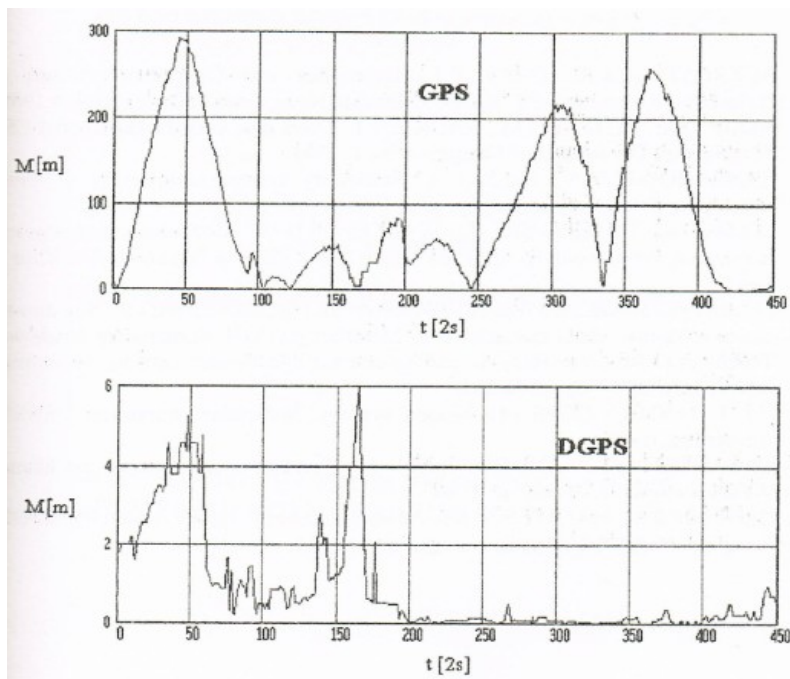
W Polsce nie dysponowano oprogramowaniem umożliwiającym wykreślenie stref działania (poziom natężenia sygnału) stacji referencyjnych, dlatego

‘The Role of Navigation in Support of Human Activity at Sea’. During the conference five interesting papers concerned with the DGPS system and analyses focused on its establishment [5, 7, 12, 26, and 27] were presented. The first documented measurements relating to the DGPS system made in Poland were based on the data from the reference stations of Hammerodde (Bornholm, Denmark). They were carried out at the Institute of Marine Navigation and Hydrography NA, on 2 June, 1994 [12]. Employing two receivers Magnavox MX-200, one of which worked as a GPS and the other received the corrections RTCM using a receiver MSK-MX50R, 450 positions were fixed (every 2 seconds). The results were referred to averaged coordinates. Attention must be paid to the interesting conclusions derived from the investigations. The authors claimed that ‘the results obtained seem to indicate, first of all, the much better parameters of the Hammerodde station than those presented in the literature. The range of the station is longer than was specified in the *List of radio-signals*, and the positioning error is approximately 3m’ (fig. 2). This finding concerned with exceeding the officially published ranges of reference stations and overlapping of the operation zones of the DGPS station in the Southern Baltic was confirmed a year later [13], and during the successive two years the operations zones of the all reference stations in the Baltic were verified by means of measurements [20, 21].

In Poland software which could be used to delineate operation zones (level of

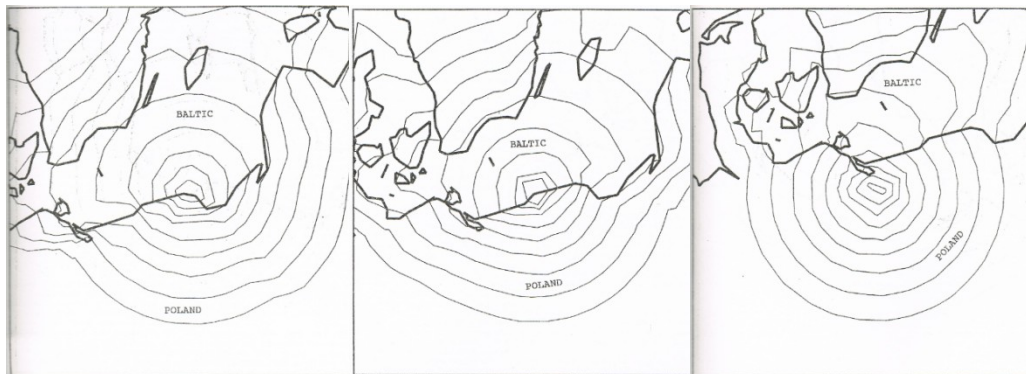
planowanie rozmieszczenia stacji nie uwzględniało warunków środowiskowych propagacji fal radiowych [9, 16]. Jedynym dostępnym w świecie oprogramowaniem służącym temu celowi był software wykonany w firmie Trimble Navigation Limited z przeznaczeniem dla systemu DGPS USA. Szczegółowy opis tego oprogramowania można znaleźć w [10, 15]. Dzięki uprzejmości Davida Younga z Trimble (Sunnyvale CA) dr inż. Krzysztof Vorbrich wykonał symulację stref działania stacji referencyjnych dla polskiego wybrzeża, zakładając ich lokalizację w Szczecinie, na środkowym wybrzeżu i w Rozewiu [26] (rys. 3).

