

## SYSTEMY INFORMACJI GEOGRAFICZNEJ W PLANOWANIU POSZUKIWAŃ MORSKICH – MOŻLIWOŚCI I PERSPEKTYWY ROZWOJU

### GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS IN SEARCH AND RESCUE PLANNING – CAPABILITIES AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT

Agnieszka Chojka<sup>1</sup>, Agnieszka Iżykowska<sup>2</sup>, Marek Piotrowski<sup>3</sup>, Jerzy Pyrchla<sup>4</sup>,  
Agnieszka Zwirowicz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

<sup>2</sup>Centrum Badań Kosmicznych PAN w Warszawie

<sup>3</sup>Dywizjon Zabezpieczenia Hydrograficznego MW

<sup>4</sup>Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni

**Słowa kluczowe: metody informatyczne w planowaniu poszukiwań morskich, SAR, GIS**

Keywords: informatics methods in search and rescue planning, GIS, SAR

## Wprowadzenie

Systemy typu GIS wykorzystywane są obecnie w wielu dziedzinach nauki i gospodarki, m.in. w nawigacji, SAR oraz wchodzą w skład nowoczesnych centrów powiadamiania i zarządzania sytuacjami kryzysowymi. Koordynacja działań wszelkich służb reagowania kryzysowego na morzu, wymaga szybkiego reagowania na zagrożenia spowodowane zarówno siłami natury, jak również pojedynczymi wypadkami losowymi. Operatorzy systemów zarządzania, prócz dobrej komunikacji pomiędzy poszczególnymi służbami/jednostkami, potrzebują z reguły dokładnej oraz natychmiastowej informacji o sytuacji w przestrzeni. Systemy GIS wspomagając podejmowanie decyzji, pozwalają przewidzieć rozszerzenie się zagrożenia (np. przemieszczenie się zagrożonego obiektu, czy rozprzestrzenianie się rozlewu olejowego). Większość informacji w tego typu systemach ma ścisły związek z położeniem na mapie.

## Historia rozwoju metod SAR

Pierwszej próby usystematyzowania metod poszukiwania obiektu poruszającego się po powierzchni morza, dokonano podczas II wojny światowej. To wówczas ze względu na zagrożenie, jakie dla aliantów stanowiły niemieckie okręty podwodne zatapiające coraz więcej tonażu na północnym Atlantyku, rozpoczęto prace zmierzające do wypracowania sku-

tecznej taktyki ich poszukiwania i wykrywania. Wyniki prac grupy zadaniowej ASWORG (*US Navy Antisubmarine Warfare Operations Research Group*), były z początku niejawne. Dopiero po zakończeniu działań wojennych, B.O. Koopman opublikował kilka spójnych artykułów, w których przedstawił wyniki prac kierowanego przez siebie zespołu (USGG Rep. No. CG-D-15-01; Bednarczyk, Pyrchla, Piotrowski, 2005). Dało to początek dyskusji nad możliwością adaptacji opracowanej taktyki dla celów poszukiwań i ratowania życia na morzu. Po wprowadzeniu niewielkich zmian i pewnych uproszczeń, opracowano klasyczną teorię planowania poszukiwań CSPM (*Classical Search Planning Method*), która dała początek współcześnie stosowanym i zalecanym przez IMO (*International Maritime Organisation*) metodom poszukiwania. Z biegiem lat, pod wpływem zdobywanego doświadczenia i prowadzonych prac badawczych, teoria ta ulegała zmianom wynikającym głównie z ograniczeń technicznych związanych z brakiem możliwości symulacji i prowadzenia szczegółowych obliczeń, jak również chęcią maksymalnego uproszczenia prowadzonych przez koordynatorów kalkulacji. Metoda CSPM opublikowana została początkowo w „National SAR Manual” US Coast Guard (1957), jednakże z biegiem lat podlegała wielu zmianom i uaktualnieniom (LAMSAR, 1999; Bednarczyk, Pyrchla, Piotrowski, 2005).

W ciągu ostatnich czterdziestu lat powstało wiele narzędzi wspomagających planowanie poszukiwań na morzu. Z tego powodu, wszystkie metody pogrupować można w następujący sposób:

- metody ręcznego planowania poszukiwań;
- zautomatyzowane wersje metod ręcznych;
- skomplikowane, probabilistyczne modele komputerowe i symulacyjne.

