



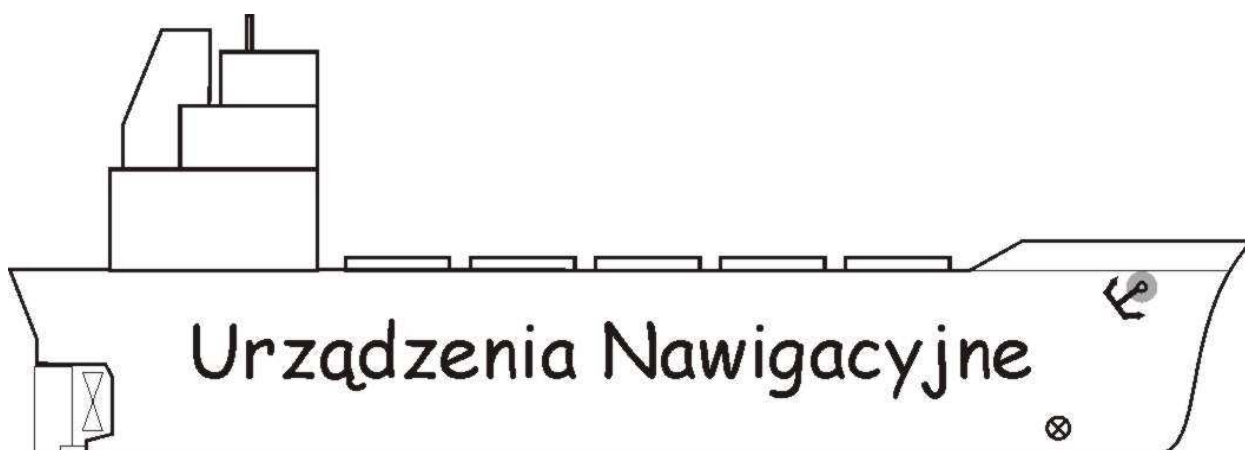
AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE

Instytut Inżynierii Ruchu Morskiego
Zakład Urządzeń Nawigacyjnych



Ćwiczenie nr 6

Regulacja autopilotów



Szczecin 2010

<http://irm.am.szczecin.pl> – zawsze najnowsza wersja tego opracowania

Autorzy:

Mgr inż. Maciej Gucma
Mgr inż. Jakub Montewka
Mgr inż. Marcin Przywarty
Mgr inż. Antoni Zieziula

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z parametrami regulacyjnymi autopilotów. Słuchacze zapoznają się z możliwościami zmiany parametrów regulacyjnych wpływających na sterowanie statkiem. Zadaniem do wykonania jest przeprowadzenie regulacji autopilota, rejestracja danych oraz przeprowadzenie odpowiedniej ich analizy.

2. Informacje wstępne. Wejściówka i sprawozdanie.

Przed ćwiczeniem zawsze jest wejściówka z wykonywanego w danym dniu ćwiczenia. Zakres przygotowania – te same zagadnienia co znajdują się w części wstępnej.

WARUNKIEM DOPUSZCZENIA DO ĆWICZENIA JEST POSIADANIE CZĘŚCI WSTĘPNEJ

SPRAWOZDANIA-

w przypadku braku cz. wstępnej: nieobecność i konieczność powtarzania ćwiczenia.

Sprawozdanie pisane na komputerze nie będą przyjmowane (nie dotyczy obróbki danych)

Sprawozdania piszmy indywidualnie!

Sprawozdanie składa się z 2 części:

- **Wstępnej** (posiadanie tej części jest warunkiem dopuszczenia do ćwiczenia);
- **Przebiegu ćwiczenia** (szczegóły patrz niżej) i dodatkowo:
 - Karty pomiarowej* podpisanej przez prowadzącego (w ćw. 6 wystarczy dyskietka);
 - Wniosków (**własnych!!!**)**

*)Na karcie pomiarowej (brudnopis z przebiegu ćwiczeń) notuje się wykonywane czynności – następnie przepisuje się je na czysto w sprawozdaniu.

****)Sprawozdania z wnioskami powtarzającymi się u innych studentów będą odrzucane!!!**

W **części wstępnej** należy zamieścić:

- Cel ćwiczenia;
- Metody sterowania statkiem morskim;
- Opis układu pomiarowego;
- Wskaźniki oceny jakości sterowania (dla symulacji ze wzorami);
- Zasadę działania automatycznego pilota ;
- Schemat blokowy automatycznej regulacji (rysunki);

- Równanie regulatora PID;
- Opis części regulatora PID (proporcjonalnej, całkującej i różniczkującej);

Na podstawie wykonanych zadań na zajęciach sporządzić drugą część sprawozdania [\(przebieg ćwiczenia\)](#) opisując poszczególne jego etapy:

- Opisać wszystkie wykonywane na ćwiczeniach czynności;
- Wykonać analizę otrzymanych wyników*
- Zamieścić wykresy i tabele z danymi,
- Sformułować wnioski.

* Analiza może być wykonana na papierze milimetrowym albo przy użyciu metod komputerowych (analiza np.: w programach Excel, Statistica czy Open Office). Otrzymane wyniki powinny zawierać przebiegi krzywych sterowania (wych. steru i odchyłka kursowa) dla wszystkich przejazdów i wariantów (w sumie **9** przebiegów; zawarte na 3 wykresach) i krzywe położenia wodnicy na akwenie (X od Y) (w sumie **9** przebiegów; zawarte na 3 wykresach). UWAGA – dane muszą być oryginalne {więc na grupę ćwiczeniową np.: 4 studentów przypada 1 zestaw danych} – **plagiaty będą surowo łapione!!!!**

Pamiętaj o zabraniu na zajęcia dyskietki 3,5'

(!) Pamiętaj o dołączeniu kompletnej karty pomiarowej, podpisanej przez prowadzącego

(!) Na końcu muszą się znaleźć wnioski – indywidualna relacja z przebiegu ćwiczenia.

wnioski powinny obejmować: własne uwagi dot.: obsługi urządzenia, komfortu pracy z interfejsem, sposobu prezentacji danych, itp.

Brak wniosków - sprawozdanie do poprawy,

Wnioski zapożyczone – sprawozdanie odrzucone;

Kompletne sprawozdania muszą być oddane na następne zajęcia – do prowadzącego, z którym odbywało się zajęcia.

Zaliczenie ćwiczenia składa się z:

- 1) Obecności na zajęciach;
- 2) Pozytywnej oceny z wejściówki;
- 3) Rozliczenia się ze sprawozdania;

3. Opis układu pomiarowego

Na wstępie opisano metody sterowania (należy pokrótce przedstawić je w sprawozdaniu) i funkcje autopilota Cetrek.

