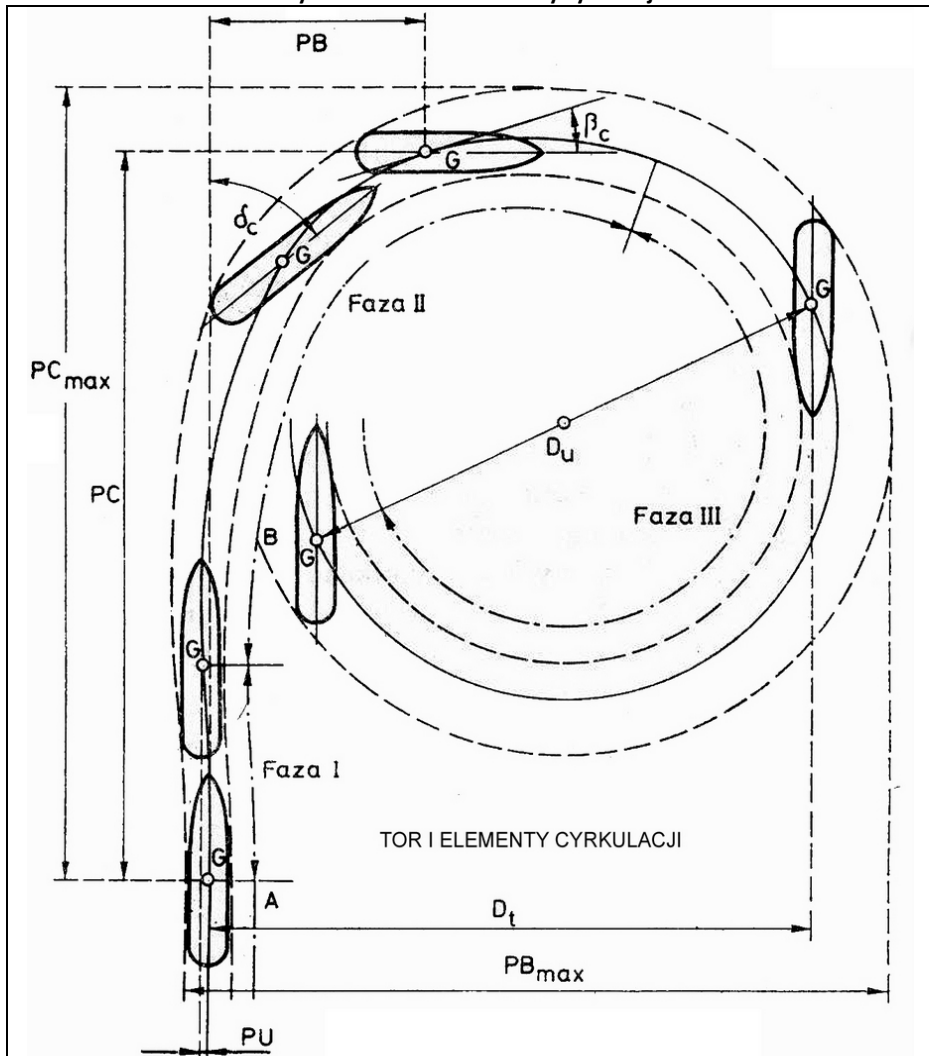


Rysunek 37 - Tor i elementy cyrkulacji



Możemy wyróżnić następujące fazy cyrkulacji:

### Faza I cyrkulacji

– początek cyrkulacji – moment wychylenia steru  
Statek na pełnej szybkości marszowej (lub PN) i wychylenie steru do położenia wymaganego ( $35^\circ$  lub  $15^\circ$ ).

- powstaje siła hydrodynamiczna naruszająca stan równowagi z przed rozpoczęcia manewru
- przeciwdziałanie siły bezwładności kursowej powodujące wychylenie się statku przeciwnie do wychylonego steru
- statek nie zmienia kursu, lecz maleje jego prędkość początkowa (do 10%)
- czas trwania tej fazy jest zależna od wielkość statku (od 0,05 – 1 minuty).

### **Faza II cyrkulacji**

---

- moment, kiedy statek zaczyna zmieniać kurs
- linia symetrii statku odchyła się od kierunku wyznaczonego styczną do krzywizny toru środka ciężkości, tworząc wzrastający kąt dryfu
- prędkość statku nadal maleje
- zwiększa się prędkość kątowna zwrotu
- promień krzywizny spirali początkowej maleje
- zmiany powyższych parametrów trwają do momentu wyrównania się sił hydrostatycznych
- ekstremalne wielkości powyższych parametrów są proporcjonalne do zwrotności statku, a więc do średnicy cyrkulacji.
- czas trwania tej fazy waha się, w zależności od wielkości statku, od 1 do 3 minut.
- w tej fazie statki zmieniają kurs od 40° do 160°

### **Faza III cyrkulacji**

---

- ustalona - moment, kiedy siły hydrostatyczne osiągną stan równowagi
- kąt dryfu stały
- prędkość kątowna stała
- szybkość liniowa stała
- promień krzywizny stały
- koniec cyrkulacji następuje w momencie wejścia statku na ten sam kurs, z którego rozpoczęto manewr, czyli po zwrocie o 360°.

