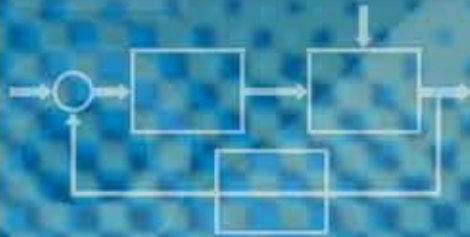




Forfattere: Håvard Holm, Asgeir Sørensen

## Manøvrering, styring og regulering



### Innhold

Innledning.....	2
Manøvrering av skip.....	4
Styring av skip.....	6
Reguleringssystemer for holding av skip og plattformer i fast posisjon.....	8
To hovedprinsipper for regulering :	
Foroverkopling og tilbakekopling.....	8
Mer om DP-reguleringssystemer.....	10
Datasytemer og automatisering.....	12
Reguleringssystemer for skip i fart.....	14
Hastighetsregulering. Litt om regulatorer.....	14
Kursregulering. Automatisk styring av fartøyer.....	16
Bevegelsesdemping av hurtiggående fartøy.....	17
Oppgaver.....	18
Referanser.....	20

*Styring og regulering er sentrale prosesser i virksomhet til havs.*

*Styring betyr egentlig å lede noe som er i bevegelse i en ønsket kurs eller retning. Begrepet kan også brukes i andre sammenhenger, for eksempel styring av en prosess etter et program.*

**Regulering** betyr egentlig å bringe orden i en prosess som er blitt utsatt for en forstyrrelse. Dette skal da helst skje automatisk, ved at et måleresultat fra prosessens utgang tilbakekobles til en regulator som sammenligner denne med en referanseverdi, og som sørger for at forstyrrelsen kompenseres i ønsket grad. I motsetning til styring karakteriseres altså regulering av en prosess ved at **en eventuell forstyrrelse blir helt eller delvis kompensert og at kompensasjonen blir etterprøvd.**

*Det er imidlertid ikke alltid at man i praktisk språkbruk er konsekvent med hensyn til denne forskjellen mellom ordene styring og regulering, slik at disse blir brukt en del om hverandre.*

**Et kranfartøy er utstyrt med reguleringssystemer både for å holde fartøyet mest mulig i ro og for å operere kranene best mulig også når skipet ruller, stamper eller hiver på seg. Det er sjelden at værforholdene er så gunstige som vist her.**

### **Reguleringsteknikk – nødvendig i dagliglivet og til havs.**

Styring og regulering hjelper oss i hverdagen med oppgaver som vi ikke vil eller kan gjøre selv. Dette kan være fordi oppgavene krever større nøyaktighet enn vi kan make, er langvarige, ubehagelige eller farlige. Noen eksempler er: ABS-bremser, antispinnsystem eller cruisekontroll på biler, varmestyring av hus, hodetelefoner med støyreduksjon, styring av harddisker på PC og DVD-spillere osv.

Også i konstruksjoner til havs møter vi massevis av situasjoner som bare kan løses ved hjelp av reguleringsteknikk. Aller først i kapitlet vil vi se nærmere på styring av fartøyer ved hjelp av ror og propell. Deretter tar vi for oss eksempler på systemer for regulering med utgangspunkt i aktuelle behov som gitt nedenfor.

### **Hvordan kan et skip holdes i ro i all slags vær uten bruk av ankere?**

**Dynamisk posisjonering (DP).** Med dynamisk posisjonering mener vi at et skip eller for eksempel en borerigg skal kunne ligge i ro med stor nøyaktighet (2—3 meter), over lang tid og under skiftende værforhold uten å bruke ankere. I stedet for oppankring brukes ror, propeller og/eller thrustere plassert på ulike steder, til å holde den flytende konstruksjonen i ønsket posisjon. Disse pådragsorganene styres da av et såkalt dynamisk posisjoneringssystem. Ulike sensorer og målesystemer (satellitt- og undervannsakustikkssystemer) måler fartøyet orientering, og vindsensorer måler vindhastighet og retning. Målesignalene analyseres i en datamaskin som sender passende signaler videre til pådragsorganene.





# Manøvrering, styring og regulering

**Mange anvendelser av DP-systemer.** Noen eksempler på flytende konstruksjoner som er utstyrt med DP-systemer, er:

- Tankskip for lasting av olje på feltet (se for eksempel side 10-37)
- Kranfartøyer og flere av de andre serviceskipstypene som brukes i offshoreaktiviteter (se liste side 9-28)
- Flytende borerigg (se side 8-13)
- Skip som opererer i farvann hvor det er viktig at ikke sårbare koraller på havbunnen blir ødelagt, noe som ellers kunne skjedd ved bruk av ankere. For eksempel gjelder dette cruiseskip

## Reguleringssystemer for skip i fart

Går vi over til å se på skip i fart, er det ytterligere behov for reguleringssystemer i mange sammenhenger. *Eksempelvis* kan nevnes systemer for:

- Automatisk styring av ror og propell, slik at skip holder fast kurs og fart uansett værforhold, såkalt autopilot
- Regulering av ror og propell for å følge væravhengige ruter som gir optimalt brenselforbruk og sikkerhet. Det forskes på å integrere slike systemer i enda mer omfattende systemer som kan gjøre framtidens skip lavbemannede eller helt *ubemannede*, se figurtekst til høyre
- Regulering av flaps (eventuelt luftputer) for å få minst mulig vibrasjoner og andre uønskede bevegelser for folk om bord i hurtiggående fartøyer

## Andre behov for reguleringssystemer til havs

- **Ubemannede undervannsfartøyer** (se side 10-27). Disse kan programmeres til å undersøke havbunnen i et område uten å ha kontakt med omverdenen. Slik kartlegging er meget viktig i mange sammenhenger, særlig i forbindelse med *olje- og gassutvinningen*. Ubemannede undervannsfarkoster er også uunnværlige for denne virksomheten i en rekke andre sammenhenger, særlig i forbindelse med installasjon av utstyr på havbunnen
- Også for *fiskeri- og havbruksteknologien* er reguleringstekniske systemer av største viktighet
- Utnyttelse av havet til *fornybar energi* gir store reguleringstekniske utfordringer enten det dreier seg om vind-, bølge- eller tidevannskraft.

**MÅL** Etter å ha studert dette kapitlet skal du:

- Ha fått kunnskap om manøvrering av skip
- Forstå hvordan styring ved hjelp av ror virker
- Forstå hvordan styring ved hjelp av propell og thruster virker
- Ha fått innføring i komponenter, begreper og metoder innen elementær reguleringsteknikk
- Ha fått innføring i dynamisk posisjonering
- Forstå hvordan et autopilotsystem virker



NTNU har flere undervannsroboter til bruk i forskning og undervisning. Her ser du en fjernstyrt undervannsfarkost, også kalt ROV (Remotely Operated Vehicle)



I Trondheim utvikles systemer som muliggjør at skip og båter kan programmeres til å gå en gitt rute. Disse farkostene kan være ubemannede og autonome slik at de styrer seg selv med minimal kommunikasjon til omverden under oppdragene.

Foto: Maritime Robotics



## Undringsoppgave:

Hva betyr egentlig ordet autonom som er brukt i figurteksten ovenfor?

# Manøvrering av skip



**Optimal manøvrerbarhet av et skip.** Dette offshore forsynings-skipet er utrustet med en svingbar propell i hekken og en thruster i baugen. Se for øvrig side 8.7

**Hva er forskjellen på styring og manøvrering?** Å styre et skip i fart vil si å bruke et ror eller en svingbar propell til å lede skipet i den retning som til enhver tid ønskes. Å manøvrere et skip vil si å utsette det for hyppige eller store retningsforandringer, ofte kombinert med fartsforandringer. I et lett manøvrerbart skip kan slike operasjoner gjennomføres på en rimelig kort tid. Vi skal nedenfor komme inn på hvilke størrelser som da spiller en rolle og hvordan et skips manøvrerbarhet kan testes.

## Retningsstabilitet

**Forskjellige skipstyper har ulike krav til retningsstabiliteten.**

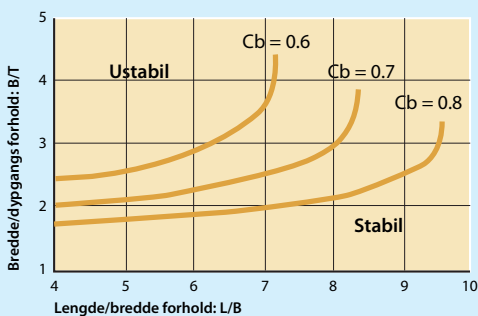
På figuren nederst til venstre ser vi at et skips retningsstabilitet er avhengig av lengde ( $L$ ), bredde ( $B$ ), volumdeplasement ( $\nabla$ ), forholdene  $L/B$ ,  $B/T$  og  $C_b = \nabla / (L \cdot B \cdot D)$  (blokkkoeffisienten). For mange skip er det en fordel å være retningsstabil. Containerskip er et eksempel på dette. Disse går i lange perioder over større strekk uten store krav til manøvrering. For offshore forsyningskip kan det være annerledes. Det er viktig at de er lette å manøvrere når de skal posisjonere seg i forhold til en oljeplattform med 10 meters avstand. Dette oppnås både ved hjelp av skrogutforming og tilstrekkelig utrusting av fartøyet med propeller og thrustere med god kapasitet akterut og forut, se side 8-7. Cruiseskip stiller også tidvis store krav til både retningsstabilitet og styrbarhet. Dette løses med å installere svingbare propeller eller såkalte azimuther og podder. Se side 8-7.

**Optimalisering av rorbruken.** På skip brukes roret til å utføre kursendringer og stabilisering av skipet. Mye bruk av roret er imidlertid uheldig fordi det gir økt motstand, økt energibehov samt slitasje i rormaskinene. Det er en typisk avveining i reguleringsteknikken når energiforbruk og slitasje settes opp mot nøyaktighet i styringen. Vi kaller en slik problemstilling et optimaliseringsproblem.

## Standard manøvreringstester

For å dokumentere skipets manøvreringsevne er det vanlig å gjøre visse standardiserte tester. Når man følger disse reglene, kan man sammenlikne manøvreringsegenskapene til ulike skip. Nedenfor er gitt noen standard tester.  $L$  er her brukt for lengden på skipet og  $V$  for skipets hastighet.

**Sikksakk manøvrering.** Roret legges over  $10^\circ$  den ene og den andre veien. Et krav som ofte settes, er at vinkelen skal være mindre enn  $10^\circ$  dersom  $L/V < 10$  s, og mindre enn  $20^\circ$  dersom  $L/V > 30$  s. **Konstant turn over.** Roret legges over  $35^\circ$  eller mer, svingradius bør da ikke bli mer enn  $5 \cdot L$ . **Initial svingevne.** Roret legges over  $10^\circ$ . Når skipet har svingt  $10^\circ$ , bør det ikke ha tilbakelagt en strekning større enn  $2,5 \cdot L$ . **Evne til å stoppe.** Motoren og propellen gis maksimal kraft for å bakke. Skipet bør ha stoppet helt opp før det har tilbakelagt en strekning på  $15 \cdot L$ .