Metody ręcznego planowania poszukiwań oparte metodzie CSPM. z powodu nagromadzenia zalecanych do obliczenia współczynników i zmiennych, pochłaniały bardzo dużo czasu. Koncepcja automatyzacji metod ręcznych miała usprawnić proces obliczeń, jednak wykorzystanie w nich aparat matematyczny powodowało, że również te metody były czasochłonne.

## **System informacji geograficznej w rozwoju metod i narzędzi SAR**

Wraz z rozwojem techniki i powszechną informatyzacją wielu dziedzin życia, techniki numeryczne zaczęto wykorzystywać również w poszukiwaniach morskich SAR.. Planowanie poszukiwań obiektów w przestrzeni (w tym również na morzu) wiąże się z koniecznością przetwarzania dużej ilości różnorodnych danych, często w sytuacji wymagającej szybkiego podjęcia decyzji. Takie warunki sprawiają, że możliwe jest popełnienie błędów, które w tego rodzaju działaniach mogą decydować o życiu lub śmierci ratowanych osób. Automatyzacja manualnych metod poszukiwań stanowiła naturalny krok w rozwoju informatycznych rozwiązań wspomagających planowanie poszukiwań nawodnych. Wykorzystanie materiałów w postaci cyfrowej, w trakcie planowania poszukiwań, pozwoliło przede wszystkim:

- wyeliminować błędy człowieka, który w sytuacji stresowej działa zwykle mniej efektywnie;
- przyspieszyć uzyskiwanie wyników i obliczeń, wykonywanych na zgromadzonych danych;
- rozpatrywać dane pochodzące z większej liczby źródeł;

- ułatwić dostęp do informacji i ich modyfikację;
- łatwo wizualizować uzyskane informacje w przestrzeni.

Analiza danych w postaci cyfrowej pozwala m.in. na wykorzystanie bardzo zaawansowanego aparatu matematycznego oraz modeli, które wierniej odwzorowują rzeczywistość. W przypadku poszukiwań nawodnych większość informacji zgromadzonych i przetwarzanych w tego typu systemach ma ścisły związek z położeniem na mapie. Metody SAR operują na danych posiadających odniesienie przestrzenne, stąd potrzeba i możliwość wykorzystania systemów informacji geograficznej, które ułatwiłyby i usprawniły proces podejmowanych decyzji w sytuacjach SAR (IAMSAR, 1999; Piotrowski, 2004).

Systemy informacji geograficznej pozwalają na uporządkowanie, ujednoczenie i usystematyzowanie danych, a wynikająca z założenia otwartość tych systemów pozwala na ciągłą rozbudowę i aktualizację raz wprowadzonych danych (Longley i in., 1999). Specyfika poszukiwań nawodnych sprawia, że sam GIS w klasycznym rozumieniu tego pojęcia, nie jest jeszcze narzędziem znacząco rozszerzającym możliwości prowadzonych analiz. Jeśli jednak rozumieć GIS nieco szerzej, jako zestaw danych odniesionych przestrzennie w postaci numerycznej oraz dostosowanych do specyfiki poszukiwań morskich SAR, możliwości wykorzystania tych narzędzi znacznie wzrastają.

W odniesieniu do poszukiwań ratowniczych, najistotniejsze znaczenie ma kilka elementów. Są to m.in.:

- określenie warunków hydrometeorologicznych (prędkość i kierunek wiatru, prędkość i kierunek prądu);
- dokładność pozycji jednostki poszukującej i poszukiwanego obiektu;
- optymalne wyznaczenie obszaru poszukiwań.

Narzędzie wspomagania poszukiwań, aby mogło być „kompletne” w sensie funkcjonalności, powinno wykorzystywać zalety GIS oraz metod pozwalających na dokładne pozycjonowanie obiektów, a także zapewnić przepływ informacji. Połączenie tych właśnie elementów sprawi, że narzędzie dla potrzeb SAR pozwoli na planowanie i prowadzenie akcji ratowniczej przy wykorzystaniu wszelkich dostępnych informacji, a co za tym idzie jej optymalizację. Przykładowy schemat pojęciowy GIS, jaki można byłoby wykorzystać na potrzeby budowania kompletnej aplikacji SAR, zaprezentowano na rysunku 1.