Wielkość średnicy cyrkulacji jest wprost proporcjonalna do prędkości liniowej, stąd im większa prędkość statku tym większa

cyrkulacja, a średnica cyrkulacji jest odwrotnie proporcjonalna do prędkości kątowej. Stąd, im większa prędkość kątowa zwrotu, tym mniejsza cyrkulacja.

### Średnica cyrkulacji ustalonej

Mianem ŚREDNICY CYRKULACJI USTALONEJ „Du” oznacza się średnicę okręgu wyznaczonego przez środek ciężkości statku w fazie cyrkulacji ustalonej. Wskaźnik zwrotności statku „K” jest stosunkiem „Du” do „L” (długości statku między pionami),  $K = Du/L$ .

Wartość tego współczynnika dla przeciętnego statku wynosi od 3 do 4. Dla oceanicznych statków pasażerskich wynosi, ponad 7, ale dla holowników może osiągać wartość 2, a nawet i mniejszą.

We wszystkich tych rozważaniach bierzemy pod uwagę działanie tylko napędu zasadniczego jak i podstawowego urządzenia sterowego.

**Tabela 20 - Przykładowe parametry cyrkulacji przy prędkości morskiej (CN) i sterze wychylonemu na prawą burtę (PB - 35)**

T (min)	KD (°)	PC (m)	PB (m)	v (węzły)	n (obr/min)
0	0	0	0	16	120
1	35	455	20	14,1	119
2	95	795	265	12	112
3	150	800	610	9,8	109
4	200	630	755	8,1	107
5	250	410	730	7,6	106
6	295	265	530	7,6	106
7	342	340	300	7,6	106
8	360	540	220	7,6	106

Tabela cyrkulacji, zgodnie z przepisami, winna być uwidoczniona na mostku wraz z tabelą manewrową statku – jest jej integralną częścią.

Przedstawiony rysunek CS-002 pokazuje zależność między promieniem cyrkulacji ustalonej  $D_u$ , kątem dryfu na cyrkulacji  $\beta_c$ , środkiem ciężkości statku  $G$ , biegunem obrotu  $P$  oraz szerokością śladu torowego cyrkulacji.

W wyniku działania sił hydrodynamicznych, powodujących zwrot, linia symetrii statku odchyła się od kierunku wyznaczonego styczną do krzywizny toru. Jednakowy kierunek odchylenia

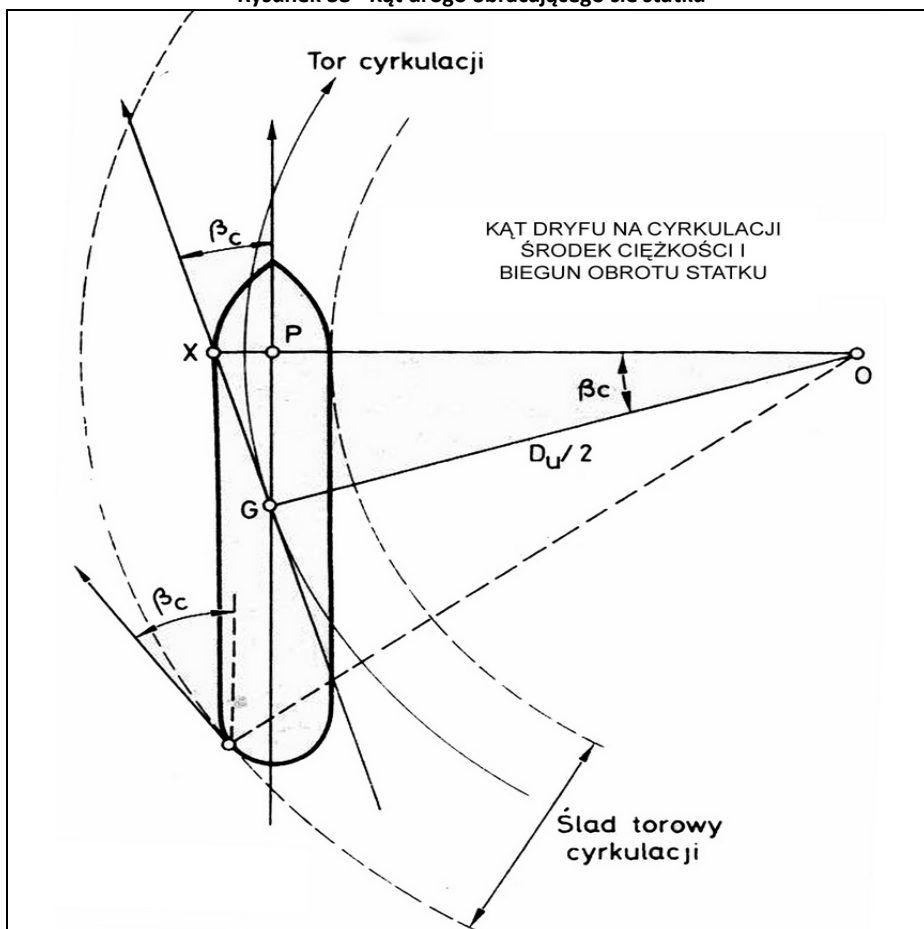
powoduje to, że dziób przemieszcza się wewnętrzną stroną toru a rufa zewnętrzną. Kąt pomiędzy styczną do krzywizny toru a linią symetrii statku nazywamy kątem dryfu ( $\beta_c$ ). Z rysunku wyraźnie widać, że na rufie mamy doczynienia z większym a na dziobie z mniejszym kątem dryfu. Kąt dryfu dla całego układu to kąt mierzony względem punktu ciężkości statku – punktu wyznaczającego zasadniczy tor cyrkulacji.