Dersom man ikke styrer skipet og lar roret eller den svingbare (azimuthing) hovedpropellen stå i en fast posisjon, vil noen skip fortsette i samme retning, mens andre skip likevel vil endre kurs. Denne egenskapen kaller vi skipets retningsstabilitet, og den er avhengig av skipets form og dermed blokkkoeffisienten  $C_b$ . Oversikten over  $C_b$  for ulike skipstyper er gitt på side 8-18.



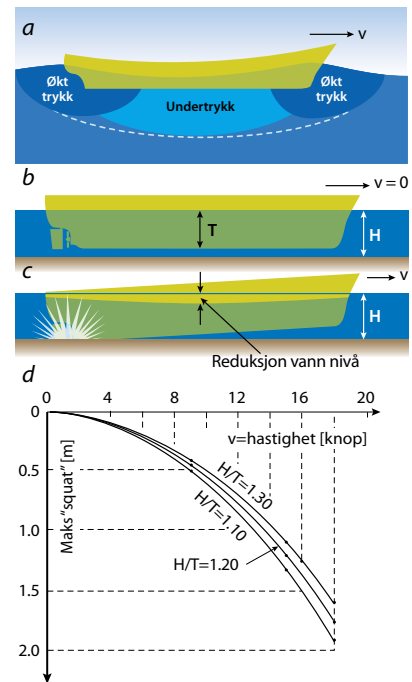
**Cruiseskipet MS Allure of the Seas (Royal Caribbean) under Storebæltbroen på jomfruturen fra verftet STX-Europe i Finland, 2010.** Fra Wikipedia, the free encyclopedia. Skipet er normalt 72 m høyt og ville da ikke kunne passere under broen. Skorsteinen har imidlertid "teleskopisk" konstruksjon og ble gjort lavere under passering. Man kunne også lese i avisene at skipet måtte øke farten for å oppnå økt, såkalt "squat"-virkning for å kunne passere. Dette var imidlertid ikke riktig. Du kan lese mer om dette fenomenet nedenfor og generelt mer om cruiseskipet Allure of the Seas på sidene 9-30/31.

### Manøvrering på grunt vann, "squat"

Når et skip beveger seg, skyver det vann foran seg. Dette skaper områder med overtrykk og undertrykk i vannet, som vist på figuren til høyre. Undertrykkene medfører at skipet får økt dypgang når det er i fart. Kommer skipet da inn på grunt vann, med for eksempel bare 1-2 meters klaring under bunnen, øker undertrykkene ytterligere, og skipet "setter seg" enda dypere i vannet samtidig som trimmen forandres, se oppgave 8.3. Skipet kan da i verste fall grunnstøte, oftest med akterparten, men noen ganger også med baugen.

Fenomenet kalles "squat" (fra engelsk "sette seg på huk"). Dette kan unngås ved å bruke ekstra lav fart på grunt vann. "Squatting" var ikke noe problem for Allure of the Seas som hadde nesten 10 m klaring. For store tank- eller bulkskip, som skal inn i Østersjøen med full last, og som da har stor dypgang, er det nødvendig å holde ekstra lav fart i disse grunne farvannene.

Et annet fenomen som oppstår på grunn av interaksjon mellom sjøbunnen og den viste trykkfordeling under et skip i fart, er at skipets motstand vil øke i forhold til motstanden på dypt vann. Dette fenomenet blir merkbart allerede ved større sjødyb enn de som gir squat og bestemmes av et skips dypgang og blokkoeffisient.



### Skips-squat i åpent, grunt farvann.

Særlig aktuelt når  $H/T < 1,3$ .

Fra [8.3]

- Trykk i vannet rundt et skip i fart på dypt vann. Se også side 3-6
- Definisjon av  $H/T$  (viktig parameter)
- Skip i fart på grunt vann med "squat"-grunnstøting akterut. Legg merke til formen på overflaten
- Eksempel på "squat" for et containerskip med blokkoeffisient 0,6

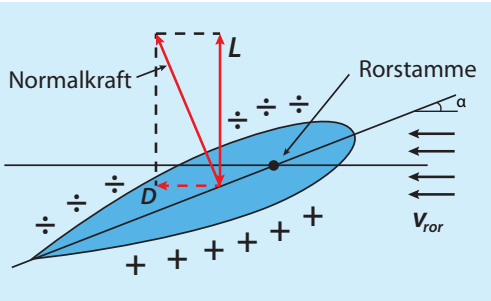
### Vi undrer oss på:

- Hvorfor vil et skip få større dypgang ved stor fart enn ved liten, også når det er på dypt vann?
- Hvordan kan vi forklare den viste trykkfordelingen i figur a til høyre?
- Hvorfor vil en gitt fart resultere i større undertrykk på grunt vann enn på dypt?





# Styring av skip



**Horisontalt snitt gjennom et ror.** Et ror er formet som f.eks. en hydrofoil, se side 3-22. Det utsettes derfor for en friksjon ( $D$ ) og en sideveis "løftkraft" ( $L$ ), som påvirker skipet med et moment om oppdriftssenteret og dreier det med urviseren (sett ovenfra).

## Styring ved hjelp av ror

Roret er normalt plassert rett bak propellen. Dermed utnyttes den ekstra hastigheten som induseres av propellen, slik at større rorvirkning oppnås. Sidekraften er avhengig av kvadratet av hastigheten og er ved små vinkler lineært avhengig av rorutslaget.

**Rorteori.** Et ror arbeider som en foil og kan derfor beregnes som vist på sidene 3-22/23. Styringskraften  $L$  må imidlertid kunne virke sideveis i *begge* retninger, og foilprofilen må derfor gjøres symmetrisk om korden. Dette betyr at "løftkraften"  $L$  bare blir avhengig av angrepvinkelen  $\alpha$  og er uavhengig av profilkrumningen. Konstantleddet 0,3 i ligningen nederst på side 3-22 faller derfor bort, slik at "løfttallet" blir

$$C_L = 2 \cdot \pi \cdot \alpha \cdot K_{kor} = 2 \cdot \pi \cdot \alpha \cdot s / (s + 2c_m)$$

Her er  $s$  = rorets spenn (høyde),  $c_m$  = midlere kordelengde og  $\alpha$  angrepvinkel i radianer.

"Løftkraften" (styringskraften) kan, som for alle foiler, skrives slik:

$$L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{ror}^2 \cdot A_{ror} \cdot C_L$$

Vi har tidligere (side 3-26) pekt på at et skip under fart ( $v_s$ ) drar med seg vann (medstrøm), slik at propellens framgangshastighet gjennom vannet reduseres med størrelsen  $w \cdot v_s$  ( $w = 0,15 - 0,45$ , typisk verdi 0,20). Vi må også ta hensyn til hastighetsøkingen  $\Delta v$  som svarer til den skyvekraften  $T$  som propellen genererer. Halvparten av hastighetsøkingen skjer allerede før innløpet, forårsaket av propellens sugevirkning. Ifølge Newtons 2. lov (se side 3-25), eller impulsloven, kan vi da beregne den hastighetsøkingen  $\Delta v$  som svarer til skyvekraften, av ligningen:

$$T = \dot{m} \cdot \Delta v = \pi \cdot R_p^2 \cdot v_{innp} \cdot \rho \Delta v = \pi \cdot R_p^2 \cdot (v_s - w \cdot v_s + \frac{1}{2} \Delta v) \cdot \rho \cdot \Delta v$$

Dermed kjennes hastigheten inn på roret:  $v_{ror} \sim v_{utp} = v_s - w \cdot v_s + \Delta v$ , og "løftkraften" kan bestemmes av ligningen ovenfor. Se også oppg. 8.6

## Fritthengende bladror

**a. Konvensjonell type.** De fleste ror smalner litt nedover.

**b. Utforming som brukes mye for store skip.** Fra [8.2]

Viktige ligninger som brukes i beregninger av et rors "løftkraft":

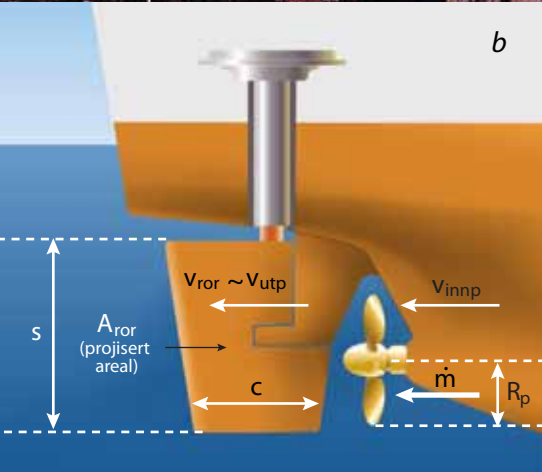
1. Massestrøm inn propell:  $\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho = \pi \cdot R_p^2 \cdot v_{innp} \cdot \rho$

2. Hastighet inn propell:  $v_{innp} = v_s - w \cdot v_s + \frac{1}{2} \Delta v$

3. Hastighet forbi ror (ut fra propell):  $v_{ror} = v_{utp} = v_s - w \cdot v_s + \Delta v$

Full hastighetsøking induisert av propellen ( $\Delta v$ ) oppnås først i en avstand ca.  $2 \cdot R_p$  fra propellutløpet, det vil si ca. halvveis inne på roret.

For enkelhets skyld regner vi imidlertid med full hastighet over hele rorbredde, som satt opp i ligning 3 ovenfor. Se for øvrig oppg. 8.6.



## Styring ved hjelp av propell

**Konvensjonelle bladror vanligst i "deep sea skip".** Tankskip, containerskip og andre skip som krysser store havstrekninger, bruker som oftest konvensjonelle propeller og ror, som omtalt på side 3-28 og side 8-6. Disse er mer effektive enn andre varianter ved normale hastigheter, men gir så liten styringsevne ved lave hastigheter at de da er anhengige av slepebåter når skipet skal legge til kai.

### Ekstra krav til manøvrerbarhet ivaretas ved hjelp av thrustere.

Andre skip, for eksempel ferger, cruiseskip og offshore serviceskip, må periodevis manøvrere med lave hastigheter og innenfor begrensede områder. Disse må da ha flere styresystemer til disposisjon. Ofte blir slike skip utstyrt med såkalte tunnel-thrustere i hekk, baug eller begge steder. Det blir da laget tunnel i skroget, og en propell plasseres inne i denne. Propellen kan for eksempel drives fra hovedmotoren. En *thruster* er altså ikke noe annet enn en propell som gir skyvekraft til styring og manøvrering av et skip ved lave hastigheter.