signal power) of the reference stations was not available. For this reason planning where to locate stations did not take into account environmental conditions of radio wave propagation [9, 16]. The only available software in the world was the one developed by the firm Trimble Navigation Limited, dedicated for The DGPS system in the USA. A detailed account of this software can be found in [10, 15]. Thanks to the kindness of David Young from Trimble (Sunnyvale CA) Dr Krzysztof Vorbrich made a simulation of the operation zones for reference stations on the Polish coast, taking into account their location in Szczecin, in the middle of the coast and in Rozewie [26] (fig. 3).



Rys. 2. Wyniki pierwszych pomiarów morskich systemów DGPS w Polsce: przykładowy błąd pozycji nieruchomych odbiorników nawigacyjnych GPS i DGPS (2 czerwca 1994 r. godz. 1235-1250 czasu UTC) [12]; wartość M [m] oznacza błąd średni pozycji

Fig. 2. The results of the first measurements of the marine DGPS systems in Poland: an example of a position error in fixed GPS and DGPS receivers (2 June, 1994, 1235-1250 hrs UTC) [12]; the magnitude M [m] is the average position error



Rys. 3. Symulacja stref działania stacji referencyjnych dla polskiego wybrzeża: lokalizacje Rozewie, środkowe wybrzeże i Szczecin [26]

Fig. 3. The simulation of the operation zones for the reference stations on the Polish coast, locations: Rozewie, in the middle of the coast and Szczecin [26]

Wykonane symulacje zrealizowano dla założenia, że nadajnik stacji będzie miał moc 50 W, a efektywna moc promieniowania (ERP — *Effective Radiated Power*) wychodząca z anteny wyniesie 1 W. Graniczną wartość strefy działania ustalono na $50 \mu\text{V}/\text{m}$. Te bardzo wartościowe wyniki dodatkowo pozwoliły oszacować, o ile szybciej spada poziom natężenia sygnału rozchodzącego się nad powierzchnią lądu względem propagacji nad wodą. Zaprezentowane strefy były jedynie symulacjami, bowiem polski system DGPS jeszcze nie istniał i co najistotniejsze — nie dysponowano rzeczywistymi danymi dotyczącymi efektywnej mocy promieniowania stacji Rozewie i Dziwnów. Nie ulega jednak wątpliwości, że dzięki tej symulacji uzyskano wiedzę o względnym rozkładzie izolinii poziomu natężenia sygnałów polskich stacji referencyjnych DGPS oraz szacowanym zasięgu stacji przy $\text{ERP} = 1 \text{ W}$. Jak wykażą późniejsze badania, uzyskanie poziomu 1 Wata było nieosiągalne przez wiele lat. Bezpośrednio po

The simulations were made for the assumption that the transmitter of the station would have 50W, and its effective radiation power (ERP) emitted from the antenna would be 1 W. The adopted boundary magnitude for an operation zone was $50 \mu\text{V}/\text{m}$. These very valuable results allowed estimating how much faster the power level of signal propagated above land surface drops as compared with the propagation above water. The zones presented were only simulations, as the Polish DGPS system did not exist at that time, and what is important – real data relating to the effective radiation power of the Rozewie and Dziwnów stations was also not available. Undoubtedly, thanks to this simulation, knowledge was obtained on the relative distribution of isolines of power level of signals in the Polish DGPS reference stations as well as the estimated range of the station for $\text{ERP} = 1 \text{ W}$. As the later investigations showed, to obtain 1 W was impossible for many years. Immediately, following the installation of the

instalacji aparatury stacji referencyjnych wartość ERP dla stacji referencyjnej Rozewie wynosiła 0,4 W, natomiast dla stacji Dziwnów jedynie 0,1 W. Wstępną strefę działania stacji referencyjnej DGPS Rozewie opublikowano w czerwcu 1996 roku [11], natomiast wersję końcową we wrześniu 1996 [17]. Należy zaznaczyć, iż wspomniane strefy działania polskich stacji DGPS określono metodami graficznymi. Dopiero w 2003 roku powstał w Polsce program komputerowy umożliwiający symulowanie stref działania stacji referencyjnych [22], a później stref dostępności, niezawodności i ciągłości [23].