Rys.CS002 pokazuje też, że styczna do toru cyrkulacji w punkcie G jest prostopadła do promienia cyrkulacji. Można stąd łatwo wyprowadzić zależności, które pozwalają określić kąt dryfu ( $\beta_c$ )

$$\angle PGO = 90^\circ - \angle XGP = 90^\circ - \beta_c$$

$$\angle PGO + \angle GOP + 90^\circ = 180^\circ$$

Rysunek 38 - Kąt drogo obracającego się statku



Podstawienie obu zależności pozwala na stwierdzenie, że  $\cdot GPO = \beta c$ , a więc kąt między promieniem cyrkulacji przechodzącym przez środek ciężkości wodnicy a promieniem przechodzącym przez biegun obrotu jest równy kątowi dryfu —  $\sin\beta c = 2PG/Du^2$

Wnioski z powyższego są takie:

- kąt dryfu na cyrkulacji jest wprost proporcjonalny do odległości PG – wzrasta zatem wraz ze wzrostem odległości między środkiem ciężkości statku a biegunem obrotu.

- kąt dryfu jest odwrotnie proporcjonalny do Du, wzrasta więc wraz ze zmniejszeniem średnicy cyrkulacji ustalonej.

Z rysunku CS002 można wywnioskować następujące zależności określające elementy cyrkulacji:

$$PG = Rc \sin\beta c;$$

$$PG = Vc\beta c/\omega c;$$

Gdzie: PG = odległość bieguna obrotu od środka ciężkości wodnicy w dowolnym momencie cyrkulacji;

Rc = promień krzywizny toru cyrkulacji;

$\beta c$  = kąt dryfu na cyrkulacji;

Vc = prędkość liniowa na cyrkulacji;

$\omega c$  = prędkość kątowa cyrkulacji.

Z powyższego wynika, że wielkość średnicy cyrkulacji jest wprost proporcjonalna do prędkości liniowej statku, stąd im większa szybkość to i większy promień cyrkulacji.

**Tabela 21 - Wielkość kąta dryfu - Cyrkulacja a kąt wychylenia steru**

Du/L	$\beta c$ [°]	KĄT WYCHYLENIA STERU	JA "Dt" w % "Dt"
2	38	35	100
3	31	30	110
4	25	25	123
5	20	20	140
6	15	15	165
7	11	10	200
8	8	5	235
9	5		
10	3		
11	3		
12	2		
13	2		

Wielkość średnicy cyrkulacji jest odwrotnie proporcjonalna do prędkości kątowej, stąd im większa średnica cyrkulacji tym mniejsza prędkość kątowa.

Dla cyrkulacji ustalonej prawdziwe są też zależności:

$$\omega(^{\circ}/s) = 114,6Vc/Du;$$

$$\omega(^{\circ}/min) = 6,876Vc/Du;$$

$$t(360^{\circ}) = 314Du/Vc;$$

Gdzie:

$\omega(^{\circ}/s)$  = prędkość kątowa cyrkulacji;

$\omega(^{\circ}/min)$  = prędkość kątową na cyrkulacji ustalonej;