**Svingbare thrustere og "propellror".** Noen ganger er det behov for å ha en *svingbar* thruster som altså kan generere skyvekraft i flere retninger. En såkalt *azimuth-thruster* kan svinges rundt 360 grader om en vertikal akse, se figur til høyre. Et lignende arrangement er brukt i anlegget som er vist nedenfor. I begge tilfelle skjer kraftoverføringen fra hovedmotoren. I tillegg til manøvrering kan slike anlegg også brukes til *framdrift* av skipet, og vi kan gjerne si at skipet da er utstyrt med et "*propellror*" i stedet for et konvensjonelt bladror, samtidig som det kan bruke propellen til å skaffe delvis eller full framdrift når det er ønskelig. Det finnes også skip med separate, konvensjonelle propellanlegg og azimuth-thrustere som bare er beregnet for manøvrering ved lave hastigheter.

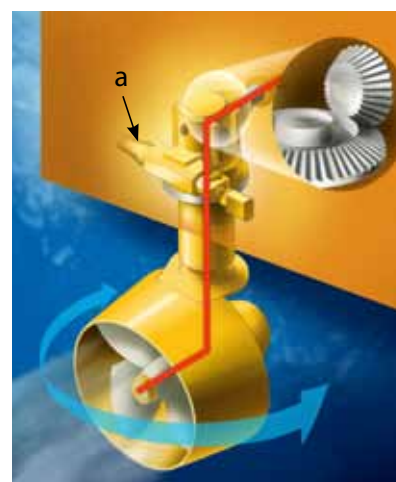
**Elektrisk drevne "propellror" (podder).** I dieselelektriske skip (ofte cruiseskip) og flyttbare plattformer drives gjerne propellene av elektromotorer. Ofte er disse da bygget inn i svingbare "belger" (podder) som plasseres utenpå skroget på hensiktsmessige steder, se figur side 8-13.



Svingbare azimuth-thrustere.



**Tunnel-thrustere i baugen på et offshore serviceskip.** Kan drives fra hovedmotoren via pinjong-system.



### Azimuth-thruster (360 grader svingbar) med Z-drift

Svingbare deler opereres hydraulisk av arm *a*. Kraftoverføring fra hovedmotor ved hjelp av pinjongsystemer gir en speilvendt *Z* som vist med rødt. Såkalt *Z-drift* er mye brukt i mange sammenhenger på skip.



### Undringsoppgave:

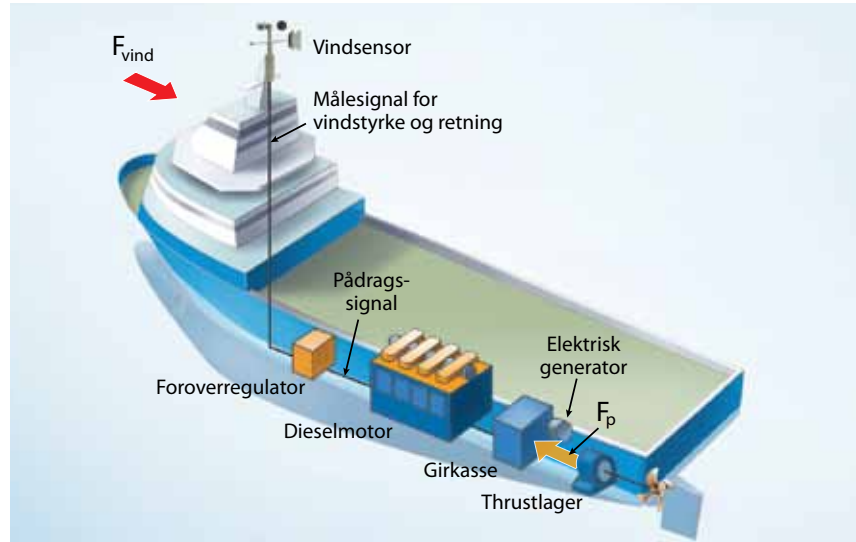
Hvorfor er konvensjonelle ror alltid plassert bakerst på et skip?

## Reguleringsystemer for holding av skip i fast posisjon

# To hovedprinsipper for regulering: Foroverkopling og tilbakekopling

**Fysisk oppbygging av reguleringsystem med foroverkopling for skip som skal holdes i ro i vind.**

Forstyrrelsen (vindstyrken) måles, og vi kan beregne nøyaktig hvilken kraft skipet dermed utsettes for. Vi kan også beregne hvilket turtall propellen må ha for å kompensere for vindkraften, og vi vet hvordan regulatoren må stilles inn for at den skal gi ut et pådragssignal til motorens brenselsinnsprøytingsventiler for å oppnå dette turtallet. Disse er elektromagnetisk styrte, og pådragssignalet fra regulatoren bestemmer hvor lenge ventilene skal stå åpne og dermed hvilken effekt motoren skal yte. Det er altså åpningstiden for disse ventilene som bestemmer motorens pådrag. Vi kobler med andre ord vindforstyrrelsen forover til pådraget, men foretar ikke noen måling av resultatet (skipets posisjon). Derfor bør denne metoden kombineres med tilbakekopling.



### Foroverkopling

La oss tenke oss at du har et skip som du ønsker å holde rolig ved hjelp av et DP-system. Det er kraftig vind som blåser rett mot fronten av skipet med vindstyrke  $v_{vind}=15$  m/s, og vi ønsker å kompensere vindforstyrrelsen direkte med hovedpropellen ved bruk av foroverkopling. Fronten av skipet har et samlet tverrsnittsareal  $A_x = 200$  m<sup>2</sup>. Vi kan da regne ut at dette tilsvarer en kraft rett mot skipet med følgende formel:

$$F_{vind} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{luft} \cdot C_d \cdot A_x \cdot v_{vind}^2$$

$\rho_{luft} = 1,29$  kg/m<sup>3</sup> er tetthet til luft, og  $C_d = 0,6$  er vindmotstandstall funnet ved modelltesting i vindtunnel. Dette gir  $F_{vind}=17,4$  kN.

Ved direkte foroverkopling, der propellen kompensere vindforstyrrelsen direkte, kan vi beregne turtallet til propellen slik at  $F_{vind} = F_p$ . Turtallet  $n$  til propellen er gitt av følgende formel, se side 3-27

$$F_p = \rho_{vann} \cdot D^4 \cdot K_T \cdot n^2$$

$\rho_{vann} = 1025$  kg/m<sup>3</sup> er tetthet til saltvann,  $K_T = 0,5$  er propellens skyvekrafttall funnet med modelltesting i en sletetank og  $D$  er propelldiameter = 2 m. Ved å omformulere ligningen får vi

$$n = \sqrt{F_p / (\rho_{vann} \cdot D^4 \cdot K_T)} = 1,45 \text{ omdr./s} = 87,4 \text{ omdr./min}$$

**Fordeler og ulemper ved metoden.** Foroverkopling er en *rask metode* for å regulere et system. Den er imidlertid ikke en *nøyaktig metode* som kan opptre alene, med mindre du har perfekt kjennskap til skipets fysikk (prosessen) gjennom gode målinger og matematiske modeller av skipsbevegelsene og forstyrrelsene. Utover vind er det andre forstyrrelser, slik som bølger og strøm, som også vil påvirke fartøyet. Ved å kombinere foroverkopling med tilbakekopling får vi til en god løsning, se neste side.

#### Viktige begreper:

*Prosessen:*

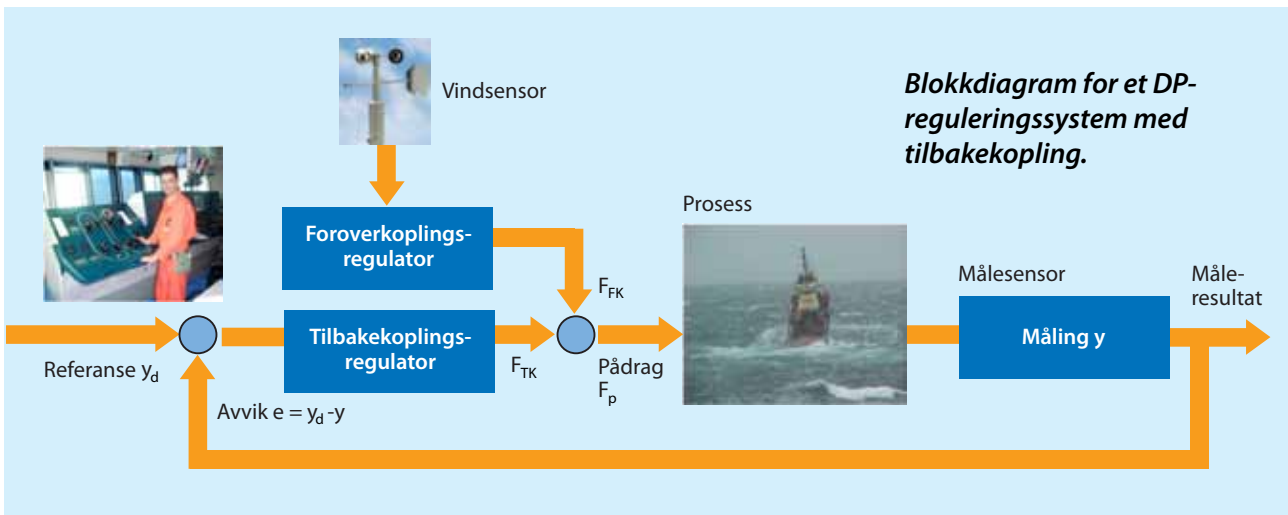
Hydrodynamiske og aerodynamiske krefter som gir skipsbevegelser

*Forstyrrelser:*

Bølger, vind og strøm.

I eksemplet så vi på vindforstyrrelser





**Blokkdiagram for et DP-reguleringssystem med tilbakekopling.**

## Tilbakekopling

Det viktigste hovedprinsippet i reguleringsprosesser er tilbakekopling. I figuren over vises dette sammen med foroverkopling. Regulatoren for tilbakekopling vil reagere på differansen mellom målt tilstand  $y$  i forhold til en gitt referanse  $y_d$ , dvs.  $e = y_d - y$ .

La oss igjen tenke oss at vi har et skip som vi ønsker å holde rolig med et DP-system. Det er både kraftig vind, bølger og strøm som angriper rett mot fronten av skipet. Vi kan anta at vi kompenserer forstyrrelsene fra vindkreftene med foroverkopling som vist på forrige side og ovenfor. Foroverkoplingsregulatoren er da:

$$F_{FK} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{luft}} \cdot C_d \cdot A_x \cdot v_{\text{vind}}^2$$

$v_{\text{vind}}$  er tilgjengelig fra vindsensor.

Den enkleste form for tilbakekopling er å konstruere en proporsjonalregulator (P-regulator).

$$F_{TK} = k_p \cdot (y_d - y)$$

$k_p > 0$  er regulatorforsterkning, som kan økes avhengig av hvor kjapt vi ønsker at det skal reageres på avviket.  $y_d$  er referansen som angir hvor vi ønsker å holde skipet. Denne settes av DP-operatøren.