W Akademii Morskiej w Gdyni również prowadzono analizy wstępne związane z systemem DGPS [5, 6, 7]. Na szczególną uwagę zasługuje publikacja [7], w której opisano pomiary dynamiczne systemu DGPS zrealizowane w dniach 21–22.03.1994 roku na statku „Zodiak”. W badaniach uczestniczyły: Akademia Rolniczo-Techniczna z Olsztyna, Biuro Hydrograficzne RP oraz Instytut Morski. Należy zauważyć, że realizowano je w oparciu o odbiorniki geodezyjne Ashtech z wykorzystaniem łącza telemetrycznego pracującego na częstotliwościach pasma VHF. Badania wykazały możliwość wykorzystania tego rozwiązania DGPS do określania elementów manewrowych jednostek morskich z dokładnością 2–3 metrów. Pomiary zrealizowano w oparciu o odbiorniki geodezyjne oraz inne, znacząco bardziej przepustowe łącza telemetryczne zakresu częstotliwości VHF. Niewątpliwie wyniki można aplikować do lokalnych (dedykowanych) rozwiązań DGPS, natomiast nie

components of the reference stations the magnitude of ERP for the Rozewie station was 0.4 W, whereas for the Dziwnów station only 0.1 W. The initial operation zone for the Rozewie DGPS reference station was published in June, 1996 [11], and the final version in September 1996 [17]. It must be noted that the zones mentioned for the Polish DGPS stations were determined with graphic methods. It was in 2003 that software which could be used to simulate operation zones for reference stations was developed in Poland [22], and later on to simulate availability, reliability and continuity zones [23].

The Marine Academy of Gdynia also carried out preliminary analyses concerned with the DGPS system [5, 6, 7]. Special attention should be paid to publication [7], which describes dynamic measurements of the DGPS system made on 21–22 March, 1994 aboard the vessel ‘Zodiak’. Agriculture and Technology Academy of Olsztyn, Hydrographic Bureau of the Polish Navy and the Marine Institute took part in the measurements. It should be noted that the measurements were based on geodetic receivers Ashtech using a VHF telemetric link. The investigations showed a possibility of using this DGPS solution to measure maneuvering data of marine vessels with accuracy of up to 2–3 m. Geodetic receivers as well as other VHF telemetric link having much higher transfer capacity were used to make the measurements. Undoubtedly, these results can be applied to local (dedicated) DGPS solutions, whereas they cannot

można ich uogólnić na system z zakresu LF/MF, gdzie przepustowość łącza nie przekracza 200 bodów.

PODSUMOWANIE

Powstałe w 1991 roku Biuro Hydrograficzne RP odniosło znaczący sukces, przeprowadzając wspólnie z Instytutem Nawigacji i Hydrografii Morskiej Akademii Marynarki Wojennej proces planowania oraz analizę techniczną dla uruchomienia na polskim wybrzeżu systemu DGPS. Zrealizowana w 1994 roku w AMW koncepcja systemu DGPS rozpoczęła proces budowania w INiHM zespołu naukowego (prof. Z. Kopacz, prof. A. Felski, prof. C. Specht, dr inż. A. Nowak, mgr inż. A. Warhchold) związanego z technikami różnicowymi GPS, który do dziś odgrywa istotną rolę w polskiej radionawigacji. Równoległe badania nad DGPS, przy współpracy z AMW, rozpoczął zespół Wyższej Szkoły Morskiej w Szczecinie (prof. A. Banachowicz, prof. A. Wolski) [1, 2, 3] oraz Centrum Badań Kosmicznych PAN (dr inż. K. Vorbrich), skupiając się przede wszystkim na aplikacjach lotniczych i lądowych. W Wyższej Szkole Morskiej w Gdyni (obecnie Akademia Morska w Gdyni) także pojawił się zespół uczonych (prof. J. Januszewski, dr inż. J. Cydejko, dr inż. J. Król) współpracujący z ówczesną Akademią Rolniczo-Techniczną w Olsztynie (prof. S. Oszczak, prof. A. Wasilewski, prof. Z. Rzepecka), wnosząc istotny wkład w badanie i rozwój polskiego systemu DGPS.

be generalized to a LF/MF system, where transfer capacity does not exceed 200 bods.

