



AKADEMIA MORSKA  
W SZCZECINIE



Centrum Inżynierii Ruchu Morskiego

# LABORATORIUM METROLOGII

## Ćwiczenie 4

Analiza powtarzalności  
i odtwarzalności pomiarów  
na przykładzie pomiarów radarowych

---

Zespół wykonawczy:

Dr inż. Paweł Zalewski

## **Cel:**

Celem ćwiczenia jest zaznajomienie studentów z metodami analizy powtarzalności i odtwarzalności pomiarów.

## **Zagadnienia teoretyczne:**

- Znaczniki pomiarowe w radarach
- Dokładność odczytu znaczników pomiarowych w systemach radarowych (w tym EPA, ATA i ARPA) oraz w systemach ENC / ECDIS
- Błędy i dokładność pomiarów radarowych

## **Część wstępna:**

Część wstępna do ćwiczenia pierwszego powinna zawierać:

- Nagłówek w formie tabeli (Imię, Nazwisko, rok, grupa, numer i temat ćwiczenia, data wykonywania ćwiczenia)
- Cel ćwiczenia
- Opracowanie zagadnień teoretycznych na podstawie literatury przedmiotu, informacji zamieszczonych w niniejszej instrukcji oraz informacji zamieszczonych na stronie internetowej [www.cirm.am.szczecin.pl](http://www.cirm.am.szczecin.pl)
- Tabele pomiarowe

## **Uwagi dotyczące wykonania:**

- Do wykonania pomiaru należy przystąpić po dokładnym zapoznaniu się z działaniem i elementami obsługi systemów radarowych / ARPA w symulatorze CIRM.
- Pomiary wykonywane są w trzy lub czteroosobowych zespołach na trzech mostkach nawigacyjnych symulatora CIRM.
- Podczas pomiaru należy chronić sprzęt przed uszkodzeniem.

## **Uwagi dotyczące sprawozdania:**

Sprawozdanie powinno składać się z części wstępnej, tabel pomiarowych, opracowania wyników z wykonanego ćwiczenia oraz brudnopisu z podpisem prowadzącego zajęcia. Termin oddania sprawozdania mija po dwóch tygodniach od daty wykonania ćwiczenia.

## 1. Powtarzalność i odtwarzalność pomiarów

Istotnymi pojęciami związanymi z metodami diagnozowania procesów i oceny ich bezpieczeństwa oraz z analizą jakości systemu pomiarowego (MSA) są powtarzalność i odtwarzalność pomiaru.

Powtarzalność (ang. **repeatability**) to według VIM stopień zgodności kolejnych wyników pomiarów tej samej wielkości mierzonej, wykonywanych w tych samych warunkach pomiarowych. Warunki powtarzalności obejmują:

- tę samą procedurę pomiarową,
- tego samego obserwatora,
- ten sam przyrząd pomiarowy stosowany w tych samych warunkach,
- to samo miejsce,
- powtarzanie w krótkich odstępach czasu.

Odtwarzalność (ang. **reproducibility**) to według VIM stopień zgodności wyników pomiarów tej samej wielkości mierzonej, wykonywanych w zmienionych warunkach pomiarowych. Warunki, które mogą podlegać zmianom to m.in. metoda pomiarowa, osoba wykonująca pomiar, przyrząd pomiarowy, wzorce, warunki otoczenia, czas.

Zmienność wynikającą z błędu metody pomiarowej  $\sigma_m$  można przypisać właśnie tym dwóm czynnikom – odtwarzalności  $\sigma_o$  i powtarzalności  $\sigma_p$ . Wartość błędu metody pomiarowej lub przyjętego systemu pomiarowego (ang. *R&R*) można wyznaczyć przy pomocy wzoru:

$$\sigma_m = R\&R = \sqrt{\sigma_o^2 + \sigma_p^2}$$

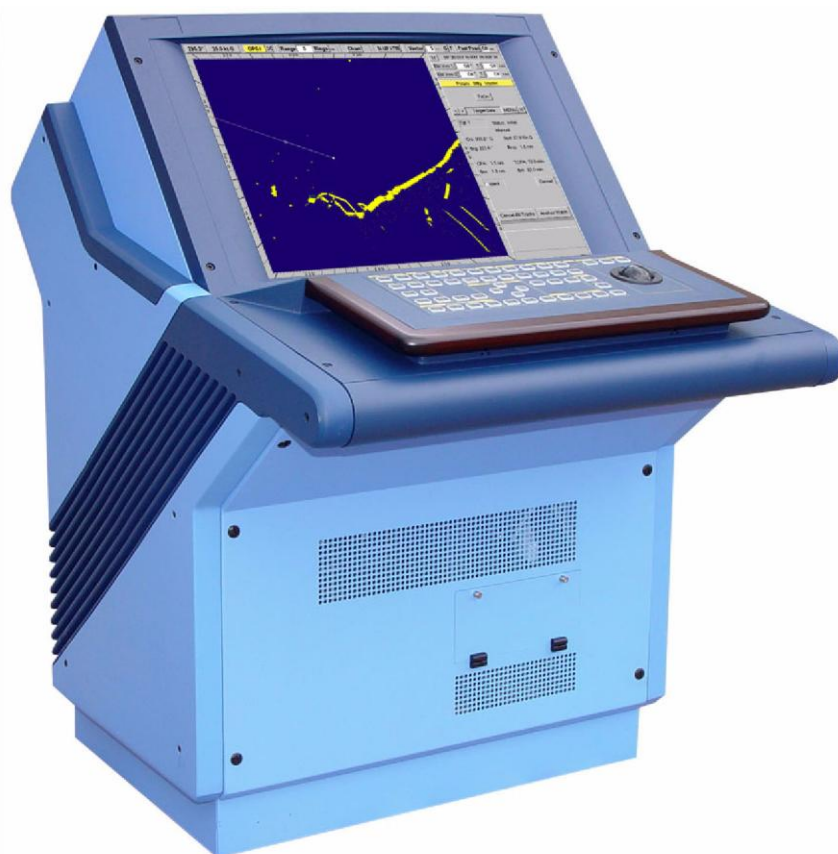
Celem eksperymentów dotyczących określenia powtarzalności i odtwarzalności jest podział zmienności pomiarów stosownie do:

- mierzonych elementów lub części (wariancja międzygrupowa),
- pomiarów operatora (odtwarczalność),
- błędów pomiarów w ciągu kilkunastu pomiarów.

Procedura określenia powtarzalności i odtwarzalności pomiarów zamieszczona została w prezentacji wykładowej na stronie [www.cirm.am.szczecin.pl](http://www.cirm.am.szczecin.pl).

## 2. Pomiar w systemie ARPA Kongsberg DataBridge 10

Konsola ARPA Kongsberg DataBridge 10 (rys. 1) jest rzeczywistym wskaźnikiem systemu radarowego stosowanego na statkach morskich. Umożliwia on pomiary odległości i kierunków (kątown) przy pomocy kręgów stałych (*Range Rings*), kręgów ruchomych (*VRM - Variable Range Marker*), elektronicznych linii namiarowych (*EBL - Electronic Bearing Line*) i kursora (*marker*).



Rys. 1. Panel operatora i wskaźnik radarowy na konsoli Kongsberg DataBridge 10.

Obsługa znaczników pomiarowych w systemie ARPA Kongsberg DataBridge 10:

|   |                              |
|---|------------------------------|
| M | 59° 27.888' N 010° 29.165' E |
| M | 063.9° 3.51 nm               |

**Marker** / kursor: Zmiana położenia następuje poprzez ruch trackballa. Wciskając softkey (przycisk emulowany ekranowo) **M** zmieniana jest informacja o położeniu markera ze współrzędnych namiaru / odległości na szerokość / długość geograficzna.

|          |     |        |   |
|----------|-----|--------|---|
| Ebl Vrm1 | OFF | OFF nm | T |
| Ebl Vrm2 | OFF | OFF nm | T |

**EBL/VRM**: Wciskając softkey **Ebl Vrm 1** i **Ebl Vrm 2** następuje włączenie / wyłączenie odpowiedniej elektronicznej linii namiarowej / ruchomego kręgu odległości. Przyciski **T** / **R** przełączają pomiędzy namiarem a kątem kursowym. Położenie EBL/VRM zmienia się poprzez wciśnięcie przycisku **Select**, gdy kursor jest na znaczniku i ruch trackballa lub poprzez wpisanie wartości w pola edycyjne.