Sterowanie Automatyczne

W celu włączenia automatycznego sterowania należy wcisnąć przycisk . Urządzenie przechodzi na sterowanie automatyczne. Przy sterowaniu automatycznym wskaźnik pokazuje kurs zadany. Wprowadzanie nowego kursu zadanego odbywa się przy pomocy pokrętła umieszczonego pod wskaźnikiem kursu. Rys. 1.



Sterowanie Chwilowe (Awaryjne) – funkcja Dodge

Funkcję tą wykorzystujemy do chwilowej zmiany kursu. Aktywna jest ona tylko wówczas gdy włączone jest sterowanie automatyczne. Przy sterowaniu automatycznym wychylając joystick, powodujemy że ster wychyla się maksymalnie na tę burtę, na którą wychyliliśmy joystick. W momencie wyłączenia funkcji DODGE, statek powraca na kurs zadany jaki był wprowadzony do autopilota, omijając w ten sposób np.: przeszkodę. *UWAGA! Dodge działa tylko jak trzymamy joystick!!!*



Dodge nieaktywny



Dodge Aktywny

Sterowanie Ręczne

Pierwszy sposób sterowania

W celu wybrania sterowania ręcznego należy wcisnąć przycisk . Wskaźnik kursu będzie wskazywał kurs rzeczywisty. Sterowanie odbywa się poprzez pokrętło umieszczone pod wskaźnikiem kursu. Nie możemy zmieniać kursu a jedynie wychylać płetwę sterową!! Rys. 2 przedstawia wskaźnik (typu: bar) (umieszczony pod numerycznym wskazaniem kursu) informujący o wartości wychYLENIA steru. Dodatkowo ta informacja pojawi się na wskaźniku wych. płetwy sterowej.



Drugi sposób sterowania – sterowanie zewnętrznym urządzeniem sterowym

Należy wcisnąć zielony przycisk znajdujący się w prawym dolnym rogu symulatora nad dźwignią sterowania. Sterowanie odbywa się nadążnie poprzez wychylenie dźwigni w prawo (starboard side) i w lewo (port side). Rys.



Przy przechodzeniu ze sterowania ręcznego na automatyczne poprzez wciśnięcie przycisku , autopilot zapamiętuje kurs przy jakim zostało włączone sterowanie automatyczne.

FUNKCJE POKRĘTEŁ

Rudder  - do ustawiania współczynnika wzmocnienia wychylenia steru;

Yaw  - do ustawiania strefy myszkowania;

Trim  - do regulacji zakresu automatycznego, stałego wychylenia steru;

Course Selector  – do zmiany kursu

4) Wykonanie ćwiczenia

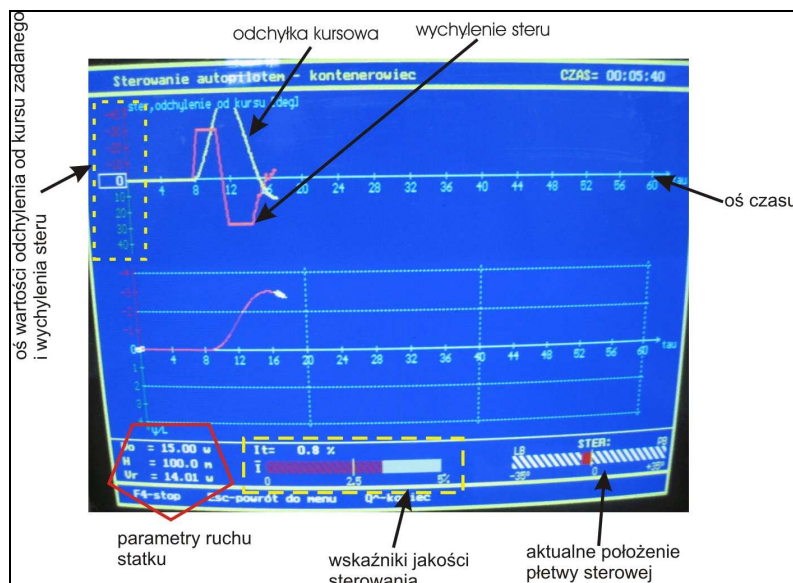
Ćwiczenie składa się z 3 podpunktów! 4.1; 4.2; 4.3 – aby zaliczyć ćwiczenie musisz wykonać wszystkie!!!

Czas: 75 min

UWAGA: W czasie badań należy zachować przyjęte na początku parametry ruchu statku (stała prędkość – nie ruszać manetki maszynowej).

Dążyć do tego aby wprowadzone do układu zakłócenie impulsowe było jednakowe.

Ekran symulacji:



krzywa żółta - odchyłka kursowa ($K_z - K_2$) różnica pomiędzy kursem zadaniem a kursem żyro [°]

krzywa czerwona – wychylenie płetwy sterowej [°]

Wskaźnik jakości sterowania wyrażony jest w funkcji prędkości statku:

$$I_t = \frac{(1 - V_0 - [K_k(\Delta \Psi)^2] + K_r(\Delta R^2)) \cdot 100\%}{V_0}$$

$$\bar{I} = \frac{\sum_{n=1}^n I_{t_n}}{t_n}$$

- | | |
|---------------|---|
| I_t | - chwilowy wskaźnik jakości sterowania autopilotem, [%], |
| $\bar{I}$ | - średni wskaźnik jakości sterowania autopilotem w trakcie całego czasu trwania próby, [%], |
| V_0 | - początkowa prędkość statku, [m/s], |
| $\Delta \Psi$ | - odchyłka od zadanego kursu, [°], |
| ΔR | - aktualny kąt wychylenia steru, [°], |
| k_k | - współczynnik korekcyjny dla odchyłki od kursu, |
| k_r | - współczynnik korekcyjny dla kąta wychylenia steru, |
| t_n | - czas trwania całej próby. |

Im mniejsza wartość wskaźnika I_t lub $\bar{I}$ tym lepsza jakość sterowania.

ĆWICZENIE 1

4.1 BADANIE WPŁYWU WSPÓŁCZYNNIKA WZMOCNIENIA AUTOPILOTA (WWA) NA PRZEBIEG STEROWANIA

Badania należy przeprowadzić dla następujących ustawień autopilota:

Wariant	Rudder	Yaw	Trim
1	0	0	0
2	10	0	0
3	20	0	0

Powstaną 3 przebiegi czasowe na jednym wykresie (gdzie zmieniamy tylko współczynnik wzmocnienia Rudder)

Zmieniać tylko rudder!