SUMMARY

The Polish Navy Hydrographic Bureau, set up in 1991, recorded a significant success carrying out, together with The Institute of Marine Navigation and Hydrography, the Naval Academy, the planning and technical analysis relating to establishing a DGPS system on the Polish coast. The concept, realized at the Naval Academy in 1994, started the process of building a scientific team in the IMNH (prof. Z. Kopacz, prof. A. Felski, prof. C. Specht, dr A. Nowak, MSc A. Warhchold) concerned with GPS differential technologies who has been playing an important role in the Polish radio-navigation since then. At the same time investigations on DGPS were started, in cooperation with the NA, by a team from the Merchant Marine Academy (prof. A. Banachowicz, prof. A. Wolski) [1, 2, 3] and the Space Research Center, Polish Academy of Sciences (dr K. Vorbrich), focusing their efforts on air and land applications. At the Higher Merchant Marine School (now the Merchant Marine Academy) there was a team of scientists (prof. J. Januszewski, dr J. Cydejko, dr J. Król) that cooperated with then the Agriculture and Technology Academy of Olsztyn (prof. S. Oszczak, prof. A. Wasilewski, prof. Z. Rzepecka), making significant contribution to research on and development of the Polish DGPS system.

Przedsięwzięcie, jakim było uruchomienie polskiego systemu DGPS, poza znaczeniem integracyjnym naukowo-środowiska morskiego odegrało istotną rolę w rozwoju radionawigacji w Polsce.

Apart from the importance for integrating the marine scientific community, the efforts to establish the Polish DGPS system have contributed significantly to the progress in radio-navigation in Poland.

BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

1. Backstrom R., Enge P., Tryggo B., Wilson S., *Establishment of a Joint Governmental Differential GPS Service for Marine Use in The Baltic Sea*, 'Proceedings of the International Meeting of the Satellite Division of ION', Albuquerque, 1991, pp. 477–488.
2. Banachowicz A., Felski A., *Satelitarny system nawigacyjny w wersji różnicowej*, 'Przegląd Geodezyjny', 1991, No 2.
3. Banachowicz A., Bober R., Wolski A., Banachowicz G., *Statistical Research into GPS and DGPS Measurements in West Pomerania in the Years 1996–2004*, 'Reports on Geodesy' 2005, No 2, pp. 331–335.
4. CCIR, *Recommendation 832 on Technical Characteristics of Differential Transmissions for Global Navigation Satellite Systems (GNSS) from Maritime Radio Beacons in the frequency band 285–325 kHz*, 1992.
5. Cydejko J., *Aspekty eksploatacyjne zastosowań nawigacyjnych różnicowego systemu satelitarnego DGPS*, IX Konferencja Naukowo-Techniczna 'Rola nawigacji w zabezpieczeniu działalności ludzkiej na morzu', Gdynia 1994, pp. 5–17 [*Operation aspects of navigational applications of the referential satellite system* — available in the Polish].
6. Cydejko J., Wawruch R., *Badania parametrów eksploatacyjnych lokalnego systemu różnicowego DGPS w warunkach statycznych*, WSM, Gdynia 1993.
7. Cydejko J., Wawruch R., *Wstępna ocena przydatności systemu DGPS do określania pozycji i parametrów manewrowych statku w czasie prób morskich*, IX Konferencja Naukowo-Techniczna 'Rola nawigacji w zabezpieczeniu działalności ludzkiej na morzu', Gdynia 1994, pp. 21–33 [*Initial assessment of a DGPS system usefulness in fixing positions and maneuvering parameters of a vessel during sea trials* — available in the Polish].
8. Czaplewski K., Specht C., *Wyniki powtarzalności pomiarów określenia pozycji systemu GPS*, V Seminarium Naukowe Instytutu Nawigacji i Hydrografii Morskiej, AMW, Gdynia 1996, pp. 39–50 [*The results of measurement repeatability relating position fixing using a DGPS system* — available in the Polish].
9. Else Technical & Research Service C.O., LTD., *Koncepcja lokalizacji radiolatarń morskich na polskim wybrzeżu*, Gdańsk 1994 [*The concept of radio beacons location on the Polish coast* — available in the Polish].
10. Enge P. and all, *Coverage of DGPS/ Radio-beacons*, Proc. 5th Int. Tech. Meeting Sat. Div. ION, Albuquerque, NM, September 16–18, 1992.
11. Felski, A., Specht C., *Wykorzystanie systemu DGPS w polskiej strefie ekonomicznej*, IV Międzynarodowa Konferencja Naukowa 'Systemy satelitarne i symulacyjne w lotnictwie', WSOSP, Dęblin 1996, pp. 35–45 [*Use of A DGPS system in the Polish economic zone* — available in the Polish].
12. Felski A., Warchhold A., *Wykorzystanie systemu DGPS na Zatoce Gdańskiej*, IX Konferencja Naukowo-Techniczna 'Rola nawigacji w zabezpieczeniu działalności ludzkiej na morzu', Gdynia 1994, pp. 37–44.
13. Felski A., Specht C., *Pewne aspekty optymalizacji wykorzystania systemów DGPS na Bałtyku Południowym*, 'Zeszyty Naukowe AMW', 1995, No 3.
14. Hallmann U., Łysejko A., *A Proposed DGPS Marine Radiobeacon System for the Republic of Poland*, November 1994.
15. Kalafus R., Enge P., Levin P., Hansen A., *Coverage of DGPS/Radiobeacons*, 'Navigation', 1992–1993, Vol. 39, No 4, pp. 363–382.