$t(360^{\circ})$  = czas zwrotu o  $360^{\circ}$  w warunkach cyrkulacji

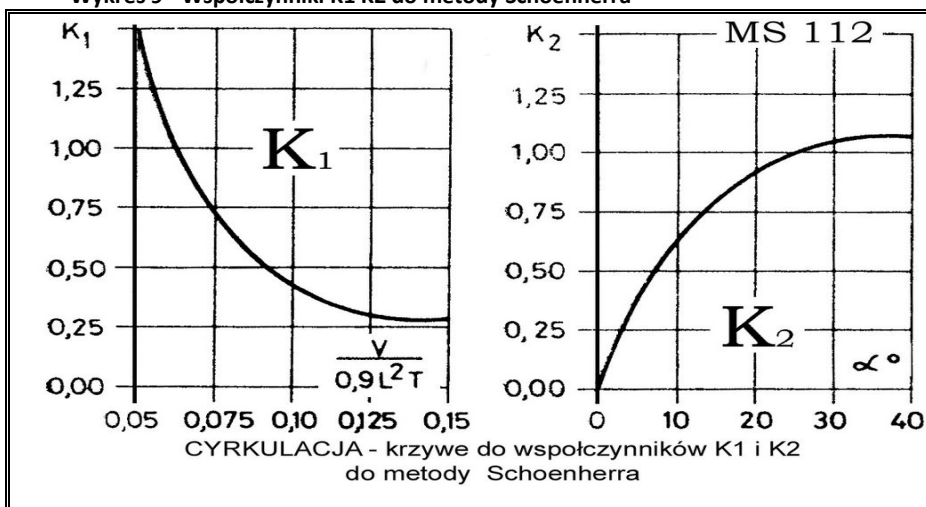
ustalonej;

$Vc$  = prędkość liniowa na cyrkulacji ustalonej;