Rys. 1. Struktura pojęciowa Systemu Informacji Geograficznej (źródło: Yue-Chou, 1997)

## Współczesne narzędzia wspomagające planowanie poszukiwań

Obecnie istnieje wiele rozwiązań automatycznego planowania poszukiwań wykorzystywanych w międzynarodowych służbach ratowniczych. Większość z tych narzędzi należy do grupy zautomatyzowanych metod ręcznych i są to m.in.: USCG Search and Rescue Planning (SARP), CANSARP, ASA SARMAP/ARCVIEW, Search and Rescue Information System (SARIS) i USCG C2PC Automated Manual Solution (AMS) (Bednarczyk, Pyrchla, Piotrowski, 2005; Fitzgerald, 1998; Target Detection Experiment, 1995).

Pierwszą zautomatyzowaną wersją ręcznej metody planowania poszukiwań był program SARP USCG, opracowany w 1970 roku. Był on częścią systemu programów i bazy danych, opracowanych dla inspektorów RCC, na potrzeby prowadzenia dochodzeń w sprawach SAR.

Z czasem, operacyjne wykorzystanie tego oprogramowania rozszerzono o:

- eliminację potencjalnych błędów obliczeniowych występujących podczas planowania poszukiwań metodą *pencil-and-paper* (planowania poszukiwań, wykonywanego ręcznie na mapach papierowych);
- zwiększenie czasu niezbędnego na gromadzenie i analizowanie szczegółowych informacji o danym przypadku, kosztem czasu oszczędzanego na błyskawicznym obliczeniu wszelkich parametrów poszukiwania przez narzędzie informatyczne.

Mimo, iż program SARP nie zwalniał planującego poszukiwania z konieczności rysowania zadania na mapie, wyręczał go w wielu czynnościach związanych z przeliczaniem położenia i rozmiaru całkowitego obszaru poszukiwań.

Na bazie programu SARP US powstało narzędzie CANSARP. W trakcie prac nad najnowszą wersją CANSARP wykorzystano wiele uwag i sugestii użytkowników pracujących w Canadian Coast Guard. Program został przedstawiony na konferencji SARSCENE '99 w St. John na Nowej Funlandii w październiku 1999 roku. CANSARP wykorzystuje informacje środowiskowe (prezentowane w postaci siatki) otrzymywane z kanadyjskiej Narodowej Agencji Środowiskowej (Canada's National Environmental Agency), w czasie bliskim rzeczywistemu, a także podobne prognozy do tych, jakie otrzymuje oprogramowanie USCG CASP, a pochodzące z US Navy's Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center w Monterey w Kalifornii (Pyrchla, 2001; 2002).

W programie CANSARP otrzymujemy 11 odrębnych *datum*, pochodzących od pojedynczej pozycji początkowej. Początkowo wszystkie te punkty korzystają z tych samych informacji środowiskowych (wiatr i prąd), dlatego jedyną dostrzegalną różnicą jest kąt rozbieżności dryfowej, jaki wybierany jest dla konkretnego obiektu. Kąty rozbieżności dryfowej wykorzystywane są do określenia skrajnych dwóch punktów rozbieżności: lewego i prawego, a następnie 9 równomiernie rozmieszczonych pomiędzy nimi *datum*. Liczba ta jest nieparzysta, dlatego jedna trajektoria jest zawsze zgodna z kierunkiem wiatru. Ponadto, z powodu rozdzielania poszczególnych *datum*, mogą one znajdować się pod wpływem zróżnicowanych parametrów środowiskowych, jakie z reguły występują w różnych miejscach i czasie, co w praktyce oznacza, że 11 *datum* może utworzyć z wpływem czasu nieregularny łuk (rys. 2).

Innym rozwiązaniem automatyzacji metod ręcznego planowania poszukiwań, jest oprogramowanie oparte na produktach Applied Science Associates, Inc. (ASA) z Narragansett, Rhode

Island, OILMAP/ARCVIEW® i/lub Incident Command System (ICS). Głównym zadaniem oprogramowania OILMAP jest predykcja trajektorii rozlewów olejowych i umożliwienie przeprowadzenia szczegółowych analiz dotyczących zagrożenia w przypadku pojawienia się rozlewu oleju na wybranym akwenu lub w jego pobliżu. Oprogramowanie wykorzystuje metodę symulacji Monte Carlo do określenia prawdopodobieństwa rozkładu dryfującej plamy oleju w określonym czasie, co z kolei jest bardzo podobnym rozwiązaniem do tego jakie zastosowano w programie CASP, który w oparciu o tą metodę wylicza prawdopodobny rozkład położenia poszukiwanego obiektu w danym czasie (Pyrchla, Bednarczyk, 2000; Pyrchla, 2002).