16. Kopacz Z., Dziewicki M., Fic Z., Specht C., *Kryteria wyboru stacji referencyjnych DGPS dla wybrzeża polskiego*, AMW, Gdynia 1994 [*Criteria for selecting DGPS reference stations for the Polish coast* — available in the Polish].
17. Kopacz Z., Specht C., *DGPS w osłonie transportu do portów Zatoki Gdańskiej*, Gdańsk 1996, pp. 85–103 [*DGPS in protecting transport to ports of the Bay of Gdańsk* — available in the Polish].
18. Poppe D., Last J. D., *DGPS Radio-Beacon Coverage Prediction in the European Environment*, The 3rd International Conference on Differential Satellite Navigation Systems, London, April 18–22, 1994.
19. Specht C., *Strefy działania polskich systemów DGPS na obszarach morskich RP*, V Seminarium Naukowe Instytutu Nawigacji i Hydrografii Morskiej, AMW, Gdynia 1996, pp. 51–83 [*Operation zones of the Polish DGPS systems in maritime areas* — available in the Polish].
20. Specht C., *Polskie systemy DGPS jako element osłony radionawigacyjnej Bałtyku Południowego*, 'Zeszyty Naukowe AMW', 1997, No 2 [*Polish DGPS systems as elements of the radionavigational protection of the Southern Baltic* — available in the Polish].
21. Specht C., *Analiza wielokryterialna systemu DGPS w aspekcie osłony radionawigacyjnej Bałtyku Południowego*, AMW, Gdynia 1997 [*The multi-criterion analysis of a DGPS system in the aspect of radionavigational protection of the Southern Baltic* — available in the Polish].
22. Specht C., Nowak A., *DGPS Reference station coverage projecting program*, The 12th International Scientific and Technical Conference 'The Part of Navigation in Support of Human Activity on the Sea', AMW, 2002, pp. 585–592.
23. Specht C., Nowak A., *Analyses of Differential GPS Transmission Availability, Reliability and Continuity*, The 14th International Scientific and Technical Conference 'The Part of Navigation in Support of Human Activity on the Sea', AMW, 2004, pp. 350–359.
24. Specht C., *Dostępność systemów nawigacyjnych — podstawy teoretyczne*, 'Technika Transportu Szynowego', 2013, No 10, pp. 2531–2538 [*Availability and reliability of navigational systems — theoretical fundamentals* — available in the Polish].
25. Specht C., *Dostępność i niezawodność systemów nawigacyjnych — modelowanie struktur*, 'Technika Transportu Szynowego', 2013, No 10, pp. 2539–2546 [*Availability and reliability of navigational systems — modeling its structures* — available in the Polish].
26. Vorbrich K., *Introduction to the problem of the Optimization of the DGPS/MRB (Maritime Radiobeacons) Sites in Poland*, IX Konferencja Naukowo-Techniczna 'Rola nawigacji w zabezpieczeniu działalności ludzkiej na morzu', Gdynia 1994, pp. 45–58.
27. Vorbrich K., *Integrity Monitoring of an Airborne Integrated Satellite Navigation System*, IX Konferencja Naukowo-Techniczna 'Rola nawigacji w zabezpieczeniu działalności ludzkiej na morzu', Gdynia 1994, pp. 60–78.