**Select**: Dwa przyciski na konsoli: obok trackballa oraz w grupie **Marker/Tools**, stosowane są do wyboru obiektu lub wprowadzenia wartości w polu edycyjnym. Wciskając **Ebl Vrm 1** i **Ebl Vrm 2** następuje włączenie /

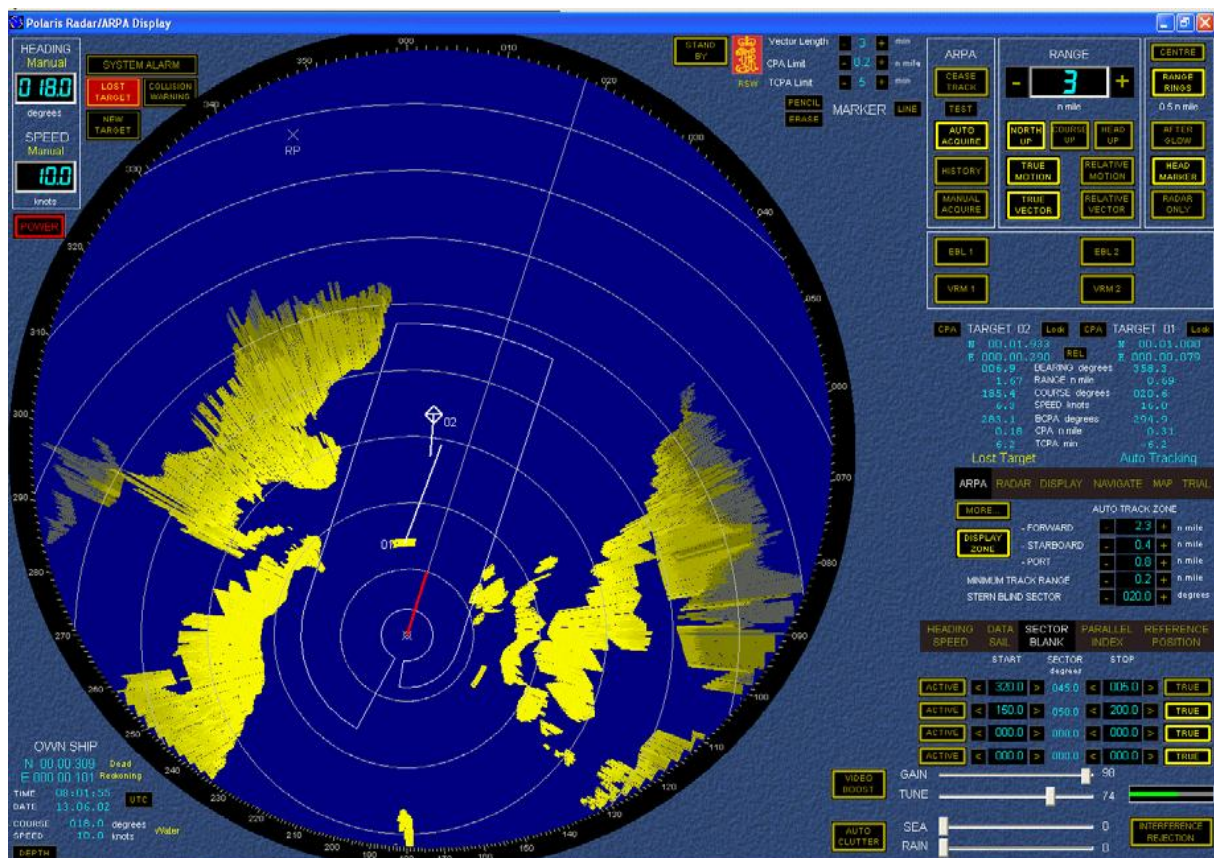
wyłączenie odpowiedniej elektronicznej linii namiarowej / ruchomego kręgu odległości.



**Range rings:** Wciskając softkey **Rings** następuje włączenie / wyłączenie kręgów stałych. Odległość pomiędzy kręgami stałymi zależna jest od wybranego zakresu.

### 3. Pomiar w systemie Kongsberg Polaris Radar / ARPA

Wskaźnik radarowy Kongsberg Polaris Radar/ARPA jest symulowanym komputerowo wskaźnikiem systemu radarowego spełniającego kryteria pracy radaru / ARPA zawarte w rezolucjach IMO (Międzynarodowej Organizacji Morskiej). Umożliwia on pomiary odległości i kierunków (kątów) przy pomocy kręgów stałych, kręgów ruchomych, elektronicznych linii namiarowych i kursora.