1) Uruchomić program 'symulator autopilota':

- wybrać **STEROWANIE AUTOPILOTEM** ;
- wybrać: **KONTENEROWIEC** i wcisnąć **F5**;
- wprowadzić następujące dane potwierdzając je klawiszem **ENTER**:

– Teraz wciśnij  na pulpicie autopilota

- głębokość wody 100 [m]
- zadany kurs statku 0 [deg]
- początkowy kurs statku 0 [deg]
- prędkość wiatru [m/s] 0 [m/s]
- stan morza [°B] 0 [°B]
- obliczenia w czasie rzeczywistym [T/N] N
- co który wynik zapisać 100
- nazwa zbioru wyników ww

d) Uruchom autopilota na sterowanie automatyczne (klawisz **PILOT**).

2) Przez 10 sekund obserwować ruch statku sterowanego automatycznie, odchyłka kursowa i kąt wychylenia steru powinna wynosić zero.

- 3) Wprowadzamy impulsowe zakłócenie - należy wychylić joystick **DODGE** w prawo i **przytrzymać** aż żółta linia osiągnie wartość około 30° na osi Y, w tym momencie należy przestawić joystick w pozycję zero.
- 4) W wyniku wprowadzonego zakłócenia (wychylenia płetwy sterowej o daną wartość) statek zejdzie z zadanego kursu. Gdy zakłócenie ustanie statek będzie dążył do powrotu na ustawiony wcześniej kurs.
- 5) **Zawsze potwierdzać uaktywniające się alarmy** przyciskiem ALARM
- 6) Kurs się ustabilizuje po pewnym czasie (odchyłka kursowa będzie w okolicy zera (podobnie wych.. steru)) żółta linia osiągnie wartość 20 na osi X), należy ustawić **RUDDER na wartość 10.**
- 7) Wprowadzamy impulsowe zakłócenie - należy wychylić joystick **DODGE** w prawo i **przytrzymać** aż żółta linia osiągnie wartość około 30° na osi Y, w tym momencie należy przestawić joystick w pozycję zero.
- 8) Gdy żółta linia osiągnie wartość 40 na osi X ustawić **RUDDER na wartość 20** używając pokrętła pod wskaźnikiem.
- 9) Ponownie przechylić joystick **DODGE** w prawo w celu wprowadzenia impulsowego zakłócenia, **przytrzymać** tak długo, aż żółta linia osiągnie wartość około 30° na osi Y, w tym momencie ustaw joystick w pozycję zero.
- 10) **Gdy żółta linia osiągnie wartość ok. 56 na osi X należy wcisnąć klawisz F4 na klawiaturze (jeden raz!)**
- 11) Wsadzić jedną kartkę do podajnika drukarki (nie więcej niż jedną!) i **RAZ** wcisnąć F1 na klawiaturze
- 12) Po zatrzymaniu programu symulatora, należy wyzerować nastawy **RUDDER**
- 13) Wcisnąć **OFF** na pulpicie autopilota i dwa razy **ESC** na klawiaturze.

ĆWICZENIE 2

4.2 BADANIE WPŁYWU STREFY MARTWEJ (SM) NA PRZEBIEG AUTOMATYCZNEGO STEROWANIA

Badania wpływu strefy martwej na przebieg automatycznego sterowania należy przeprowadzić podobnie jak badania z poprzedniego punktu z tą różnicą, że w tych badaniach dokonujemy zmian wielkości strefy martwej przy zachowaniu stałych pozostałych parametrów.

Badania należy przeprowadzić dla następujących ustawień autopilota:

Wariant	Rudder	Yaw	Trim
1	0	0	0
2	0	10	0
3	0	20	0

Powstaną 3 przebiegi czasowe (gdzie zmieniamy tylko współczynnik myszkowania - ZMIENIAĆ TYLKO **Yaw**)

1) Uruchomić program 'symulator autopilota':

- wybrać **STEROWANIE AUTOPILOTEM** ;
- wybrać: **KONTENEROWIEC** i wcisnąć **F5**;
- wprowadzić następujące dane potwierdzając je klawiszem **ENTER**:

– **Teraz wciśnij**  **na pulpicie autopilota!!!**

- głębokość wody 100 [m]
- zadany kurs statku 0 [deg]
- początkowy kurs statku 0 [deg]
- prędkość wiatru [m/s] 0 [m/s]
- stan morza [°B] 0 [°B]
- obliczenia w czasie rzeczywistym [T/N] N
- co który wynik zapisać 100
- nazwa zbioru wyników ww

d) Uruchom autopilota na sterowanie automatyczne (klawisz **PILOT**).

2) Przez 10 sekund obserwować ruch statku sterowanego automatycznie, odchyłka kursowa i kąt wychylenia steru powinna wynosić zero.

- 3) Wprowadzamy impulsowe zakłócenie - należy wychylić joystick **DODGE** w prawo i **przytrzymać** aż żółta linia osiągnie wartość około 30° na osi Y, w tym momencie należy przestawić joystick w pozycję zero.
- 4) W wyniku wprowadzonego zakłócenia (wychylenia płetwy sterowej o daną wartość) statek zejdzie z zadanego kursu. Gdy zakłócenie ustanie statek będzie dążył do powrotu na ustawiony wcześniej kurs.
- 5) **Zawsze potwierdzać uaktywniające się alarmy** przyciskiem ALARM
- 6) Kurs się ustabilizuje po pewnym czasie (odchyłka kursowa będzie w okolicy zera (podobnie wych.. steru)) żółta linia osiągnie wartość 20 na osi X), należy ustawić **YAW na wartość 10.**
- 7) Wprowadzamy impulsowe zakłócenie - należy wychylić joystick **DODGE** w prawo i **przytrzymać** aż żółta linia osiągnie wartość około 30° na osi Y, w tym momencie należy przestawić joystick w pozycję zero.
- 8) Gdy żółta linia osiągnie wartość 40 na osi X ustawić **YAW na wartość 20** używając pokrętła pod wskaźnikiem.
- 9) Ponownie przechylić joystick **DODGE** w prawo w celu wprowadzenia impulsowego zakłócenia, **przytrzymać** tak długo, aż żółta linia osiągnie wartość około 30° na osi Y, w tym momencie ustaw joystick w pozycję zero.
- 10) **Gdy żółta linia osiągnie wartość ok. 56 na osi X należy wcisnąć klawisz F4 na klawiaturze (jeden raz!)**
- 11) Wsadzić jedną kartkę do podajnika drukarki (nie więcej niż jedną!) i **RAZ** wcisnąć F1 na klawiaturze
- 12) Po zatrzymaniu programu symulatora, należy wyzerować nastawy **YAW**
- 13) Wcisnąć **OFF** na pulpicie autopilota i dwa razy **ESC** na klawiaturze.