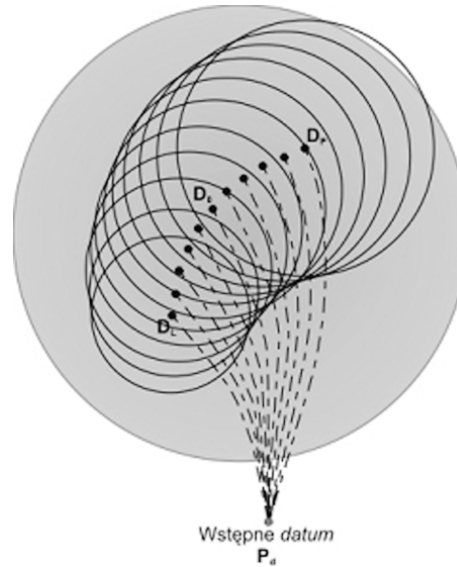
W programie ASA SARMAP/ARCVIEW zastosowano wiele rozszerzeń GUI/GIS, które są bardzo użyteczne dla użytkowników tego oprogramowania. Zgodnie z przyjętą nazwą produktu, SARMAP wykorzystuje otwartą architekturę produktu ARCVIEW i jego narzędzi GIS.

Poza tym, podobnie do narzędzi kanadyjskich i brytyjskich, SARMAP posiada dostęp do szczegółowej bazy danych prądów morskich. Rozwiązaniem przyjętym w trakcie określania optymalnego obszaru poszukiwań, jest wyznaczenie trzech oddzielnych *datum* (skrajnego lewego, skrajnego prawego i zerowego – zgodnego z kierunkiem wiatru) (rys. 3).

Bez wątpienia program SARMAP posiada najbogatszą bazę informacji i charakterystyk o poszukiwanych obiektach (około 60 różnego rodzaju obiektów). Charakterystyki te pochodzą ze spisu, jaki zamieścili w swojej publikacji Allen i Plourde (1999). Program ten posiada także dostęp do zaawansowanych danych o parametrach środowiska, jaki jest możliwy do osiągnięcia w zautomatyzowanej wersji ręcznego planowania poszukiwań, głównie dzięki zastosowaniu krótkiego kroku czasowego, wykorzystywanego w trakcie symulacji.

Innym dostępnym obecnie narzędziem zautomatyzowanego planowania poszukiwań, jest program SARIS (Search And Rescue Information System), w którym wykorzystano metodę brytyjską UK CG3. Również to narzędzie, wyposażone zostało w wiele cech standardu GUI/GIS, które w praktyce są bardzo użyteczne dla użytkownika. Obejmują one m.in.: wektorową linię brzegu i wektorowe linie batymetryczne. Metoda UK CG3, na podstawie której powstało oprogramowanie, umożliwia wyznaczenie trzech odrębnych *datum* – skrajnego lewego, skrajnego prawego i zerowego, zgodnego z kierunkiem wiatru. W metodzie poczyniono pewne modyfikacje w stosunku do tradycyjnej metody CSPM. Odstąpiono m.in. od wyliczania współczynników bezpieczeństwa, służących do wyznaczenia promienia pierwszego obszaru poszukiwań. Oficjalnym powodem takiego postępowania, jest wg autorów metody UK CG3, nadmierny wzrost (o ponad 21%) rozmiaru przeszukiwanego akwenu.

Najnowszym rozwiązaniem w dziedzinie komputerowego wspomagania działań SAR na morzu jest program SAROPS (rys. 4).



Rys. 2. Rozwiązanie umożliwiające określenie optymalnego obszaru poszukiwań w programie CANSARP

Współczesne prace badawcze poświęcone planowaniu poszukiwań zmagają się w dwóch głównych kierunkach: optymalizacji metod wyznaczania obszarów poszukiwań i optymalizacji trasy poszukiwania. We wszystkich przedstawionych narzędziach komputerowych wspomagających planowanie poszukiwań podejmowano próby modyfikacji metody wyznaczania obszarów poszukiwania. Tworzone rozwiązania pomijają ważne zagadnienie nieregularności kształtu przeszukiwanego obszaru w zagadnieniu lokalizacji wypadku morskiego i wyznaczenia trasy poszukiwania.