Rys. 2. Wskaźnik radarowy Kongsberg Polaris Radar/ARPA.

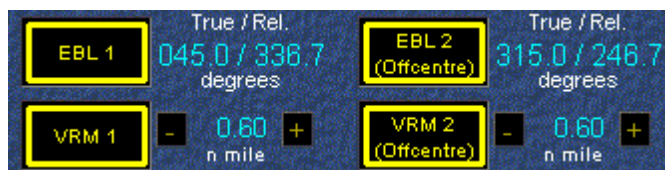
Obsługa znaczników pomiarowych w systemie ARPA Kongsberg Polaris:



**MARKER** / kursor: Zmiana położenia następuje poprzez ruch trackballa. Gdy marker jest w obrębie wskaźnika radarowego (PPI) w prawym górnym rogu wyświetlana jest jednocześnie informacja o położeniu markera we współrzędnych biegunowych namiaru / odległości oraz geograficznych (przy



załączonym GPS).



Dwie EBL i dwa VRM mogą być wyświetlone poprzez wciśnięcie odpowiednich softkey po prawej stronie obrazu radarowego. **EBL 1 / VRM 1** są wyświetlane jako linie ciągłe, a **EBL 2 / VRM 2** jako przerywane.



Softkey **Range Rings** włącza i wyłącza kręgi stałe. Odległość pomiędzy kręgami wyświetlana jest poniżej przycisku, gdy jest on uaktywniony. Odległość pomiędzy kręgami stałymi zależna jest od wybranego zakresu.

#### 4. Przebieg pomiarów i opracowanie wyników

- 1) Dokonać trzech serii (dla zmienionych warunków hydrometeorologicznych i znaczników pomiarowych) po 10 pomiarów do wskazanego przez prowadzącego echa przy pomocy znaczników pomiarowych namiaru i odległości kolejno przez studentów (operatorów) znajdujących się na mostku symulatora nawigacyjno-manewrowego.
- 2) Wypełnić wynikami pomiarów tabelę według wzoru na str. 8 i dołączyć do arkusza sprawozdania.
- 3) Oszacować wartość powtarzalności  $\sigma_p$  (odpowiednio dla  $m$  = ilość pomiarów w serii i  $g$  = ilość operatorów przemnożona przez ilość serii) i odtwarzalności  $\sigma_o$  (odpowiednio dla  $m$  = ilość operatorów i  $g$  = 1) wyznaczając odpowiednie  $d_2$  z tabeli statystycznej na stronie 9.
- 4) Sformułować wnioski dotyczące procesu pomiaru oceniając wpływ / dominację powyższych czynników zmienności pomiarów.

## 5. Tabela pomiarowa

| Seria 1-10 | Pomiar | $x_{av}$ | $R$ | Seria 2-10             | Pomiar   | $x_{av}$            | $R$                    |
|------------|--------|----------|-----|------------------------|----------|---------------------|------------------------|
| 1.         |        |          |     | 1.                     |          |                     |                        |
| 2.         |        |          |     | 2.                     |          |                     |                        |
| 3.         |        |          |     | 3.                     |          |                     |                        |
| 4.         |        |          |     | 4.                     |          |                     |                        |
| 5.         |        |          |     | 5.                     |          |                     |                        |
| 6.         |        |          |     | 6.                     |          |                     |                        |
| 7.         |        |          |     | 7.                     |          |                     |                        |
| 8.         |        |          |     | 8.                     |          |                     |                        |
| 9.         |        |          |     | 9.                     |          |                     |                        |
| 10.        |        |          |     | 10.                    |          |                     |                        |
| Seria 3-10 | Pomiar | $x_{av}$ | $R$ | $\overline{x_{av}}$    | $R_{av}$ | $\overline{R_{av}}$ | $\overline{x_{avmax}}$ |
| 1.         |        |          |     |                        |          |                     |                        |
| 2.         |        |          |     |                        |          |                     |                        |
| 3.         |        |          |     |                        |          |                     |                        |
| 4.         |        |          |     |                        |          |                     |                        |
| 5.         |        |          |     |                        |          |                     |                        |
| 6.         |        |          |     | $\overline{x_{avmin}}$ |          | $\sigma_o$          | $\sigma_p$             |
| 7.         |        |          |     |                        |          |                     |                        |
| 8.         |        |          |     |                        |          |                     |                        |
| 9.         |        |          |     |                        |          |                     |                        |
| 10.        |        |          |     |                        |          |                     |                        |