ĆWICZENIE 3

4.3 BADANIE WPŁYWU WSPÓŁCZYNNIKA CAŁKOWANIA (WI) AUTOPILOTA NA PRZEBIEG AUTOMATYCZNEGO STEROWANIA

Wpływ współczynnika całkowania na przebieg automatycznego sterowania najlepiej uwidacznia się w warunkach oddziaływania na statek stałych zakłóceń np.: falowania czy wiatru. Zmiany będą dokonywane dla wielkości współczynnika całkowania (W naszym przypadku jest to Trim) przy zachowaniu stałych pozostałych parametrów (Rudder i Yaw).

W badaniach tych nie wprowadzamy impulsowego zakłócenia!!!!

Nie używać Dodge!!!!

Badania należy przeprowadzić dla następujących ustawień autopilota:

Wariant	Rudder	Yaw	Trim
1	10	0	0
2	10	0	10
3	10	0	20

Powstaną 3 przebiegi czasowe (gdzie zmieniamy tylko współczynnik TRIM)

1) Uruchomić program 'symulator autopilota':

- wybrać **STEROWANIE AUTOPILOTEM** ;
- wybrać: **KONTENEROWIEC** i wcisnąć **F5**;
- wprowadzić następujące dane potwierdzając je klawiszem **ENTER**:



– **Teraz wciśnij**  **na pulpicie autopilota**

- głębokość wody 100 [m]
- zadany kurs statku 0 [deg]
- początkowy kurs statku 0 [deg]
- prędkość wiatru [m/s] 40 [m/s]
- kierunek wiatru 45 [deg]
- stan morza [°B] 6 [°B]
- kierunek fali 60 [deg]
- obliczenia w czasie rzeczywistym [T/N] N
- co który wynik zapisać 100
- nazwa zbioru wyników ww

d) Uruchom autopilota na sterowanie automatyczne (klawisz **PILOT**).

- 2) Na pulpicie autopilota ustaw **RUDDER** na wartość 10
- 3) Uruchom autopilota na sterowanie automatyczne (klawisz **PILOT**).
- 4) Obserwować ruch statku sterowanego automatycznie przez 10 sek, odchyłka kursowa i kąt wychylenia steru powinna zacząć się zmieniać. W wyniku oddziaływania wiatru i fali statek zacznie schodzić z zadanego kursu.
- 5) Gdy żółta linia osiągnie wartość **20** na osi X ustawić **TRIM** na wartość 10 .
- 6) Gdy żółta linia osiągnie wartość **40** na osi X ustawić **TRIM** na wartość 20 używając pokrętła pod wskaźnikiem.
- 7) Gdy żółta linia osiągnie wartość ok. **56** na osi X należy wcisnąć klawisz **F4** na klawiaturze (jeden raz!)
- 8) Wsadzić jedną kartkę do podajnika drukarki (nie więcej niż jedną!) i **RAZ** wcisnąć F1 na klawiaturze
- 9) Po zatrzymaniu programu symulatora, należy wyzerować nastawy **YAW**
- 10) Wcisnąć **OFF** na pulpicie autopilota i dwa razy **ESC** na klawiaturze.

Uwagi dotyczące obróbki danych pochodzących z symulacji

UWAGA – każda/ły studentka/student – musi sam przeprowadzić analizę danych – nawet jeśli mamy ten sam zestaw danych z grupy ćwiczeniowej!

Otrzymujemy 3 pliki tekstowe (bez rozszerzeń .txt). Oznaczone grupą studenta wykonującego ćwiczenie, inicjałami i typem zadania np: **cbjkw**i.

Pliki należy przegrać na własną dyskię (może być 1 na grupę)– jak to zrobić powie prowadzący! (uwaga – dyski będą sprawdzane pod kątem wirusów i robali).

Osoby nie posiadające komputera mogą skorzystać z komputerów ogólnodostępnych w pracowniach AM. Jest możliwe wykonanie analizy na papierze milimetrowym – to jednak zajmie strasznie dużo czasu!

Analiza może być wykonana w dowolnym arkuszu kalkulacyjnym. Pliki należy przekonwertować do formatu zrozumiałego dla arkusza kalkulacyjnego (np.: *.csv) arkusze mają opcje importu danych.

Plik z danymi ma następującą postać:

Sterowanie autopilotem
Statek kontenerowiec

t	deltaAR	X	Y	PSI	Vx	Vy	omega	Vg	beta
[s]	[deg]	[m]	[m]	[deg]	[m/s]	[m/s]	[deg/s]	[m/s]	[deg]
1	0	0.0	0.0	0	0.10	0.00	0.00	0.10	0
2	0	0.2	0.0	0	0.19	0.00	0.00	0.19	0
3	0	0.4	0.0	0	0.29	0.00	0.00	0.29	0

.....
n....

t-czas (co 1 s próbka) do n

delta AR – wychylenie płetwy sterowej [°]

X –współrzędna x [m]

Y –współrzędna y [m]

PSI – odchyłka kursowa [°]

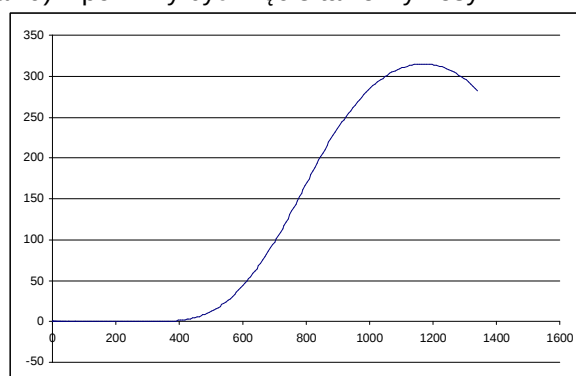
omega – prędkość kątowna [°/s]

Pozostałe kolumny nas nie interesują (dla osób zainteresowanych bardziej zaawansowaną obróbką – prosimy o kontakt z prowadzącym);

!Po konwersji do Excela dane powinny wyglądać mniej więcej tak:

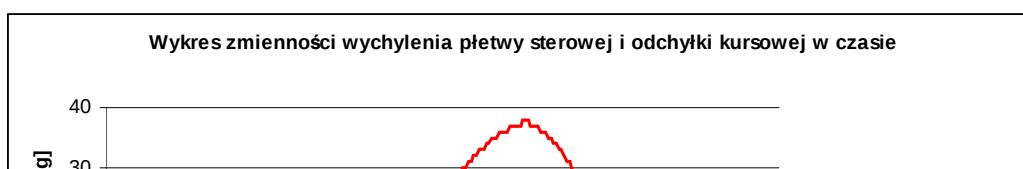
t	deltaAR	X	Y	PSI	Vx	Vy	omega	Vg	beta
[s]	[deg]	[m]	[m]	[deg]	[m/s]	[m/s]	[deg/s]	[m/s]	[deg]
1	0	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0
2	0	0.2	0	0	0.19	0	0	0.19	0
3	0	0.4	0	0	0.29	0	0	0.29	0
4	0	0.8	0	0	0.38	0	0	0.38	0
5	0	1.2	0	0	0.47	0	0	0.47	0
6	0	1.7	0	0	0.57	0	0	0.57	0
7	n	n	n	n	n	n	n	n	n

!Wykonujemy wykresy zmian położenia (X od Y) – w rezultacie powstaje wykres zmian trajektorii ruchu (wykres 1) – (na jednym wykresie dla 1 zestawu) – powinny być więc 3 takie wykresy.



Wykres1 zmian położenia wodnicy (trajektoria ruchu)

!Następnie w funkcji czasu przedstawiamy zmiany wychylenia płetwy sterowej i odchyłki kursowej (na 1 wykresie dla 1 zestawu (np.: dla 4.1) ; czyli mamy 3 takie wykresy) Przykładowy wykres 2 poniżej.



Wykres 2 Zmiany wychylenia płetwy i odchyłki kursowej w czasie

! Uwaga zwróć uwagę na znak danych – (czyli prawa czy lewa burta). W razie potrzeby przemnoż przez -1

• Należy podać maksymalne wartości prędkości kątowej (ω) oraz zaznaczyć na wykresie momenty ich wystąpienia. Wykonać to dla każdego wariantu – na wykresie każdym powinny znaleźć się więc 3 takie punkty!

• Opisać każdy przebieg (zachowanie regulatora, korzyści z takiej regulacji, możliwe przeregulowania optymalność sterowania) własnymi słowami – (czyli po 3 opisy na wykres – w sumie 9 opisów)

• Dołączyć wykresy, wnioski i oryginalne dane do sprawozdania!

Podstawy teoretyczne – budowa, obsługa i zasady regulacji autopilotów morskich.

Samostery, nazywane także pilotami automatycznymi, **są to urządzenia współpracujące z maszyną sterową, które pozwalają na samoczynne utrzymanie statku na określonym kursie, zastępując w tej czynności sternika.** Samoster elektroniczny zwany jest autopilotem.

Samoczynne sterowanie pozwala na zmniejszenie liczby i rozmiaru odchyłek od wyznaczonego kursu w porównaniu ze sterowaniem ręcznym. Korzyści płynące z tego faktu to min.:

- wzrost średniej prędkości statku,
- oszczędności w eksploatacji statku,
- skrócenie czasu rejsu,
- zmniejszenie zużycia paliwa.

Obecnie statki morskie sterowane są ręcznie w zasadzie tylko podczas manewrowania, przejścia przez akweny ograniczone(kanały, podejścia, tory wodne) lub dużym natężeniu ruchu statków oraz w czasie sztormów.

Samoczynne utrzymywanie się statku na określonym kursie możliwe jest za pomocą kompasów żyroskopowych (żyrokompasów) lub kompasów magnetycznych. Autopiloty stosowane obecnie na statkach służą do zastąpienia sternika przy utrzymywaniu statku na określonym kursie, nastawionym przez obsługę mostka (oficer wachtowy). Nie są to urządzenia w pełni zautomatyzowane, aczkolwiek wchodząc w skład systemów nawigacji zintegrowanej (mostek zintegrowany z ang. *integrated bridge*) umożliwiają prowadzenie statku po z góry wyznaczonej drodze. W związku z oddziaływaniem na statek zakłóceń zewnętrznych, najczęściej w postaci prądów oraz wiatru, statek schodzi z zadanej trajektorii, systemy nawigacji zintegrowanej poprzez ciągłą kontrolę pozycji geograficznej jednostki, dokonują samoczynnej poprawki kursu, utrzymując statek na wyznaczonej drodze.

Jednak w ramach niniejszego opracowania systemy nawigacji zintegrowane zostaną pominięte, natomiast uwaga zostanie skupiona jedynie na autopilocie jako urządzeniu autonomicznym. W przedstawionej instrukcji do ćwiczenia omówione zostaną następujące zagadnienia związane z budową, obsługą oraz eksploatacją autopilotów morskich:

- ogólna charakterystyka automatycznego pilota,
- zasady współpracy autopilota z urządzeniami sterowymi,
- zasada działania autopilotów,
- zasady regulacji autopilotów.

Urządzenia sterowe

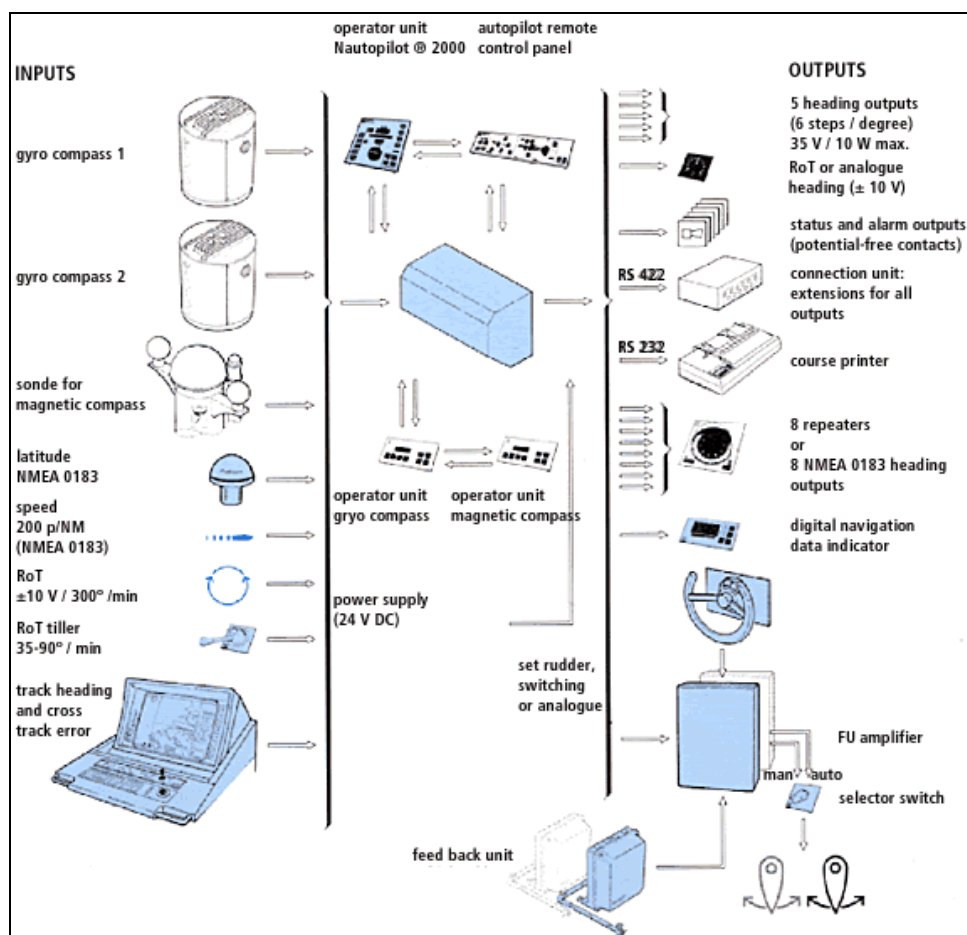
Urządzenie sterowe składa się z:

- telemanipulatora steru, czyli urządzenia służącego do sterowania pracą maszyny sterowej (podstawową częścią telemanipulatora jest kolumna sterowa),
- maszyny sterowej (silnik elektryczny, siłownik hydrauliczny, przekładnia pomiędzy silnikiem a sterem),
- steru;

Pośród wielu rodzajów urządzeń sterowych wymienić można dwa najczęściej spotykane, a mianowicie:

- urządzenia sterowe z przekładnią mechaniczną (urządzenia elektromechaniczne);
- urządzenia sterowe z przekładnią hydrauliczną (urządzenia elektrohydrauliczne)

Sterowanie pracą maszyny sterowej odbywa się z kolumny sterowej znajdującej się na mostku. Na wielu statkach znajdują się poza tym dodatkowe stanowiska sterowania tak na mostku (manewrowe stanowiska sterowania ze skrzydeł mostka, z ang. *bridge wing steering*) jak i w maszynowni (stanowiska sterowania awaryjnego przy maszynie sterowej – z ang. *emergency steering*). Przykładowy schemat dla układu firmy Raytheon, przedstawiono na rysunku poniżej.



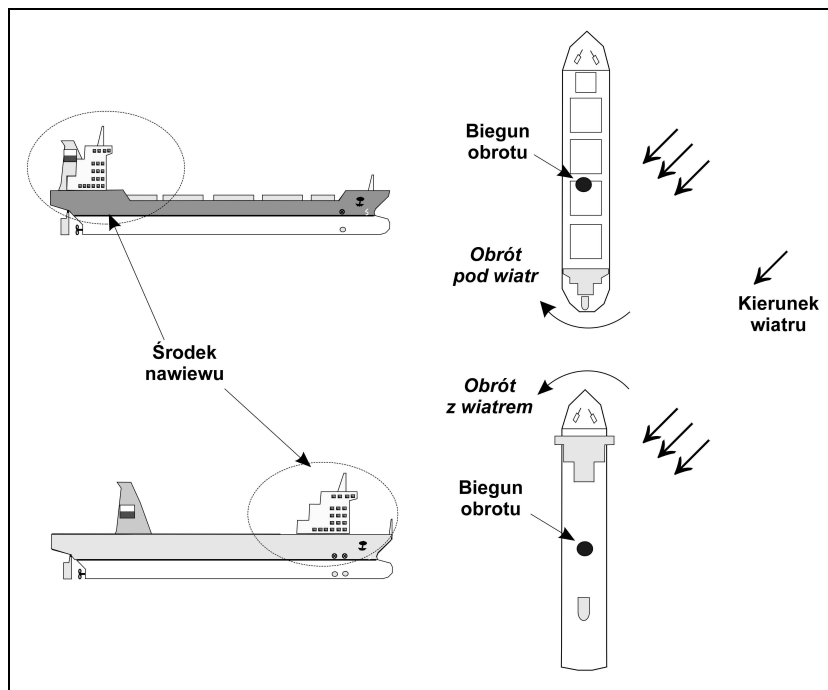
Właściwości sterownicze statku

Odchylenie się statku od kursu odbywa się wskutek działania zaburzeń o **charakterze ciągłym** lub **doraźnym** (impulsowym - dyskretnym w czasie).

Do zaburzeń charakterze ciągłym należą:

- działanie wiatru (chodzi o stały napór wiatru, nie o szkwały),
- przechyły statku,
- działanie śruby (efekt boczny śruby).

Pod naporem bocznego wiatru statek w zależności od konstrukcji (położenie nadbudówki, rozmieszczenie urządzeń pokładowe itd.) wykazuje tendencje do odchyłania się od kursu, z wiatrem (tzw. statki zawietrzne) lub pod wiatr (tzw. statki nawietrzne).



Rys Kierunek obrotu statku z zależności położenia środka nawiewu.

Wpływ wiatru jest tym większy, im statek ma mniejszą prędkość i mniejsze zanurzenie.

Przechył statku może być spowodowany nierównomiernym rozmieszczeniem ładunku, paliwa lub balastów, a także wykonywanym manewrem. Wywiera taki sam wpływ na odchylenie się statku od kursu jak wiatr boczny. Gdy statek jest przechylony na jedną burtę, wtedy po tej stronie dziobu opór ośrodka wodnego jest większy (zanurzona jest większa powierzchnia burty) niż po burcie przeciwnej. Stąd, jeśli statek jest przechylony na burtę lewą (powierzchnia naporu na burcie lewej jest większa niż na prawej), będzie wykazywał tendencje do skręcania w prawo.

Praca śruby ma pewien wpływ na odchylenie się statku od kursu, uwidacznia się w szczególności podczas żeglugi na akwenach o małych głębokościach.

Źaburzeniami doraźnymi nazywamy:

- oddziaływanie fali na statek
- praca steru

Oddziaływanie dynamiczne fali na statek przejawia się w uderzeniach fali o burty statku, powodując doraźne odchylenia statku o obydwu kierunkach, zwane potocznie myszkowaniem statku (z ang. **Yaw**).