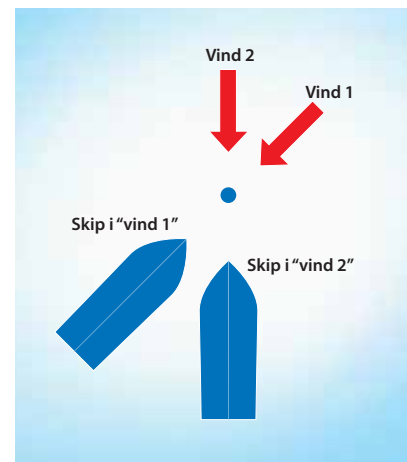
Resulterende pådrag blir nå

$$F_P = F_{TK} + F_{FK}$$

Tilbakekopling gir en nøyaktig regulering av prosessen. Vi har her fortsatt en P-regulator som i dette tilfelle gir en "fjærstivhet" til prosessen. Det er også vanlig å benytte derivat (D) og integral (I) tilbakekopling. Derivat er tilbakekopling fra hastighetsavvik og vil gi ekstra demping. Integratoren integrerer avviket over tid og vil dermed kompensere for statiske avvik forårsaket av midlere bølge- og strømforstyrrelser. Ved å bruke både proporsjonal, integral og derivat tilbakekopling får vi en såkalt PID-regulator. Du kan lese litt mer om regulatorer med derivat og integral tilbakekopling på side 8-15.

### Viktige begreper i et reguleringssystem:

1 forstyrrelser, 2 måling, 3 målesensor, 4 prosess, 5 pådrag, 6 tilbakekopling, 7 tilbakekoplingsregulator, 8 reguleringsavvik, 9 ønsket utgangsverdi (referanse), 10 prosessutgang.



### Riktig retningsorientering for et DP-skip

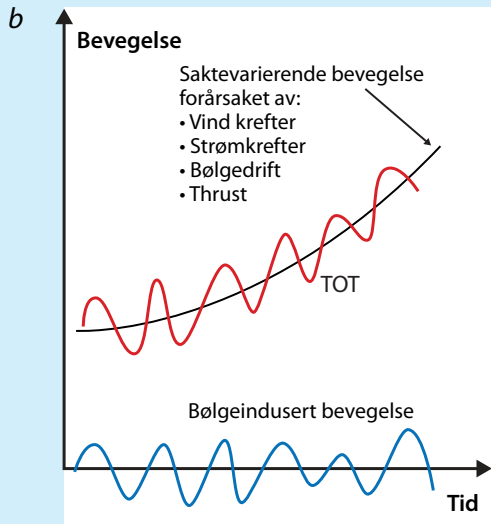
Når et skip skal ligge i ro, er det ikke bare avstanden til et kontrollpunkt som skal holdes konstant. I tillegg må DP-systemet sørge for at skipet alltid "sikter" mot kontrollpunktet, uavhengig av retningen av bølger og strøm.

### Undringsoppgave:

På side 8-1 er vist et blokkdiagram for et generelt reguleringssystem med tilbakekopling. Vi undrer oss på hvordan tallkodene for de viktige begrepene nedest på siden kan settes på rett plass i ikonet (enten i en av boksene eller over en av pilene).

# Reguleringsystemer for holding av skip eller plattformer i fast posisjon

## Mer om DP-reguleringsystemer



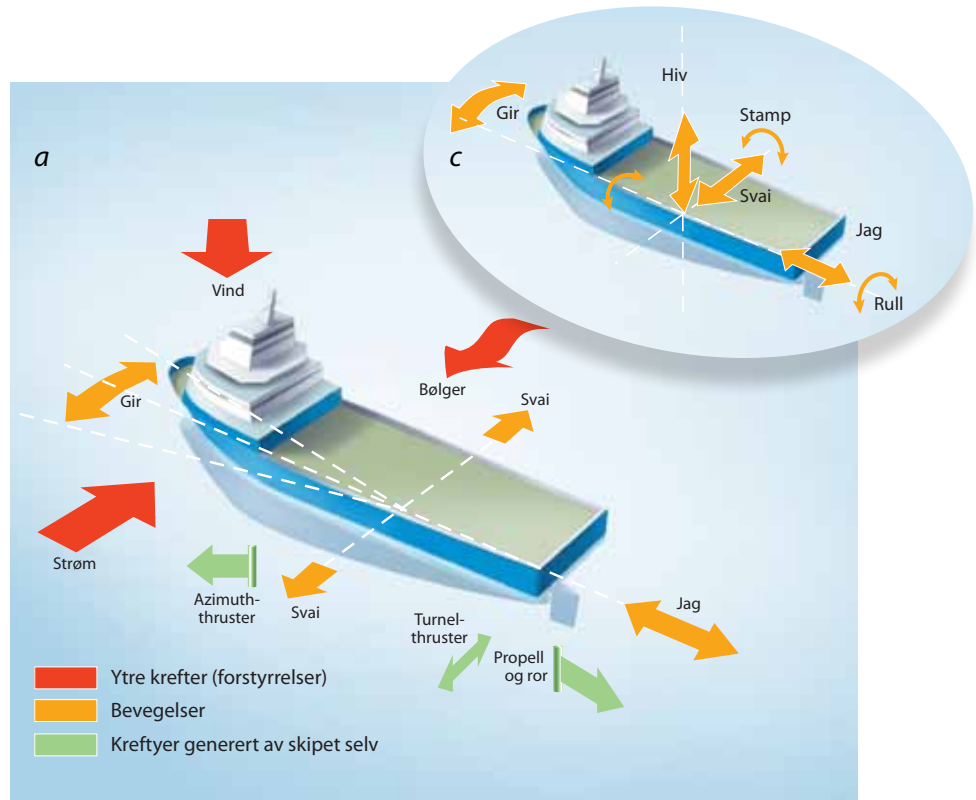
**a. Forstyrrelser (ytre krefter), induuerte bevegelser og egen-genererte krefter for et DP-skip med kompensasjon av gir, svai og jag. (Kongsberg Maritime).** Posisjon måles både av radar og akustiske sensorer montert på havbunnen med tilbakekopling til regulatorer som gir styresignaler til både forover- og sideveis propellmotorer. I tillegg nyttes foroverkopling av signaler fra vindmålere på skipet og beregnede verdier av saktevarierende støm og bølgeinduserte bevegelser.

**b. Saktevarierende og bølgeinduserte bevelser av skip eller flytende plattformer.** Det er bare den saktevarierende bevegelsen (grønn graf) som det kompenseres for i et DP-system

**c. Komplette oversikt over de seks mulige, svingende bevegelsene i et fartøy: tre rettlinjede og tre dreierende. De dreierende forårsakes av momenter.**

### Hydrodynamiske krefter

Et fartøy vil være utsatt for forstyrrelser fra bølger, vind og strøm. Målet for et DP-reguleringsystem er å kompensere for disse forstyrrelsene og kunne endre posisjon og orientering om ønskelig.



De totale bevegelsene deles opp i:

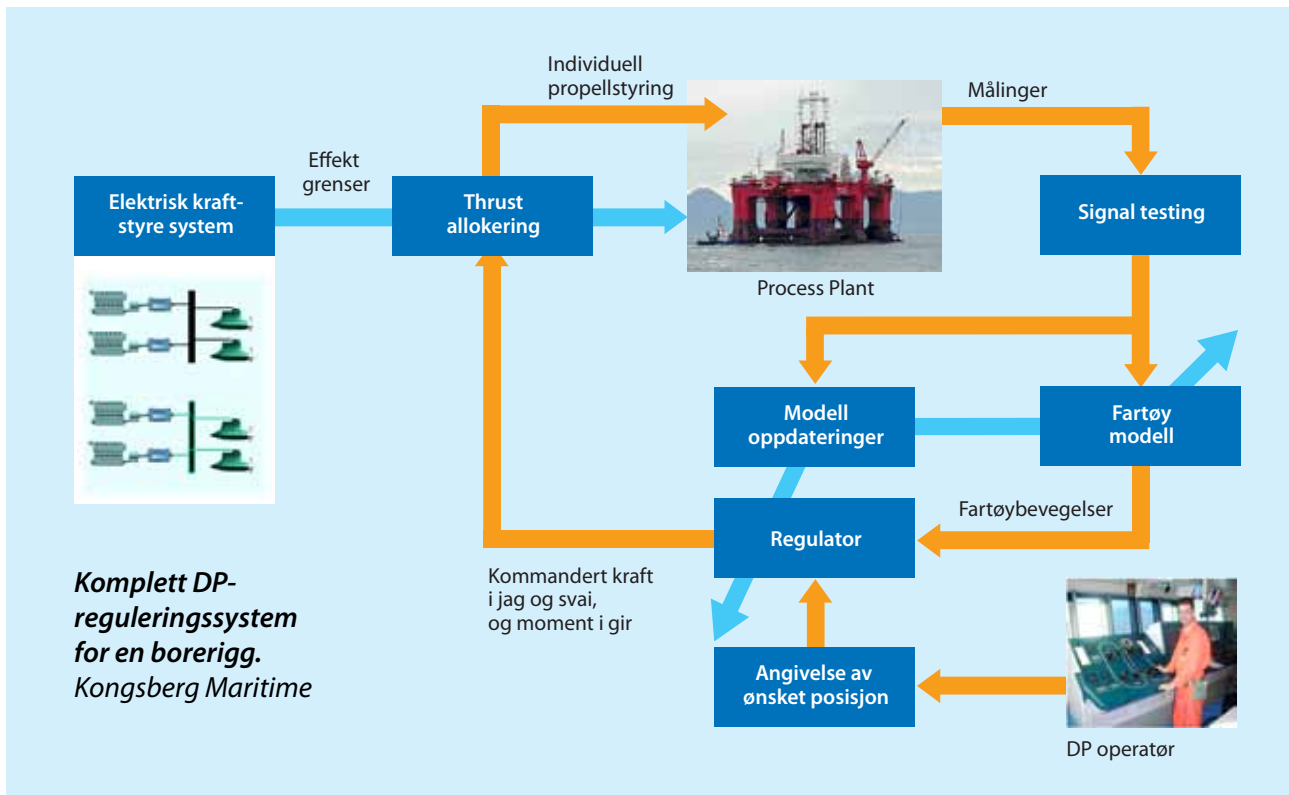
- Bølgeinduserte bevegelser forårsaket av bølgelaster.
- Saktevarierende bevegelser forårsaket av vind, strøm og bølgedrift.

I forbindelse med dynamisk posisjonering (DP) og autopiloter er det ikke ønskelig å kompensere bølgekrefter da de er store og hurtigvarierende. Forsøk på å kompensere disse vil medføre stor slitasje av styremaskiner og propeller i tillegg til stort energiforbruk. I DP-og autopiloter er det derfor *ønskelig å kun kompensere de saktevarierende bevegelsene*. Dette betyr at vi bør filtrere ut de bølgeinduserte bevegelsene fra målingene før de benyttes av regulatoren.