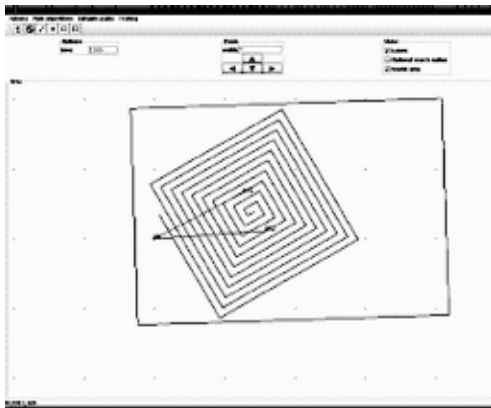
## Nowe rozwiązania w dziedzinie metod SAR

Powstające w ostatnich latach narzędzia komputerowego wspomaganie planowania poszukiwań (SARP, CANSARP, SARMAP, SARIS, C2PC/AMS i CASP), znajdują się wciąż w fazie rozwoju. Głównym powodem takiej sytuacji jest fakt, iż do tej pory w większości z nich funkcjonował przestarzały aparat matematyczny. Aparat ten, opracowany w trakcie II wojny światowej przez zespół matematyków zatrudnionych w US Navy, bardzo dobrze sprawdzał się w odniesieniu do wówczas posiadanych możliwości technicznych. Dzisiejszy postęp technologiczny, rozwój aparatów i metod matematycznych, a także pojawienie się systemów GIS, wywiera coraz silniejszy wpływ na rozumienie metod planowania poszukiwań w sytuacjach SAR.

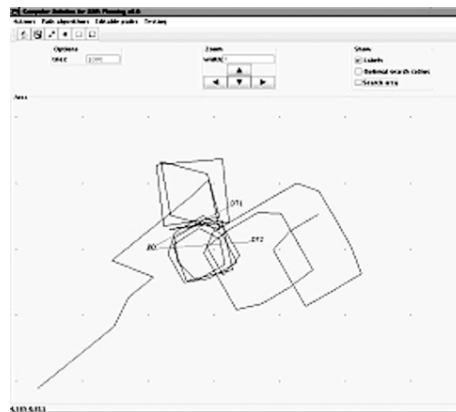
Od kilku lat prowadzone są prace badawcze przy współpracy Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni (Studium Szkolenia Ogólnomorskiego) i Instytutu Podstaw Informatyki PAN w Sopocie, a także zespołu naukowego Centrum Badań Kosmicznych w Warszawie i Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, nad nowymi metodami planowania poszukiwań w sytuacjach SAR, które optymalizowałyby wyznaczenie obszaru i trasy poszukiwań. W tym celu prowadzone są badania symulacyjne i doświadczenia środowiskowe na wodach Bałtyku. Potrzeba stworzenia nowych metod poszukiwań ma olbrzymie znaczenie biorąc pod uwagę dynamikę wód Morza Bałtyckiego, a także wciąż praktykowane, tradycyjne podejście do planowania poszukiwań. Studiując ponadto wyniki prowadzonych prac badawczo-rozwojowych w USCG, CCG i wielu innych służbach ratowniczych, można także dostrzec coraz większą dynamikę w tej dziedzinie (Piotrowski, 2004; Pyrchla, Piotrowski, 2004).

Innym kierunkiem prac, prowadzonych wspólnie przez SSO AMW i IPI PAN, jest optymalizacja metod poszukiwania poprzez modyfikację sposobów poszukiwania. Dzięki opracowaniu środowiska symulacyjnego GASPS (*Genetic Algorithm search Path Simulator* – rys.5), prowadzone są doświadczenia mające na celu weryfikację sposobów poszukiwania poprzez wykorzystanie algorytmów genetycznych, która okazuje się bardzo obiecująca w trakcie prowadzonych doświadczeń w warunkach symulacyjnych.