## 6. Tabela statystyczna wartości $d_2$

| $d_2$ |     | $m$   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       |     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    |
| $g$   | 1   | 1,41  | 1,91  | 2,24  | 2,48  | 2,67  | 2,83  | 2,96  | 3,08  | 3,18  | 3,27  | 3,35  | 3,42  | 3,49  | 3,55  |
|       | 2   | 1,28  | 1,81  | 2,15  | 2,40  | 2,60  | 2,77  | 2,91  | 3,02  | 3,13  | 3,22  | 3,30  | 3,38  | 3,45  | 3,51  |
|       | 3   | 1,23  | 1,77  | 2,12  | 2,38  | 2,58  | 2,75  | 2,89  | 3,01  | 3,11  | 3,21  | 3,29  | 3,37  | 3,43  | 3,50  |
|       | 4   | 1,21  | 1,75  | 2,11  | 2,37  | 2,57  | 2,74  | 2,88  | 3,00  | 3,10  | 3,20  | 3,28  | 3,36  | 3,43  | 3,49  |
|       | 5   | 1,19  | 1,74  | 2,10  | 2,36  | 2,56  | 2,73  | 2,87  | 2,99  | 3,10  | 3,19  | 3,28  | 3,35  | 3,42  | 3,49  |
|       | 6   | 1,18  | 1,73  | 2,09  | 2,35  | 2,56  | 2,73  | 2,87  | 2,99  | 3,10  | 3,19  | 3,27  | 3,35  | 3,42  | 3,49  |
|       | 7   | 1,17  | 1,73  | 2,09  | 2,35  | 2,55  | 2,72  | 2,87  | 2,99  | 3,10  | 3,19  | 3,27  | 3,35  | 3,42  | 3,48  |
|       | 8   | 1,17  | 1,72  | 2,08  | 2,35  | 2,55  | 2,72  | 2,87  | 2,98  | 3,09  | 3,19  | 3,27  | 3,35  | 3,42  | 3,48  |
|       | 9   | 1,16  | 1,72  | 2,08  | 2,34  | 2,55  | 2,72  | 2,86  | 2,98  | 3,09  | 3,18  | 3,27  | 3,35  | 3,42  | 3,48  |
|       | 10  | 1,16  | 1,72  | 2,08  | 2,34  | 2,55  | 2,72  | 2,86  | 2,98  | 3,09  | 3,18  | 3,27  | 3,34  | 3,42  | 3,48  |
|       | 11  | 1,16  | 1,71  | 2,08  | 2,34  | 2,55  | 2,72  | 2,86  | 2,98  | 3,09  | 3,18  | 3,27  | 3,34  | 3,41  | 3,48  |
|       | 12  | 1,15  | 1,71  | 2,07  | 2,34  | 2,55  | 2,72  | 2,85  | 2,98  | 3,09  | 3,18  | 3,27  | 3,34  | 3,41  | 3,48  |
|       | 13  | 1,15  | 1,71  | 2,07  | 2,34  | 2,55  | 2,72  | 2,85  | 2,98  | 3,09  | 3,18  | 3,27  | 3,34  | 3,41  | 3,48  |
|       | 14  | 1,15  | 1,71  | 2,07  | 2,34  | 2,54  | 2,71  | 2,85  | 2,98  | 3,08  | 3,18  | 3,27  | 3,34  | 3,41  | 3,48  |
|       | 15  | 1,15  | 1,71  | 2,07  | 2,34  | 2,54  | 2,71  | 2,85  | 2,98  | 3,08  | 3,18  | 3,26  | 3,34  | 3,41  | 3,48  |
|       | >15 | 1,128 | 1,693 | 2,059 | 2,326 | 2,534 | 2,704 | 2,847 | 2,970 | 3,078 | 3,173 | 3,258 | 3,336 | 3,407 | 3,472 |

Źródło: Chrysler, Ford, General Motors, "Measurement System Analysis", (2d ed.), Southfield, MI, Automotive Industry Action Group, 1998 oraz Statsoft®, 2002.