I forbindelse med bevegelsesdemping av hurtiggående fartøy og rulleddemping av skip er det derimot bølgeinduserte bevegelser som forsøkes dempet ved hjelp av flaps. Rulling er en dreiebevegelse om en horisontal akse i skipets lengderetning. Dette er en spesielt ubehagelig bevegelse for passasjerer og mannskap. Du kan lese mer om slik regulering på side 8-17.

## DP-reguleringsystem for borerigg

Utover selve **regulatoren**, som kan baseres på tilbakekopling og foroverkopling, er det flere andre funksjoner som må på plass i reguleringsystemet, se nedenfor.



**Signaltesting:** Alle målesignaler må testes for feil før de benyttes. Typiske signalfeil kan være bortfall, drift, høy varians, sprang/utelig-gere og frys. I tillegg er det ofte forstyrrelser på signalene som må filtreres bort.

**Fartøymodell:** I avanserte reguleringsystemer benyttes matematiske modeller, oppdatert av målinger av prosessen, til å estimere tilstander som posisjon og hastighet. Disse benyttes da av regulatoren. Ved kortvarig bortfall av målinger kan estimerte tilstander benyttes til å vinne tid for å avklare situasjonen.

**Angivelse av ønsket posisjon:** Settes av DP-operatøren. For at DP-systemet ikke skal utsettes for store sprang i ønsket posisjon, benyttes referansemodeller som glatter ut settpunktene til regulatoren.

**Modelloppdateringer:** Avhengig av last om bord og varierende vær-tilstander er det nødvendig å oppdatere fartøymodellen og regulatoren. Dette kalles for adaptiv regulering – der systemet oppdaterer seg automatisk.

**Thrust allokering:** Sørger for at beregnet kraft i jag og svai og moment i gir omdannes til kommandosignaler for hver enkelt thruster eller propell. Er det mange ulike propeller som er installerte, kan dette oppnås på mange måter. For å gjøre dette med minst mulig kraftforbruk når effektgrensene er satt av det elektriske kraftstyre-systemet (også kalt Power Management System), benyttes avanserte optimaliseringsmetoder.



### Undringsoppgave:

Som det framgår av DP-skipet på forrige side, kompenseres det bare for bevegelsene gir, svai og jag. Hvorfor er det generelt vanskelig å kompensere for rull og stamp og ekstra vanskelig, nesten umulig, å kompensere for "hiv" i et DP-system?



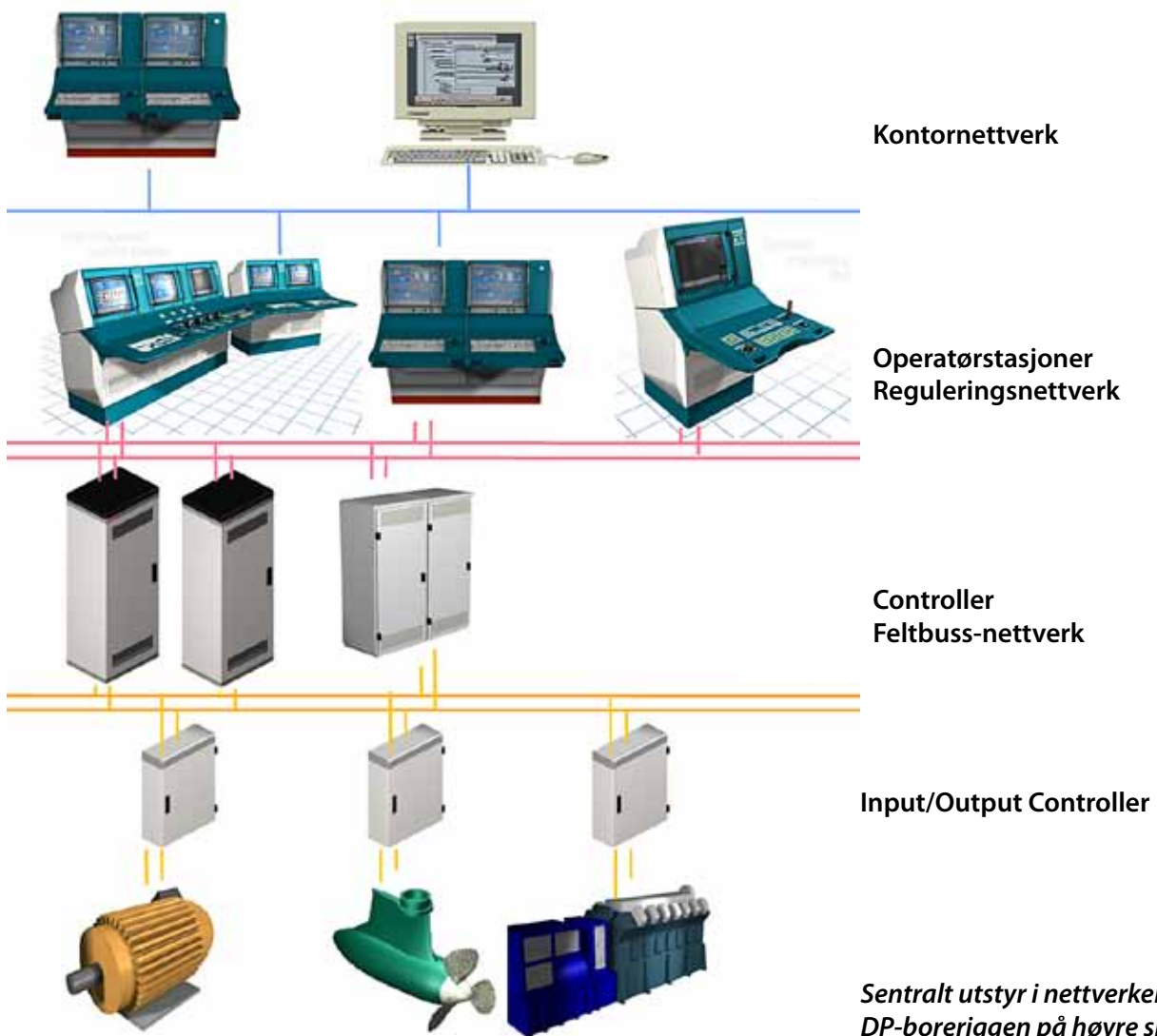
# Reguleringssystemer for holding av skip eller plattform i fast posisjon

## Datasystemer og automatisering

### Store reguleringssystemer krever dataoperatør

Realisering av marine reguleringssystemer skjer ved bruk av datamaskiner. Legg merke til at de fleste reguleringssystemer krever tett interaksjon med en operatør som bestemmer referansene og aktiverer ulike reguleringsfunksjoner som for eksempel holding av posisjon, endring av posisjon, målfølgning av for eksempel en ROV, start og stopp av motorer osv. I tillegg overvåker operatøren systemet ved å sjekke tidstrender av viktige signaler og eventuelle alarmer.

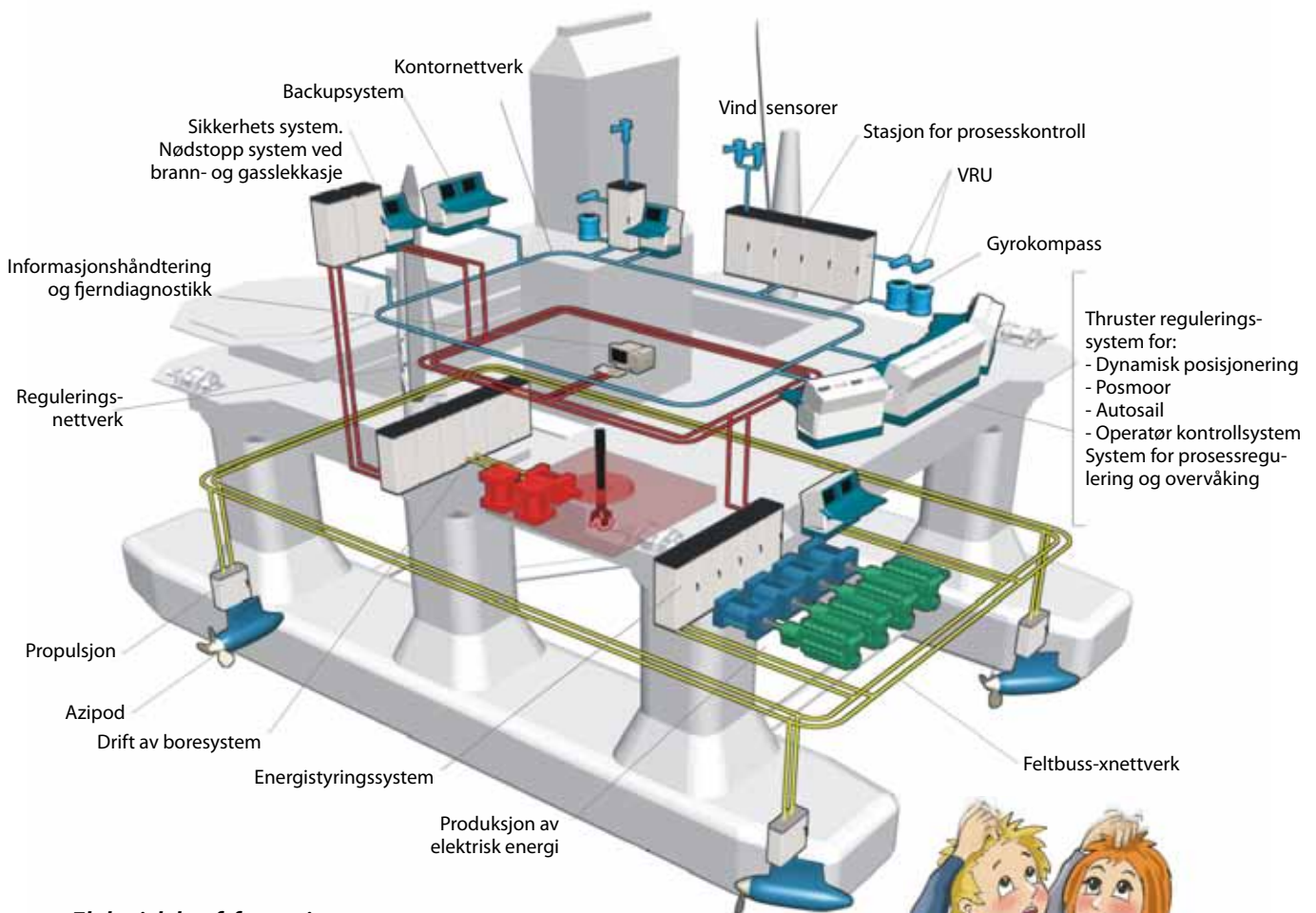
Overvåkingen skjer ofte på en egen datamaskin kalt operatørstasjon, mens selve regulatoren med tilhørende logikk for håndtering av funksjoner ligger på egne datamaskiner, ofte omtalt som "control-ler". Det har i den senere tid også blitt vanlig med distribuerte Input/Output (IO)-controllere som kommuniserer via feltbuss til motorer, propeller, ventiler osv. I disse gjennomføres ofte lokal styring av pådragsorganene.