Rozwiązanie zgodne z doktryną TMO



Rozwiązanie oparte na metodzie algorytmów genetycznych



Rys. 5. Rozwiązania tras poszukiwania wygenerowane przez symulator GASPS

## Podsumowanie

Prowadzone obecnie prace badawcze w placówkach naukowo-badawczych na świecie, jak i w kraju, przyczyniają się do powstawania bardzo interesujących narzędzi komputerowego wspomaganie poszukiwań na morzu. Wszystkie one odchodzą w różnym stopniu od tradycyjnej metody CSPM planowania poszukiwań, zaadoptowanej w podręcznikach IAMSAR i zalecanych przez IMO. Podejmowane są próby tworzenia nowych sposobów optymalizacji obszarów jak i tras poszukiwań przy wykorzystaniu algorytmów genetycznych. Narzędziem tego typu jest symulator GASPS tworzony przez SSO AMW i IPI PAN.

Należy podkreślić, iż aplikacje bazujące na elementach GIS znajdują coraz więcej zwolenników w społeczności SAR, a prace rozwojowe mające na celu pełniejsze zespolenie obu systemów, nabierają coraz szybszego tempa. Zastosowanie elementów GIS w narzędziach dedykowanych poszukiwaniom morskim jest jeszcze wciąż nowe, dlatego zagadnienie projektowania nowoczesnych rozwiązań, opartych na technologii systemów informacji geograficznych, w dziedzinie SAR jest aktualne i potrzebne.

## Literatura

- Bednarczyk M., Pырchła J., Piotrowski M., 2005: Toward the Application of AI Methods in Marine SAR Operations. The VIII International Maritime Conference "Safety of Surface, Subsurface and Flight Over the Sea Aspects". *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 14, Supplement I, HARD Olsztyn.
- Fitzgerald R., 1998: Target Detection Experiment, Phase III - Data Analysis, Oceans Ltd.
- Frost J.R. (Soza & Co.), Stone L.D. (Metron, Inc.), 2001: Review of Search Theory: Advances and Applications to Search and Rescue Decision Support. USCG Rep. No. CG-D-15-01.
- IAMSAR, 1999: International aeronautical and maritime search and rescue manual. Volume II. Mission coordination. IMO/ICAO, Londyn/Montreal.
- IAMSA, 1999: International aeronautical and maritime search and rescue manual. Tom III. Środki mobilne, IMO/ICAO, Londyn/Montreal.

- Longley P.A., Gooldchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W., 1999: Geographical information systems; Vol. 1, Principles and Technical Issues, ss. 580, Vol. 2 Management Issues and Applications, ss. 1101.
- Morse M.P., Kimball E.G., 1998: Methods of operations research. Military Operations Research Society, Alexandria, Virginia.
- Piotrowski M., 2004: Satelitarnie wspomaganie działań SAR. Stan obecny i kierunki rozwoju. VII Konferencja Morska, Gdynia.
- Pyrchla J., Bednarczyk M., 2000: Zbiory rozmyte w planowanie poszukiwań morskich, II Sympozjum „Nawigacja Zintegrowana”, Szczecin.
- Pyrchla J., Piotrowski M., 2004: Szybkie łodzie ratownicze. Eksploatacja i manewrowanie. Bellona.
- Pyrchla J., 2001: The Utility of Fuzzy Set Theory for Locating Sea Accidents, *Geodezja i Kartografia* nr 4, Warszawa.
- Pyrchla J., 2002: Zbiory rozmyte w teorii lokalizacji wypadków morskich. Wybrane zagadnienia. Wyd. J. Pyrchla, Gdynia.
- Target Detection Experiment, Phase I – Experiment Planning, Oceans Ltd., May 1995.
- Yue-Chou, 1997: Exploring Spatial Analysis in Geographic Information Systems. On Word Press, USA.