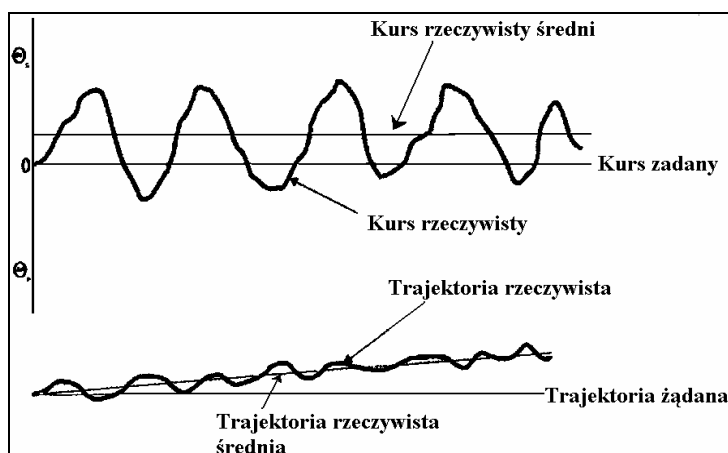
Praca steru również wpływa na odchylenie się statku od zadanego kursu. W celu utrzymania statku na kursie, płetwa sterowa jest cały czas w ruchu. Wychylenia te są z reguły zmienne, płetwa zmienia położenia, przechodząc z buty na burtę. Taki ruch płetwy sterowej powoduje odejścia statku od nakreślonej trajektorii.

Utrzymanie statku na prostej drodze

Utrzymanie statku na prostej drodze jest zagadnieniem dosyć skomplikowanym. Sternik utrzymuje statek na kursie, powodując wychylenia steru o wielkości zależne przede wszystkim od odchylenia statku od kursu, przy czym kąty wychylenia steru nie są dokładnie proporcjonalne do kątów odchylenia statku od kursu. Ze względu na dosyć dobrą stateczność kursową statków handlowych, reagowanie na najmniejsze odchylenie statku od kursu jest niecelowe, gdyż przy małych, równomiernych obu stron zaburzeniach statek sam często wraca na kurs, bez pomocy steru. Sternik uruchamia ster przy odchyleniach od kursu rzędu 1° - 5° , wychylając go mniej więcej proporcjonalnie do danego odchylenia. Przy jeszcze większych odchyleniach sternik zwiększa wychylenie steru już tylko w niewielkim stopniu, przytrzymując przy tym ster dłużej w danym wychyleniu. Czyni to w tym celu, aby zbytnio nie powiększać oporu ruchu statku, który przy większych kątach wychylenia steru gwałtownie rośnie.

Jeśli sternik podczas sterowania kierowałby się jedynie wielkością odchylenia statku od kursu, wtedy ze względu na długi czas jaki zachodzi pomiędzy reakcją sternika a zadziałaniem urządzenia sterowego, szczególnie podczas niekorzystnych warunków hydrometeorologicznych, występowałyby znaczne odchylenia statku od wyznaczonej drogi. Poza tym, podczas powrotu statku na kurs, przy sterowaniu ruchem steru w oparciu tylko o wartość odchylenia statku od zadanego kursu, ster powróciłby w położenie środkowe (z ang. *Midship*) w chwili gdy statek znalazłby się na wyznaczonym, ustalonym kursie. Na skutek inercji, jaką charakteryzują się duże jednostki handlowe, statek obracałby się nadal, znacznie przekraczając wyznaczony kurs. W związku z tym faktem, doświadczony sternik musi przewidywać tendencję ruchu statku, czyli reagować nie tylko na odchylenie statku od kursu ale również na prędkość kątową z jaką odchylenie to zwiększa się bądź zmniejsza. Im prędkość kątowa jest większa, wychylenia steru powinny być większe oraz dłużej należy przytrzymać ster w wychyleniu. Podczas sterowania powinno istnieć pewne wyprzedzenie ruchu steru do ruchu statku.

Jeżeli występują stałe wpływy boczne, to statek odchylany jest od kursu znacznie częściej i dalej w jedną stronę niż w drugą, obrazowo przedstawiono taką sytuację na rysunek poniżej.



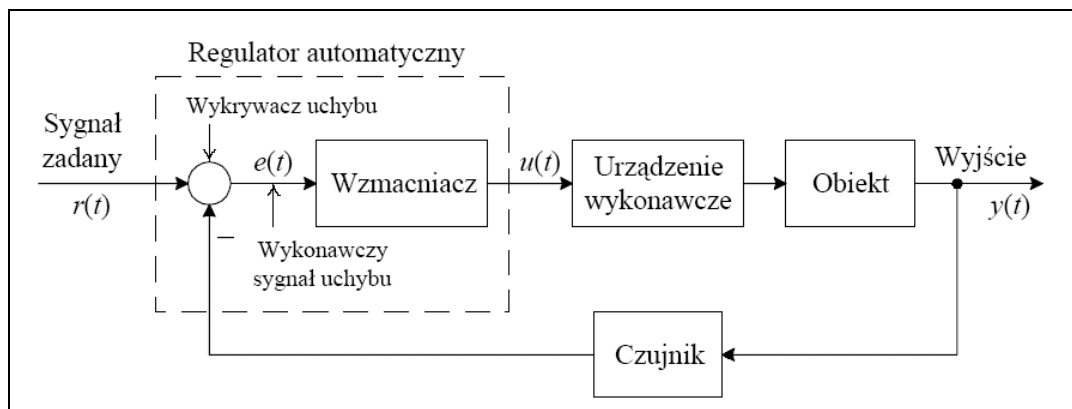
Przesunięcie średniego kursu rzeczywistego oraz trajektorii rzeczywistej przy stałych wpływach bocznych.

W takim przypadku średni kurs rzeczywisty przesunięty będzie w stosunku do kursu wyznaczonego. Także urządzenie sterowe będzie pracowało nierównomiernie na obie strony. Można temu zapobiec przez przesunięcie położenia środkowego steru z płaszczyzny symetrii w takim kierunku i o taki kąt, żeby kompensowało ono stałe wpływy boczne. Ster będzie wychylał się mniej więcej równomiernie na obie strony od nowego położenia środkowego i kurs rzeczywisty będzie zgodny z kursem zadanym.

Zasada działania automatycznego pilota

Automatyczny pilot musi wykonywać opisane wcześniej czynności w określony sposób, zależny od warunków sterowania, zawsze jednakowo, a nie w sposób przypadkowy, tak jak ma to miejsce przy sterowaniu ręcznym, które zależy od umiejętności oraz kwalifikacji sternika.

Samoczynne sterowanie statków jest dziedziną rozległą a poruszane przez nas problemy należą do zagadnień przedmiotu regulacji automatycznej. Nie wchodząc zbyt głęboko w problemy automatyzacji, na rys. przedstawiono bardzo ogólny schemat blokowy układu automatycznej regulacji kursu statku.