## Store reguleringsystemer krever godkjenning fra Det Norske Veritas

Vi pleier ofte å karakterisere kompleksiteten i reguleringsystemene ut fra antall IO-signaler og funksjonalitet. Antall IO-signaler kan variere fra 1000-2000 opp til 30 000-50 000 signaler på de mest avanserte cruiseskipene og offshorefartøyene.

Det er da lett å skjønne at det stilles store krav til design, testing og operasjon av komplekse automatiseringssystemer. Siden mange av disse er viktige for sikker og god drift av fartøyet, stilles det krav til disse fra myndigheter og klasseselskaper. Det Norske Veritas er et verdensledende klasseselskap som lager standarder og regler for skip og rigger, inkludert marine reguleringsystemer.



**Elektrisk kraftforsynings-, propulsjons- og automasjonssystem på en DP-borerigg (ABB)**

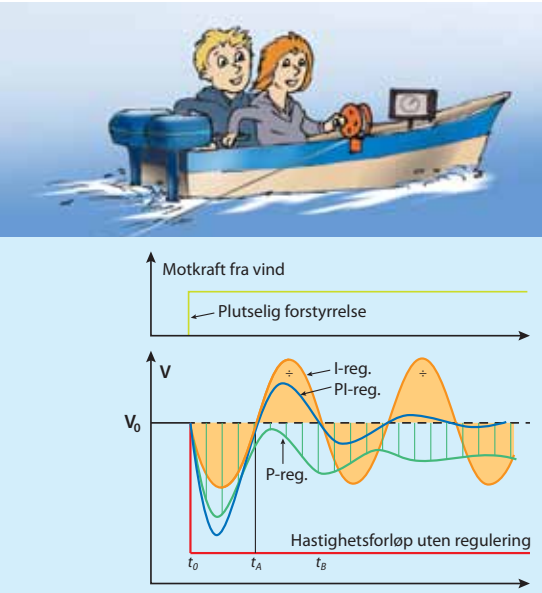


### Undringsoppgave:

Hvilke to systemer om bord tror du har størst behov for elektrisk energi?  
Hvilke fargekoder er brukt for systemet som produserer den elektriske kraften?

## Reguleringssystemer for skip i fart

# Hastighetsregulering. Litt om regulatorer



### Pia og Ivar eksperimenterer med regulering av båtfarten på dorgefiske

#### --- Ønsket fartsforløp

#### — Fartsforløp uten regulator

#### — Virkelig fartsforløp når Pia arbeider som P-regulator.

Hun øker da med mellomrom det opprinnelige pådraget med et tillegg som er proporsjonalt med fartsfeilen  $v_0 - v_P$ , vist med grønne, vertikale linjer.

#### — Virkelig fartsforløp når Ivar arbeider som I-regulator.

Dette forutsetter at han da med mellomrom justerer pådraget proporsjonalt med oppsummerte, totale fartsfeil forut for pådragsjusteringen. Ivar må dermed hver gang vurdere arealet mellom virkelig og ønsket fartsgraf. Ved  $t_A$  har båten oppnådd sin opprinnelige fart. Ikke uventet fører en slik reguleringsmetode til at pådraget da har blitt for stort. Ivar må derfor begynne å redusere pådraget igjen. Ved  $t_B$  er situasjonen blitt den samme som ved  $t_0$ , og Ivar må starte forfra igjen.

#### — Virkelig fartsforløp når Pia og Ivar arbeider samtidig.

Se også oppgave 8-11.

Foran har vi hovedsakelig sett på hvordan skip og plattformer kan holdes i ro uten bruk av ankere, men vi skal nå bruke resten av kapitlet på anvendelse av reguleringsteknikk i seilende fartøyer. Vi vil da først se nærmere på reguleringssystemer for å holde konstant hastighet og fast kurs (autopilot), og deretter systemer for bevegelsesdemping av hurtiggående fartøyer. Vi vil samtidig komme litt inn på regulatorteori. Foran, på side 8-9, har vi nemlig brukt uttrykk som PID-regulator og proporsjonal (P), integral (I) og derivat (D) tilbakekopling, uten å forklare nærmere hva disse ordene egentlig betyr. Vi vil her forsøke å bøte litt på dette.

### Eksempel: Regulering av hastighet på dorgebåt

Vi bruker dette som et eksempel på hvordan virkemåten for en PID-regulator kan forklares på en "populær" måte og lar våre to "undringselever" (Pia og Ivar) prøve seg som dorgefiskere. Under dorging er det meget viktig å holde konstant og riktig hastighet på båten slik at anget holder en bestemt høyde over sjøbunnen.

#### Hastighetsregulering med proporsjonalregulator (P-regulator)

Først er det Pia som prøver seg som fisker. Båten er utstyrt med lesbar fartsmåler. Hun finner fort en passende fart og holder denne konstant. Plutselig blåser det imidlertid opp med kraftig vind rett mot båten som dermed raskt får en redusert fart. Pia følger derfor med på fartsmåleren og forsøker hele tiden å øke pådraget proporsjonalt med differensen mellom ønsket og avlest fart. Hun jobber dermed som det vi kaller en P-regulator. Dette gir båten et fartsforløp som skissert. Pia slår seg til ro med at sluttfarten blir mindre enn ønsket, fordi hun ser at denne tross alt er blitt bedre enn om hun ikke hadde regulert pådraget i det hele tatt. Dessuten vil hun ikke belaste motoren for mye.

#### Fartssregulering med integralregulator (I-regulator).

Neste dag vil Ivar prøve seg. Også han opplever den samme, plutselige vinden og får dermed den samme fartsreduksjonen på båten. Ivar regulerer imidlertid pådraget på en helt annen måte enn Pia. Han øker pådraget stadig inntil farten har kommet opp igjen på ønsket verdi. På en måte oppsummerer, integrerer, han alle forangående fartsfeil og øker pådraget proporsjonalt med denne totalverdien. Denne metoden gir imidlertid et pådrag som er blitt for stort når farten, når den opprinnelige verdien (ved tidspunktet  $t_A$ ). Båten vil fortsette å øke farten og den vil bli for høy hvis Ivar ikke foretar seg noe. Han må derfor begynne å redusere pådraget igjen, og videre fartsforløp blir som vist på figuren. Pådraget bestemmes av de arealer som fartsfeilene har generert til enhver tid.

**Fartssregulering med PI-regulator.** Det kan synes som om I-regulatorer ikke er noen god løsning når de brukes alene. Målet med reguleringen var å holde farten tilnærmet konstant. Middelerdien er som ønsket, men de store svingningene er uheldige. Brukes de to metodene samtidig, blir imidlertid resultatet tilfredsstillende, som den blå grafen på figuren viser. Da har vi altså tenkt oss at Pia og Ivar betjener sine pådragsorganer samtidig, men basert på hver sin metode,



**Hastighetsregulering med PID-regulator.** Enda bedre hadde resultatet blitt hvis vi kunne tenkt oss at Pia og Ivar tok med seg en tredje person, Dora. Hun skulle i så fall ha hatt som oppgave å regulere pådraget først og fremst når båtens hastighetstap skjedde *raskt*. Dora var matematiker og skjønnte fort at hun da måtte finne ut hvor "hastighetsgrafene" hadde det bratteste forløpet. Dette var umiddelbart etter at vinden satte inn. Dora tenkte seg hvordan den deriverte av grafen ville forløpe og ga på pådrag som var proporsjonalt med den deriverte. En slik regulator med derivatvirkning (D-virkning) i tillegg til P- og I-virkningene kaller vi en PID-regulator. Den vil arbeide enda raskere og bedre enn PI-regulatoren.

### Matematisk formulering av PID-regulatoren

En virkelig PID-regulator arbeider som illustrert i figurer til høyre. I prinsippet beregner den signalet til pådragsorganet som funksjon av reguleringsavviket  $e = v - v_0$  etter følgende ligninger

Pådrag = nominelt pådrag + pådrag fra P-ledd + I-ledd + D-ledd

$$u = u_0 + K_p \cdot e + K_i \cdot \int e \cdot dt + K_d \cdot \dot{e}$$

$u, u_0$  og  $e$ : Forklart i figuren øverst til høyre

$K_p, K_i$  og  $K_d$ : Konstanter som finnes ved prøving og feiling

$\int e \cdot dt$  = integralet av reguleringsavviket over en viss integraltid.

Dette er et uttrykk for *summen av reguleringsavvikene* (mellom virkelig og ønsket verdi, for eksempel båthastigheten) i løpet av en viss tid

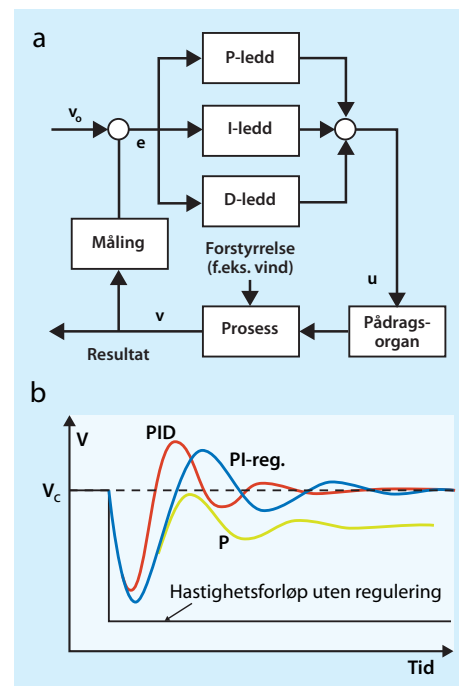
$\dot{e}$  = den tidsderivate av reguleringsavviket. Skrivemåte med prikk i stedet for "de/dt" brukes ofte i teknikken. Dette leddet sørger altså for en regulering etter hvor raskt endringen i reguleringsavvikene opptrer

De tre leddene P, I og D i en PID-regulator ivaretar hver sin karakteristiske funksjon. **P-leddet** gir ut et pådrag som er proporsjonalt med det reguleringsavviket som til enhver tid mottas. Dersom forstyrrelsen skjer som et sprang, er avviket størst i begynnelsen, og P-leddet gir relativt raskt ut en kompensering for dette. Selv om sluttresultatet ikke gir null i reguleringsavvik, har tross alt P-leddet **relativt raskt** og effektivt "gjort unna" den vesentligste delen av reguleringsarbeidet.

**I-leddet** har en tregere funksjon, men det er dette leddet som sørger for et **tilfredsstillende sluttresultat**, nemlig et reguleringsavvik som er nesten lik null. Årsaken til at I-leddet er tregere, er at det skal integrere, altså "summere" alle avvik. Det må derfor "vente på" å få med de siste avvikene, selv om disse er små og betyr lite i sluttsummen.