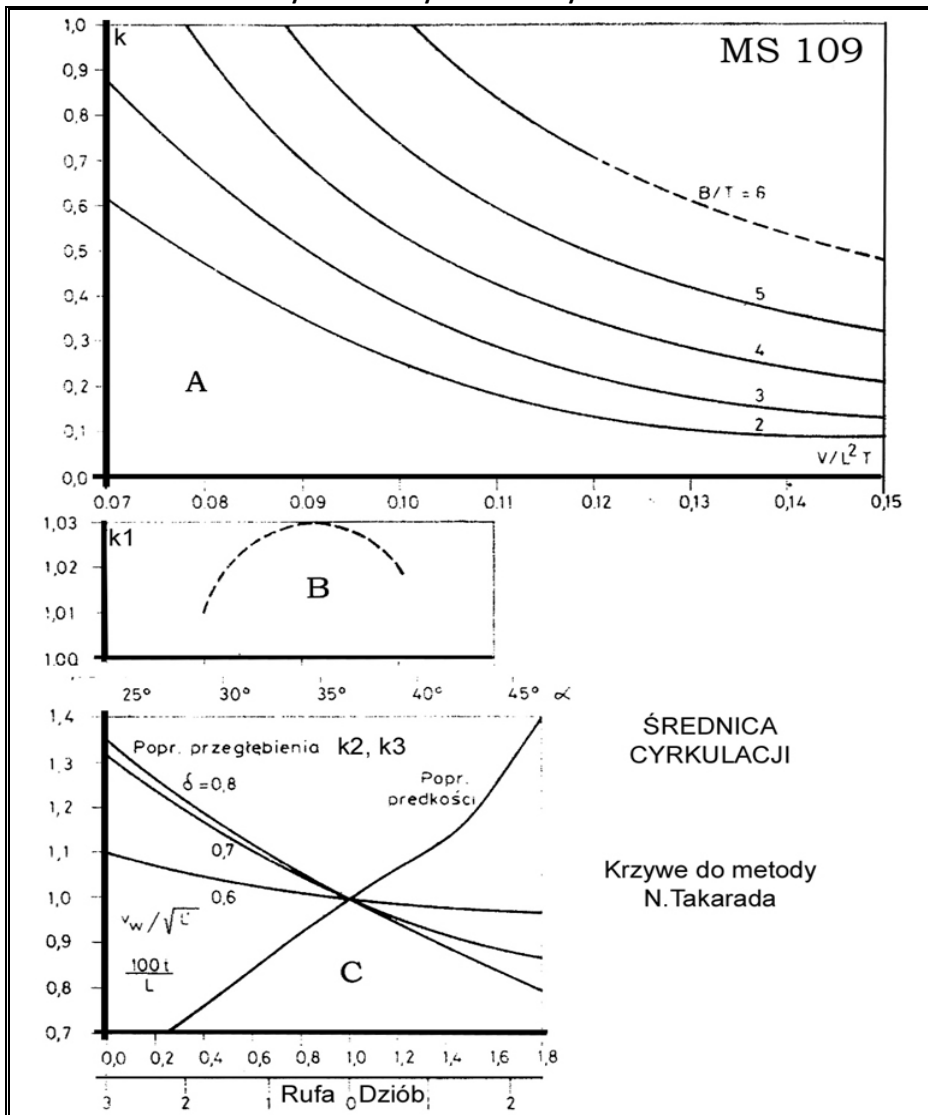
$Du$  = średnica cyrkulacji ustalonej

Próby wykazały, że wzrost szybkości kątowej podczas zwrotu ma niejednostajny przebieg. Całość zmian odbywa się w drugiej fazie cyrkulacji – początkowo szybkość kątowa jest niewielka aż osiąga maksymalną wielkość w końcówce drugiej fazy – na granicy z fazą trzecią gdzie jest ta szybkość zmiany już ustalona. W praktyce okazało się, że szybkość kątowa w trzeciej fazie cyrkulacji jest minimalnie mniejsza od maksymalnej szybkości kątowej mierzonej w ostatnim momencie fazy drugiej.

Wykres 9 - Współczynniki K1 K2 do metody Schoenherra



Wykres 10 - Krzywe do metody Takarada



Próby i analizy wyników wykazały, że:

— prędkość kątowna i jej zmiany są tylko w nieznacznym stopniu zależne od stanu załadowania.

— wzrost prędkości kątownej następuje podczas pierwszej fazy zwrotu – kąty 30°-60°, po czym obserwuje się powolny spadek aż do 330°-360°.

— powyższe zmiany prędkości kątownej są wynikiem zmian szybkości liniowej statku.

Do obliczenia parametrów cyrkulacji, możemy posłużyć się dwoma metodami, które dają dostatecznie dobre wyniki.

Metoda K.E.Schoenherra - Metoda została opracowana na podstawie uproszczonej teorii dynamiki zwrotu podczas prób dwuśrubowych okrętów wojennych, dlatego też ma raczej zastosowanie do statków handlowych o małych współczynnikach pełnotliwości kadłuba i dużych szybkościach – statki pasażerskie, ekspresowce.

Podstawowe zależności w tej metodzie, to:  $Du = 2K1V/K2S$ ;  $K1$  w zależności od wyrażenia  $V/0,9L^2T$ ; Współczynniki  $K1$  i  $K2$  pobieramy ze specjalnych diagramów do metody K.E.Schoenherra.

Metoda N.Takarada - metoda opracowana na podstawie prób rzeczywistych i modelach z własnym napędem. W metodzie tej wykorzystuje się następujące zależności:  $Dt = 2kV/k1S$ ; Współczynnik „k” z krzywych do metody według wskaźników:  $V/L^2T$ ;  $B/T$ . Warunki:  $Vw/\sqrt{L'} = 1,0$ ;  $100t/L = 0$ . Gdzie:  $Vw$  = prędkość początkowa [wezły];  $L'$  = długość między pionami [stopy];  $t$  = przegłębienie [m];  $L$  = długość między pionami [m].

Obie metody w praktyce dla współczesnego nawigatora są mało przydatne. Sygnalizują ich istnienie, gdyż na wielu statkach w dokumentacji można znaleźć stosowne do tych metod wykresy jak i instrukcje ich wykorzystania.

Współcześnie wszelkie obliczenia cyrkulacji, poza empirią, robi się za pomocą specjalnych programów komputerowych, często opartych na powyższych metodach. W pakiecie statkowych programów komputerowych, w które coraz częściej wyposażane są statkowe komputery, istnieją aplikacje do rozwiązywania tych problemów, tak jak programy do stateczności, nawigacyjne, balastowe, sztauerskie czy inne.

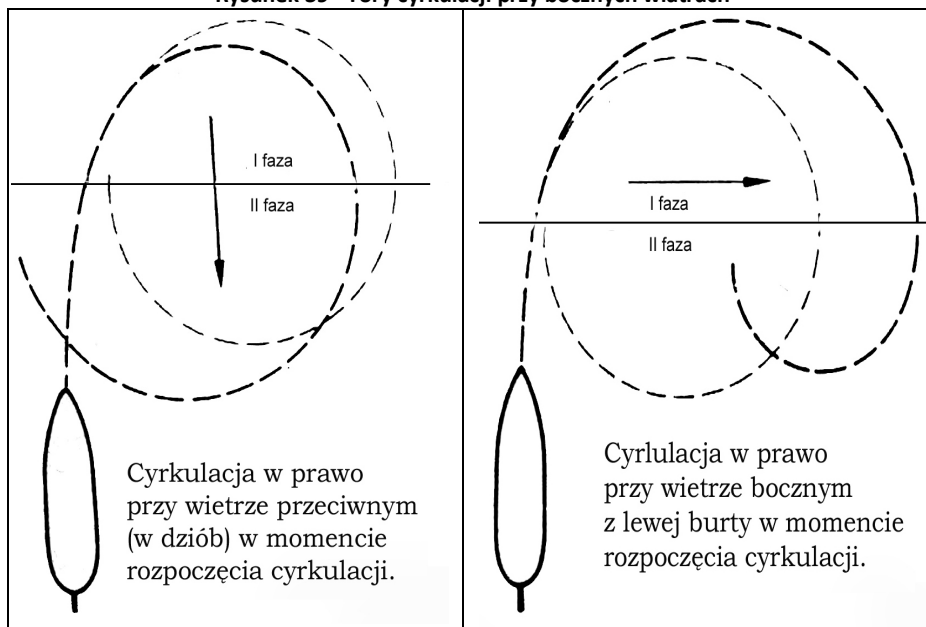
Wszystkie niezbędne w praktyce parametry cyrkulacji są dostępne na każdym statku w widocznym miejscu i każdy nawigator winien starannie się z nimi zapoznać zaraz po zamustrowaniu.