Analizując ten schemat możemy opisać poszczególne jego elementy w kontekście sterowania statkiem:

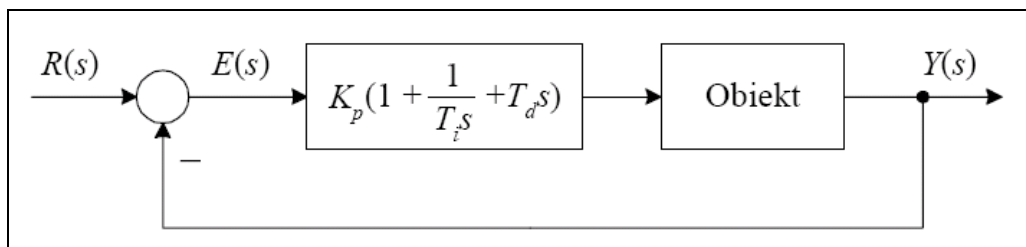
terminologia automatyki	terminologia dot. autopilotów statkowych
Sygnał zadany $r(t)$	Kurs zadany K_z
Regulator automatyczny	Autopilot wraz z urz. peryferyjnymi
$y(t)$ podany na wykrywacz uchybu	Kurs żyrokompasowy K_z (podawany ze znakiem -)
Wykrywacz uchybu	Elem. odpowiedzialny za zsumowanie K_z i K_z
Wykonawczy sygnał uchybu $e(t)$ – wartość uchybu	Odchyłka kursowa ($K_z - K_z$)
$u(t)$ – sygnał sterujący	sygnał do masz sterowej (wychylenie płetwy)
Urządzenie wykonawcze	Maszynka sterowa
Czujnik	Żyrokompas
Obiekt	Statek

Z teoretycznego punktu widzenia najlepiej wszystkie stawiane autopilotom wymagania spełnia regulator typu **PID**, tzn. regulator o równaniu:

$$\alpha = A \cdot \Theta + B \cdot \frac{d\Theta}{dt} + C \cdot \int_0^t \Theta \cdot dt$$

- α - kąt wychylenia steru
- $A\Theta$ - element proporcjonalny – **P** (ang.: *proportional*)
- $B \cdot \frac{d\Theta}{dt}$ - element pochodnej – **D** (ang.: *derivative*)
- $C \int_0^t \Theta \cdot dt$ - element całkujący – **I** (ang.: *integrative*)
- A, B, C - współczynniki uwzględniające wpływ poszczególnych członów

W automatyce stosuje się zapis następujący zapis (przy ujemnym sprzężeniu zwrotnym); Równanie opisuje nam transmitancję obiektu:



Opis Elementów składowych regulatora PID

Element P uwzględnia odchylenia statku od kursu, przy czym we wszystkich typach autopilotów działanie elementu P nie jest ściśle proporcjonalne. Istnieje w nim strefa martwa, dopuszczająca myśkowanie statku (z ang. yaw) [czyli pewną inercję] w określonym kącie bez uruchamiania urządzenia sterowego.

Element D tego regulatora uwzględnia prędkość odchylania się statku od kursu i daje odpowiednie wyprzedzenie ruchu steru w stosunku do ruchu statku - ($\frac{d\Theta}{dt}$ jest prędkością kątową odchylania się statku od kursu). Czyli po części odpowiada za przyszły kurs statku

Element I uwzględnia wielkość czynników będących przyczyną stałego odchylenia statku od kursu. Całka $\int_0^t \Theta \cdot dt$ obliczona za określony czas t , jest sumą powierzchni wyznaczonych pod krzywą kąta odchylenia statku od kursu w funkcji czasu. Jeśli suma powierzchni powyżej osi czasu (odchylenia w lewo) jest równa sumie powierzchni poniżej osi czasu (odchylenia w prawo), to całka ma wartość zero i sygnał elementu I równa się zero. Jeśli sumy powierzchni wynikających z odchyleń w lewo i w prawo nie są sobie równe, to całka ma określoną wartość i element I podaje do układu regulacyjnego sygnał, który powoduje odpowiednie stałe wychylenie steru. Element ten odpowiada za przeszłe odchylenie od kursu.

Nowoczesne sterowanie statkiem

W autopilotach posiadających układy regulowane przez operatora osiągnięcie optymalnego przebiegu sterowania zależy od umiejętności i wyczucia operatora. Obecnie ok. 70% wszystkich autopilotów posiada układy regulowane przez operatora. Istnieją również inne typy autopilotów, zwane autopilotami adaptacyjnymi, stanowią ok. 30% wszystkich autopilotów. W tych urządzeniach dobór optymalnych wartości parametrów oraz ich wprowadzanie odbywa się automatycznie. W związku z tym operator zwolniony jest z konieczności regulacji układu.

W autopilotach adaptacyjnych wykorzystuje się wcześniej ustaloną zależność jakości sterowania od warunków zewnętrznych (zapasu wody pod stępką, prędkości statku, falowania itd.) a autopilot łączy się z odpowiednimi czujnikami (echosondą, logiem, miernikami kołysań). Przy zmianach warunków zewnętrznych parametry sterowania przestrajają się automatycznie w celu uzyskania żądanej jakości utrzymywania statku na kursie.

W nowoczesnych autopilotach stosowane są coraz powszechniej zaawansowane technologie pozwalające na minimalizowanie rozmiarów urządzenia oraz na zwiększanie dokładności prowadzenia statków po zadanych trajektoriach. Precyzyjne sterowanie realizowane jest się za pomocą najmniejszych ruchów płetwy sterowej, natomiast automatyczne filtry sterowania morskiego z możliwością dostosowywania sterowania do warunków morskich umożliwiają wydajne ograniczenie zużycia paliwa.

Nowoczesne autopiloty posiadają również szereg funkcji ułatwiających operatorowi pracę. Są to np.: automatyczna kontrola trakcji (w połączeniu z ECDIS), zmianę kursu przy założonych wcześniej parametrach prędkości obrotowej czy o określonym promieniu zwrotu. Funkcje te posiada Nautopilot 2000 firmy Raytheon w wersji pojedynczej czy w konsoli.

Natomiast przykładowo Pilot Star D oprócz wymienionych wyżej opcji posiada możliwości adaptacji do różnych typów napędu (strugowodnych, Voith-Schneider, czy układu podwójnych sterów).



NautoPilot 2000 wer. pojedyncza



Nautopilot 2000 w konsoli Raytheon Stand ComPilot



Pilot Star D