Som det framgår ovenfor, har **D-leddet** en såkalt derivatvirkning. Det regulerer pådraget etter den tidsderivate av reguleringsavviket, altså hvor **fort avviket forandres**. PID-regulatoren arbeider derfor raskest av alle.

**Stabilitet.** Tilbakekopling inngår i de fleste reguleringsystemer, men metoden kan resultere i ustabilitet, se "boks" i margen



**a. Blokkdiagram for en PID-regulator med tilbakekopling**

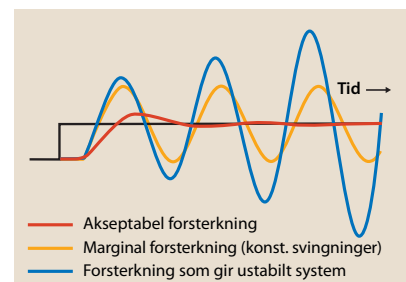
I figuren betyr:

$v_0$  = ønsket utgangsverdi (referanse)

$v$  = resultat (utgang fra prosessen)

$e = v - v_0 =$  reguleringsavvik

**b. Sammenligning av pådragsrespons fra P-, PI- og PID-regulatorer på en tenkt, sprangvis motvindsforstyrrelse av en båts hastighet. Vi tenker oss at båten med motor reagerer meget raskt på endringer i vind og pådrag**



Med **ustabilitet** mener vi at systemets utgangssignal begynner å svinge med voksende amplitude som vist ovenfor. Dette kan skyldes at det blir brukt for store forsterkninger i systemet eller at det er for store tidsforsinkelser i dette. Det er som regel lett å lage stabile, men tregere systemer. *Utfordringen er å lage reguleringsystemer som er både stabile og raske.*

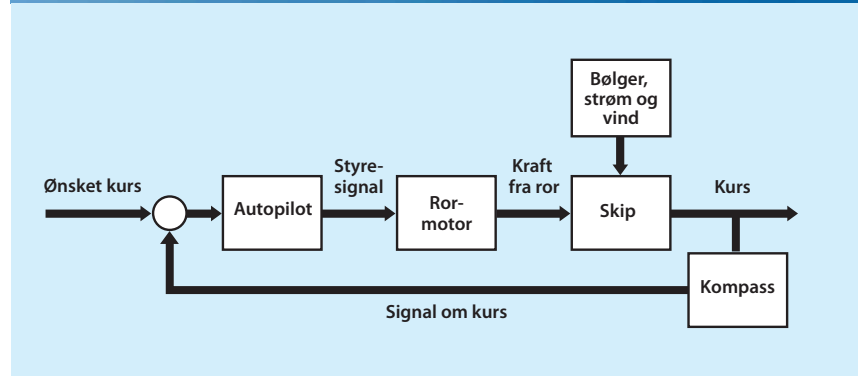
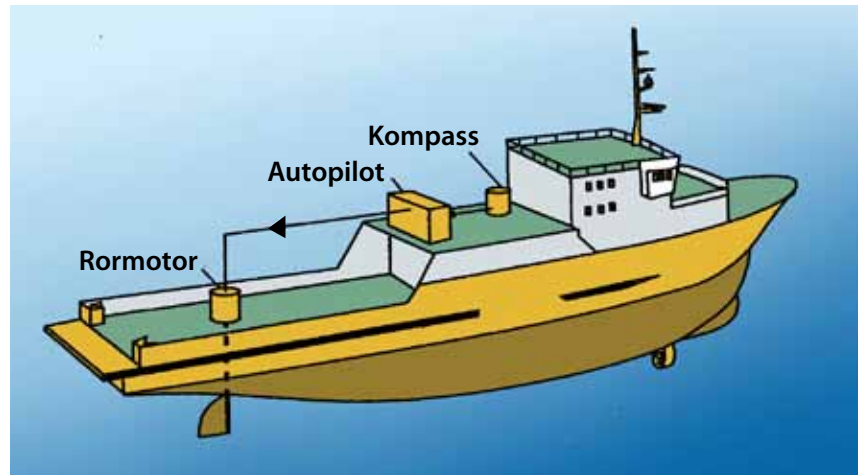
## Reguleringsystemer for skip i fart

# Automatisk styring av fartøyer (autopilot)



**Eksempel på seilingsrute for autopilot med datamaskin.**  
 En rekke GPS-baserte kontrollpunkter programmeres. Autopiloten sørger for at skipet sikter seg inn mot det nærmeste punktet. Når skipet begynner å nærme seg dette, vil autopiloten sørge for at det begynner å sikte mot neste punkt.

Automatisk styring av seilskip var en av de første oppgaver som ble forsøkt løst ved hjelp av reguleringsteknikk. Under stabile strøm- og vindforhold ble et lite "styreseil" med mekanisk forbindelse til rorkulten brukt til å påvirke roret slik at fartøyet automatisk holdt en tilnærmet fast kurs.



### Undringsoppgave:

Vi undrer oss på hvordan vi kan lage et blokkdiagram for informasjonsflyten i et system for manuell styring av båten på side 8-14 når denne skal holde konstant hastighet

**Holding av fast kurs.** Et autopilotsystem i dag benytter seg av et kompass der avviket mellom ønsket og virkelig kurs påvirker en kursregulator (autopilot) som styrer en rormotor. Kompasset kan være et magnetkompass, men er oftest et gyrokompass.

Avanserte skip er i dag utstyrt med datamaskinbaserte systemer som sørger for å holde riktig kurs, men som også følger med i det totale trafikkbildet og varsler når det oppstår fare for kollisjon eller andre farlige situasjoner.

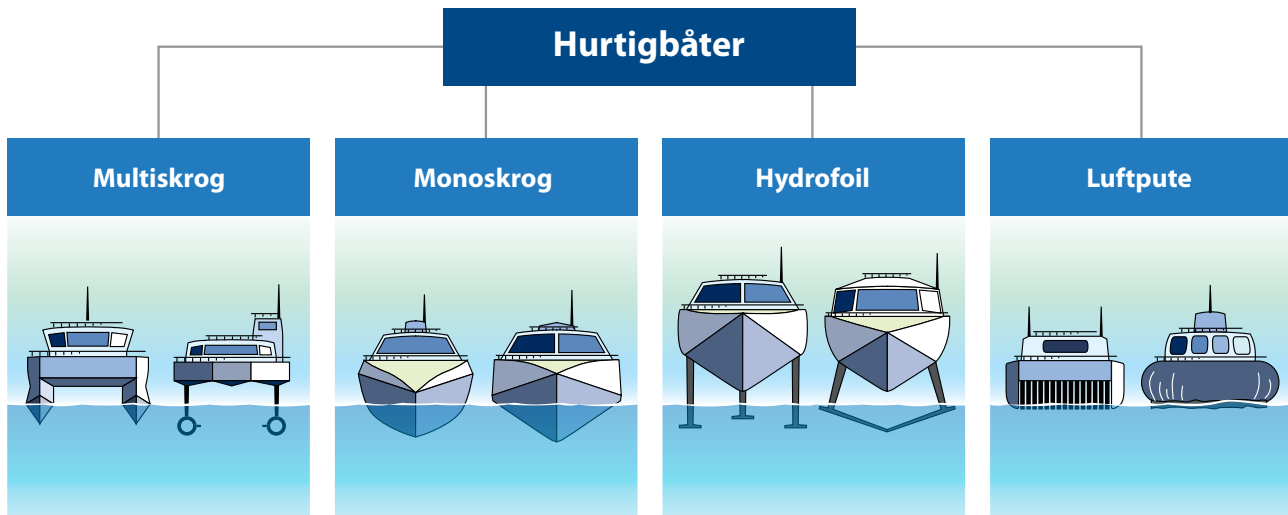
**Programmerte seilingsruter.** I dag er gjerne autopilotsystemene datamaskinbaserte. Da kan detaljerte seilingsruter programmeres inn for navigasjon i kompliserte farvann eller for å unngå farvann med uheldige værforhold.

Sammen med radarer kan datamaskinene også holde rede på kursene til andre fartøyer og varsle når det oppstår fare for kollisjoner eller andre farlige situasjoner.

## Reguleringsystemer for skip i fart

# Bevegelsesdemping i hurtiggående fartøyer

**Oversikt over typer hurtiggående fartøyer.** En sammenstilling av de forskjellige typer hurtiggående fartøyer er vist nedenfor. Vi har beskrevet slike fartøyer tidligere, se sidene fra 3-18 til 3-23, og det skulle ikke være nødvendig å karakterisere dem nærmere nå.



*Oversikt over typer hurtiggående fartøyer*

**Hvorfor er det nødvendig med bevegelsesdemping?** Hurtiggående fartøyer er vanligvis relativt små. De vil derfor lett utsettes for store bevegelser. Dessuten brukes de først og fremst til transport av passasjerer, noe som medfører ekstra krav til komforten. Slike fartøyer blir derfor alltid utstyrt med reguleringsystemer for bevegelsesdemping. Det er særlig de vertikale akselerasjonene forårsaket av hiv, rull og stamp som man forsøker å redusere.

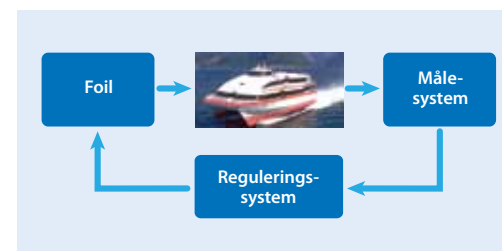
### Bevegelsesdemping av ettskrogsfartøyer og katamaraner.

Disse utstyres med regulerbare foiler langs skroget. Man måler fartøyet akselerasjoner, og et reguleringsystem sørger for regulerende aktivering av foilene, som prinsipielt vist til høyre. Det brukes gjerne PID-regulatorer.

Regulerbare foiler brukes også for andre typer fartøyer enn de hurtiggående, for eksempel på cruiseskip og andre skip hvor det stilles ekstra krav til demping.

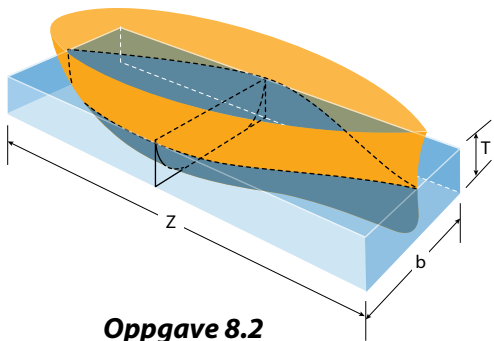
**Demping av hydrofoilfartøyer.** Her blir reguleringsystemene svært avanserte. Det kreves rask respons, og de ulike foilene må reguleres i forhold til hverandre slik at fartøyet ikke blir ustabilt. Det må være to parallelle sensorer for å øke evnen til å håndtere feil.