Wiedza o cyrkulacji statku, na jakim żeglujemy jest niezmiernie ważna, gdyż w oczywisty sposób określa nam możliwość zwrotu i wielkość potrzebnego do manewru miejsca. Należy przy tym pamiętać, że teoretyczne wielkości cyrkulacji nie zawsze pokrywają się w praktyce, a to głównie za sprawą warunków hydrometeorologicznych.

Jeżeli będziemy robili zwrot na wiatr i pod prąd, to rzeczywista przestrzeń potrzebna do zwrotu będzie mniejsza. Z wiatrem i prądem poniesie nas dużo dalej niż wynikałoby to z mostkowej tabeli.

Zawsze podejmując decyzję o całkowitym zwrocie na określonym akwencie musimy przeanalizować wzajemne relacje lokalnego prądu i wiatru – czy znoszą się, czy dodają - jaki jest rzeczywisty wypadkowy znos.

Rysunek 39 - Tory cyrkulacji przy bocznych wiatrach

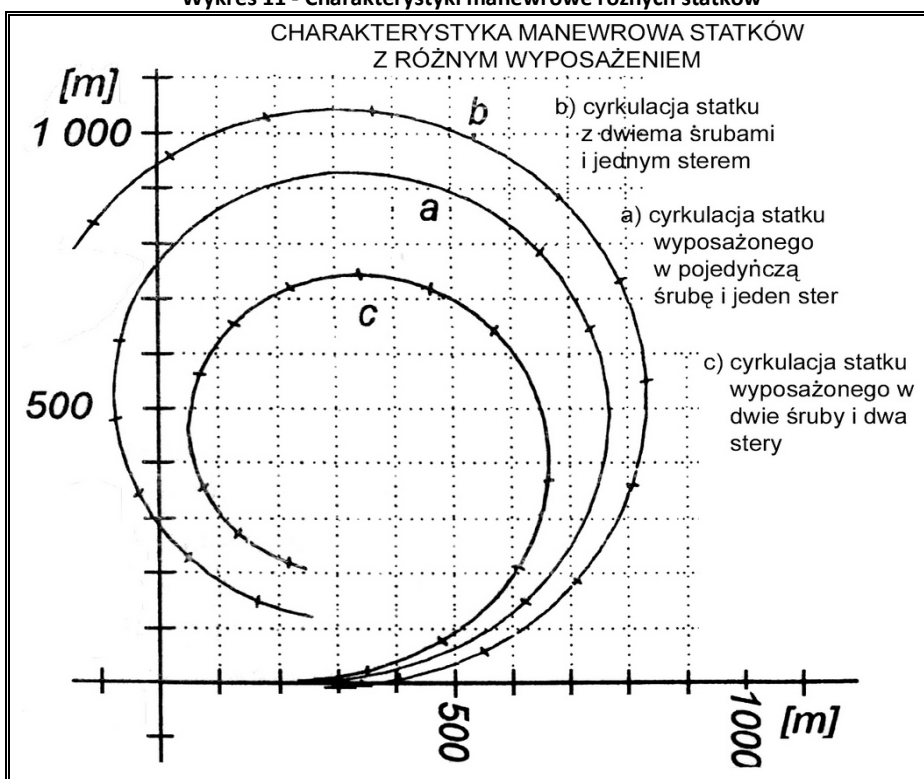


Pamiętać również należy, że na statkach konwencjonalnych (klasycznych, o prawoskrętnej stałej śrubie) cyrkulacja na lewą burtę będzie wspomagana przez efekt bocznego działania śruby, a więc cyrkulacja w lewo będzie mniejsza od cyrkulacji w prawo.