### **Summary**

*The development of the information technology, the automatic searching methods and Geographical Information Systems are present in many new fields of science. In this paper the analyses of the automatization of the traditional methods in the sea searching, the evolution of the sea navigation and the life-saving are introduced. Some of the most important new tools and trends connected with Search and Rescue actions are described. The special attention is given to present connections between SAR and GIS fundamental functions. The paper shows some examples of the GIS solutions in the sea specialistic software.*

mgr inż. Agnieszka Chojka  
agnieszka.chojka@uwm.edu.pl

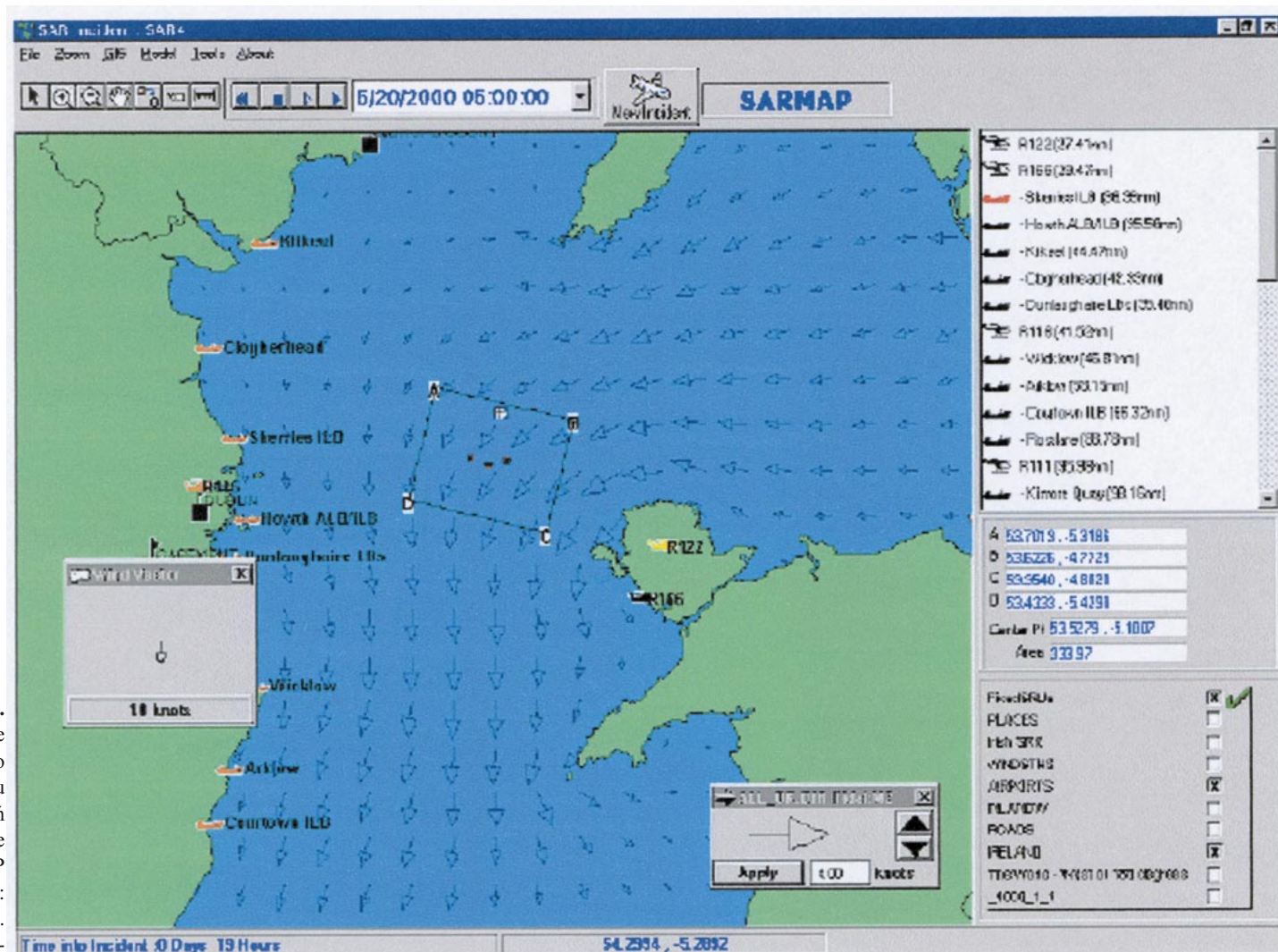
mgr Agnieszka Iżykowska  
agnizy@cbk.waw.pl