**Luftputefartøyer.** Som tidligere beskrevet, bruker slike fartøyer vifter til å blåse inn luft mellom skrogene og skjørtene foran og bak. God bevegelsesdemping i bølger oppnås ved å regulere trykket i luftputa. Dette gjøres ved å åpne og lukke ventiler plassert på gunstige steder langs luftputa.





# Oppgaver



## Oppgave 8.2

### Definisjon av begrepet blokkkoeffisient $C_b$ (se side 2-4)

$$C_b = \nabla / (L_{pp} \cdot B \cdot T)$$

De forskjellige skipstyper har sine karakteristiske blokkkoeffisienter. For eksempel oppgir [8.3] for full-lastede skip følgende verdier for  $C_b$

ULCC (se side 9-22): 0,85

Supertanker (se side 9-22): 0,825

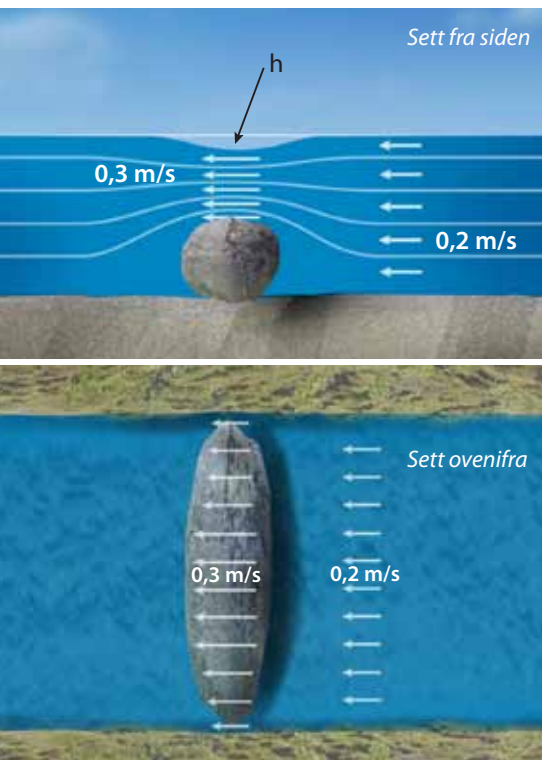
Andre tankskip: 0,80

Bulkskip: 0,775-0,825

Vanlige lasteskip: 0,70

Passasjerskip: 0,625

Containerskip: 0,565



Illustrasjon til oppgave 8.4 d

## Oppgave 8.1

- Hva er forskjellen mellom styring og regulering av en prosess?
- Hva mener vi med et autonomt skip?
- Forkortelsen DP-er et begrep som er mye brukt i havromsteknologien. Hva er dette en forkortelse for? Forklar nærmere hva vi mener med begrepet.

## Oppgave 8.2

- Hva er forskjellen mellom styring og manøvrering av et skip?
- To skip, A og B, har begge et volumdeplasement på 30 000 m<sup>3</sup>. Skip A har lengde, bredde og dypgang på henholdsvis 177,4 m, 29,6 m og 9.8 m. Skip B har lengde og bredde på henholdsvis 167,2 m og 20,9 m, og en blokkkoeffisient på 0,82. Marker A og B som punkter i diagrammet på side 8-4. Hvilket skip har best retningsstabilitet?
- Hva slags skip tror du A og B kan være?

## Oppgave 8.3

Det vises til side 8-5 om virkninger som skip utsettes for når de kommer inn på grunt vann (som er fullt åpent sideveis). Analyser av en rekke slike tilfeller har gjort det mulig å etablere følgende "tommel-fingerregel" for hvor mye dypgangen da øker. Den maksimale økingen (squat) kan tilnærmet beregnes slik:

$$\text{Maks. squat} = C_b \cdot v^2 / 100 \text{ [m]}, \text{ gjelder for } H/T = 1,1 - 1,4$$

Her er:

$C_b$  = skipets blokkkoeffisient, se side 2-4. Hvis  $C_b > 0,70$  vil maksimal squat opptre ved baugen,  $C_b < 0,70$  gir maksimum squat akterut og  $C_b \sim 0,70$  gir jevn squat langs hele skipet  
 $v$  = skipets hastighet relativt til vannet, innsatt i knop

Du skal nå beregne hva som skjer med en supertanker som seiler med en fart på 10 knop gjennom Øresund hvor vanddybden er ca. 17 m. Skipets blokkkoeffisient er 0,83, og dypgangen er normalt 14 m.

- Vis at forholdet  $H/T$  er innenfor gyldighetsområdet for formelen.
- Beregn økt dypgang (squat), som altså opptre ved baugen.
- Hvor stor er  $H/T$  for "Allure of the Seas" i dette farvannet? Dypgangen finner du på side 9-30.

## Oppgave 8.4

- Forklar hvorfor et skip vil få større dypgang ved stor enn ved liten fart, også når det er på dypt vann.
- Forklar hvorfor trykkfordelingen under et skip blir som vist på side 8-5
- Hvorfor blir det mye større undertrykk ved en gitt fart på grunt vann enn på dypt vann?
- Beregn dynamisk trykkreduksjon langs strømlinjene i en bekk hvor strømningsastigheten øker fra 0,2 til 0,3 s, som vist på figur. Oppgi trykkreduksjonen i Pa. Hvor stor senking ( $h$ ) av overflaten svarer dette teoretisk til? I virkeligheten er nok senkingen betydelig mindre enn vist. Hvorfor?

**Oppgave 8.5**

- Er det noen forskjell på en propell og en thruster?
- Hvorfor er konvensjonelle ror alltid plassert bakerst på et skip?

**Oppgave 8.6 (vanskelig, passer kanskje best som gruppearbeid)**

Det vises til side 8-6. Vi har foran, på sidene 3-14 og 3-29, beregnet total framdriftsmotstand for et skip med volumdeplasement på ca. 28 000 m<sup>3</sup> og dimensjonert en passende propell. Nå skal vi se nærmere på dette skipets ror. Nødvendige data er satt opp i marginen. Gruppen skal beregne sideveis "løftkraft" på roret når dette er svingt 15 grader. Gjennomfør beregningene i følgende rekkefølge:

- Bruk medstrømsfaktoren  $w$  til å beregne propellens framgangshastighet i vannet og generert skyvekraft fra propellen.
- Bruk ligningen for skyvekraft midt på side 8-6 til å etablere en annengradsligning hvor hastighetsøkingen fra propellen ( $\Delta v$ ) er ukjent. Løs ligningen, og bestem tilnærmet hastighet forbi roret ( $v_{\text{ror}}$ ).
- Løfttall og "løftkraft" for roret
- Beregn propellens slipp i forhold til stille vann

**Oppgave 8.7**

- Beregn kraft mot et skip fra vind med hastighet 18 m/s rett mot skipet. Skipets frontareal er 240 m<sup>2</sup>. Bruk vindmotstandstall 0,6 og lufttetthet 1,2 kg/m<sup>3</sup>
- Bruk formel fra side 3-27 til å beregne nødvendig turtall på propellen for at skipet skal holde seg i ro. Nødvendige data for propellen er gitt i marginen.
- Senere øker reguleringssystemet propelltallet med 6 %. Hvor mange prosent har vindens hastighet rett mot skipet da øket med?

**Oppgave 8.8**

- Forklar hva vi mener med tilbakekopling i et reguleringssystem
- Besvar "undringsoppgaven" på side 8-9

**Oppgave 8.9**

- Hvorfor kompenseres det bare for saktevarierende bevegelser i et DP-reguleringssystem?
- Besvar "undringsoppgaven" på side 8-11

**Oppgave 8.10**

- Besvar "undringsoppgaven" på side 8-13

**Oppgave 8.11**

Nederste figur til høyre viser pådragsresponsen fra de P-, I- og PI-regulatorer som skjematisk er omtalt på side 8-14.

- Det framgår at responsen fra I-regulatoren er mye større når den arbeider alene enn når den inngår i et PI-system. Kan du forklare det?
- Hva er hovedhensikten med å ha med en I-regulator i systemet?

**Data til oppgave 8.6**

Hastighet: 20 knop

Rorutslag:  $\alpha = 15$  grader

Totalmotstand (tauingsmotstand):

$$R = 1312 \text{ kN}$$

Skrogvirkningsgrad: 1,0

Erfaringsformel for rorareal:

$$A_{\text{ror}} = k \cdot L_{\text{pp}} \cdot T \text{ [m}^2\text{]}$$

Vanlige verdier for containerskip:

$$k = 1,2-1,7 \%$$

Lengde:  $L_{\text{pp}} = 167 \text{ m}$ ,

Dypgang:  $T = 7,6 \text{ m}$

Areal på ror: 18 m<sup>2</sup> ( $k=1,5$ )

Høyde på ror:  $s = 6,0 \text{ m}$

Midl. kordelengde ror:  $c_m=3,0 \text{ m}$

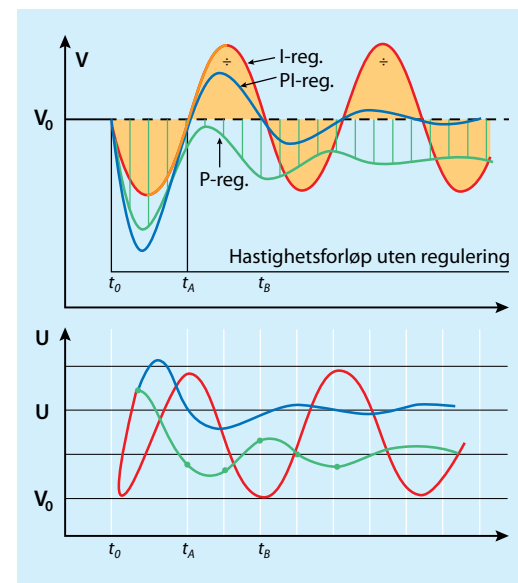
Medstrømsfaktor:  $w = 0,20$

Skrogvirkningsgrad settes 1,0

Propelldiameter:  $D_p = 6,0 \text{ m}$

Propellstigning:  $S_p = 0,75 \cdot D_p$

Propellturtall:  $n_p = 150 \text{ o/min}$





## Referanser

- 8.1 Asgeir Sørensen: Marine Control Systems. Propulsion and Motion Control of Ships and Ocean Structures. Lecture notes. Report UK-13-76. Department of Marine Technology, NTNU. Trondheim 2013
- 8.2 Jens G. Balchen, Trond Andresen, Bjarne Foss: Regulerings-teknikk. Institutt for teknisk kybernetikk, NTNU. 2003
- 8.3 Klaas van Dockum: Ship Knowledge. A Modern Encyclopedia. Gth Edition, 2010  
Dokmar, Enkhuizen, The Netherlands@
- 8.4 Dr C. B. Barras: Ship Design and Performance for Masters and Mates. Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford. 2004