Wielkość cyrkulacji zależna jest również od wyposażenia statku – od jego układu napędowego. Największe cyrkulacje mają statki o dwóch klasycznych śrubach i jednym sterze, oczywiście, jeśli nie wykorzystują swoich dwóch śrub dla zacieśnienia zwrotu przez ich przeciwstawną pracę. Najciaśniejsze cyrkulacje mają statki dwuśrubowe mające dwa stery na przedłużeniu dwóch wałów śrubowych. Na tych statkach jest znacznie większa siła obracająca niż na statkach z klasycznym układem napędowym. Cyrkulację w zasadzie omawiamy dla statków o typowych napędach, gdyż wszelkie

modyfikacje pędników dla statków specjalnych znacznie zmieniają parametry cyrkulacji, które są tu zależne od systemu pędnika. Są przecież statki, które możemy obrócić na przestrzeni niewiele większej od ich długości. Statki o klasycznych układach napędowych mogą też być wspomagane urządzeniami dodatkowymi, takimi jak stery strumieniowe. Wszystkie te udogodnienia zwiększają walory manewrowe jednostki, ale my musimy zawsze znać parametry manewrowe statku takie, jakie miałby ten statek bez żadnych udogodnień. Jeżeli będziemy umieli manewrować statkiem klasycznym, to manewrowanie każdym innym będzie łatwiejsze.

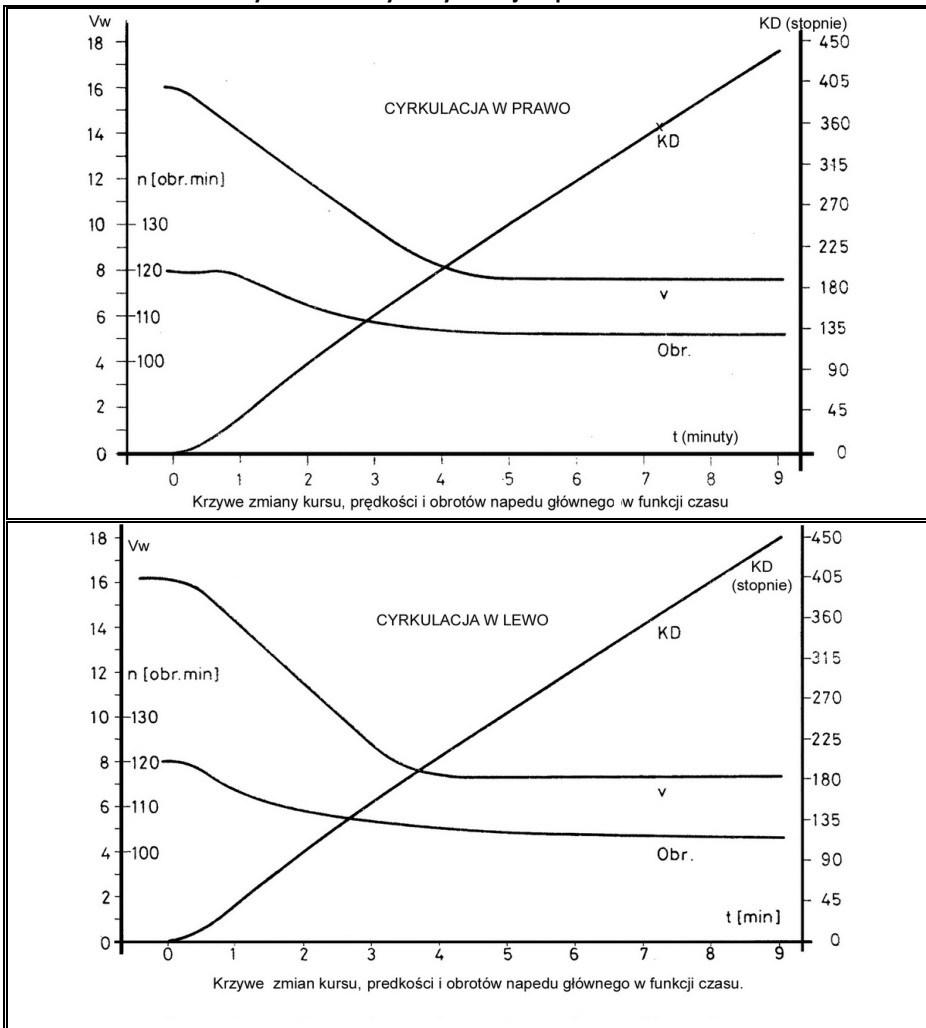
Wykres 11 - Charakterystyki manewrowe różnych statków



Wystarczy przeanalizować rysunki, wykresy i tabele, aby wyrobić sobie ogólny pogląd o możliwościach manewrowych różnych statków tak, co do wielkości obszaru cyrkulacji jak i do czasu jej wykonania. Jest to istotne dla nawigatora i z tego powodu, że żeglując w rejonie zagęszczonego ruchu statków winniśmy mieć choćby w przybliżeniu wiedzę o możliwościach manewrowych

statku, który jest w stosunku do nas w sytuacji kolizyjnej. To przybliżenie informacji często jest wystarczające do podjęcia właściwej decyzji, co do wzajemnego wyminięcia, wyprzedzenia czy podjęcia własnej decyzji względem zachowań innego statku. Oczywiście, że rzadko się zdarza, że mamy jakieś dokładniejsze informacje o przeciwnym statku, o jego układzie napędowym i dodatkowym wyposażeniu, ale jeżeli będziemy taki statek traktować jak statek o klasycznym układzie i bez dodatkowego wyposażenia, to zawsze będzie bezpieczniej.