por. mar. mgr inż. Marek Piotrowski  
marek-piotrowski@wp.pl

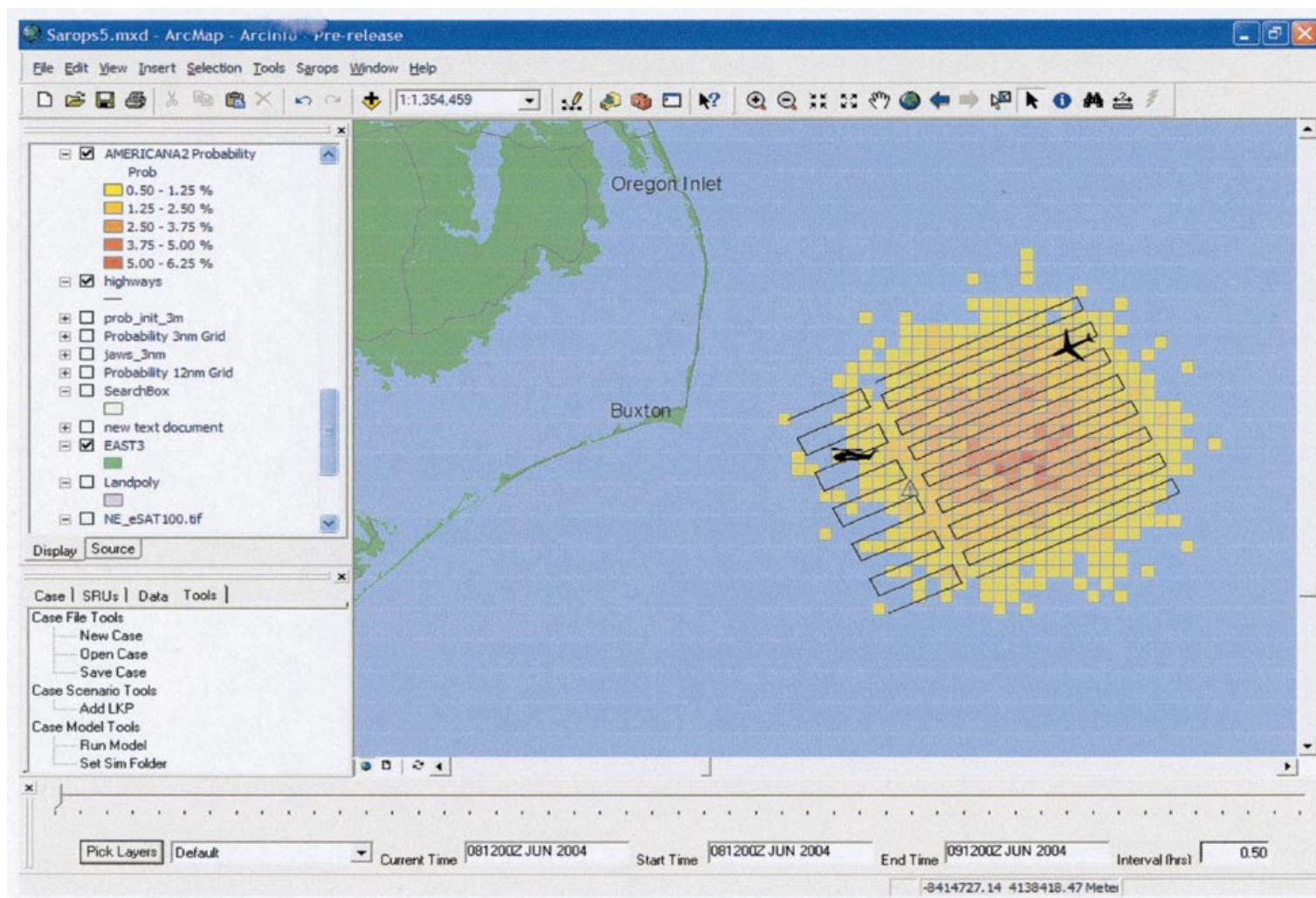
kmdr dr inż. Jerzy Pyrchla  
J.Pyrchla@amw.gdynia.pl

mgr inż. Agnieszka Zwirowicz  
agnieszka.zwirowicz@uwm.edu.pl





Rys. 3.  
Określenie  
optymalnego  
obszaru  
poszukiwań  
w programie  
SARMAP  
(źródło:  
USCG Rep.  
No CG-D-  
15-01)



Rys. 4. Rozwiązanie zadania poszukiwania w programie SAROPS USCG zaprezentowane na seminarium *Technologies for Search, Assistance and Rescue Seminar* we Francji w październiku 2004 r. (źródło: USCG Rep. No CG-D-15-01)