**Wykres 12 - Krzywe cyrkulacji w prawo i w lewo**



**Tabela 22 - Czas potrzebny do wykonania zwrotu w zależności od wielkości statku**

Nośność [tys.t]	Wielkość kąta zwrotu					
	10	20	30	60	90	180
	Czas [min]					
5	0,1	0,2	0,4	0,9	1,7	3,4
10	0,2	0,4	0,6	1,1	1,9	3,6
20	0,4	0,6	0,8	1,2	2,1	3,8
40	0,5	0,8	1	1,4	2,2	4
60	0,5	0,8	1,1	1,5	2,3	4,2
80	0,6	0,9	1,1	1,6	2,4	4,4
100	0,6	0,9	1,2	1,7	2,5	4,6
120	0,7	1	1,2	1,8	2,6	4,8
140	0,7	1	1,3	1,9	2,7	5
160	0,7	1,1	1,4	2	2,8	5,2
180	0,8	1,1	1,5	2	2,9	5,4
200	0,8	1,2	1,6	2,1	3	5,6
220	0,8	1,2	1,6	2,2	3,1	5,8
240	0,8	1,2	1,6	2,2	3,2	6
260	0,8	1,2	1,6	2,2	3,3	6,2
280	0,7	1,2	1,6	2,2	3,4	6,4
300	0,7	1,1	1,6	2,2	3,5	6,6
320	0,7	1,1	1,5	2,2	3,6	6,8

**Tabela 23 - Wielkość całkowitej utraty szybkości początkowej w zależności od wielkości cyrkulacji**

K = Dt/L	Strata "V" w % "V" początkowej
2	70
3	58
4	46
5	37
6	29
7	23
8	18
9	15
10	12
11	10
12	8
13	7

## XV – CZŁOWIEK ZA BURTĄ

---

Życzę każdemu kapitanowi, każdemu oficerowi i każdemu, kto uprawia żeglugę, aby nigdy nie musiał wykonywać manewru „Człowiek za burtą”. Wypadnięcie człowieka za burtę w żegludze jest tym, co najgorszego może się przytrafić załodze każdego statku. Statystyki wskazują, że tylko niewielki procent akcji ratowniczych w takich wypadkach kończy się powodzeniem i podniesieniem z wody człowieka, który opuścił statek w niezamierzony sposób i w niestosownej chwili.

Okoliczności wypadnięcia człowieka za burtę są bardzo zróżnicowane i trudne do jakiegokolwiek klasyfikacji. Jedno jest oczywiste, że bez względu na sytuację, w jakiej znajduje się statek należy zrobić wszystko, aby ratować życie ludzkie.

Niezwykle pomocną w takich akcjach jest wiedza o właściwościach manewrowych statku i podstawowych procedurach, które zostały opracowane na bazie wieloletniej praktyki. Oczywiście jest, że na morzu stosowanie bezkrytycznie schematów i procedur może okazać się zgubne dla akcji, ale należy pamiętać też, że konieczność jakiegokolwiek odstępstwa od wypracowanych procedur zdarza się niezwykle rzadko, w sytuacjach daleko odbiegających od przeciętnych i najczęściej spotykanych. Aby świadomie postąpić inaczej niż zalecane metody, należy te zalecane procedury dobrze znać i potrafić logicznie wytłumaczyć niemożność ich zastosowania w konkretnych warunkach i sytuacji. W Izbach Morskich do najczęściej zadawanych pytań należy: „Dlaczego pan nie zastosował się do zaleceń – do dobrej praktyki morskiej?”

Jeżeli akcja zakończy się niepowodzeniem mimo zastosowania obowiązujących procedur, trudno podnieść przeciw kapitanowi jakikolwiek zarzut. Jeżeli zaś akcje poprowadzimy według własnego pomysłu i rezultat będzie negatywny, bez wątpienia zostanie postawiony bardzo poważny zarzut niewłaściwego postępowania w akcji „Człowiek za burtą” (MOB) i przyczynienia się do śmierci człowieka.

Powodzenie akcji ratowniczej zależne jest od bardzo wielu czynników, które tu postaram się omówić i poddać pod rozagę. W trudnych, tragicznych momentach, kiedy stwierdzamy wypadnięcie człowieka za burtę lub stwierdzamy kogoś nieobecność na statku, pewne czynności powinny być automatyzmem zawodowym bez