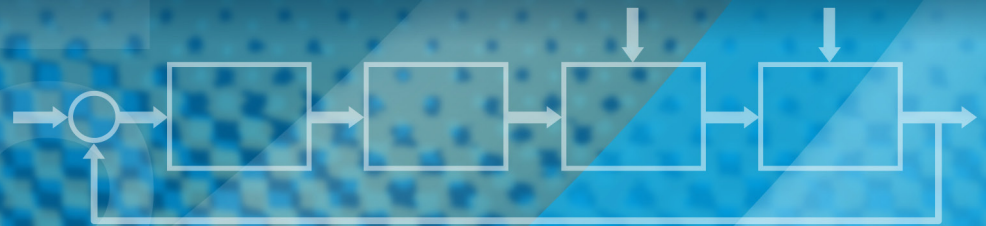




Forfattere: Håvard Holm, Asgeir Sørensen

Styring og regulering



Innhold:

Innledning.....	2
Manøvrering av skip.....	4
Styring av skip.....	6
Reguleringssystemer for holding av skip eller plattform i fast posisjon.....	8
To hovedprinsipper for regulering :	
Foroverkobling og tilbakekobling.....	8
Mer om DP reguleringssystemer.....	10
Datasytemer og automatisering.....	12
Reguleringssystemer for skip i fart.....	14
Hastighetsregulering.....	14
Kursregulering.....	16
Bevegelsesdemping av hurtiggående fartøy.....	17
Litteratur henvisninger.....	18

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 dette med en referanseverdi og som sørger for at forstyrrelsen kompenseres i ønsket grad. I motsetning til styring karakteriseres altså regulering av en prosess 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. Det gjelder også i dette kapitlet. Videre er det også enkelte som foretrekker å bruke ordet kontroll i stedet for både styring og regulering.

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 cruise-kontroll på biler, varmestyring av hus, hodetelefoner med støyreduksjon, styring av harddisker på PC og DVD-spillere, osv., osv.

Også i konstruksjoner til havs møter vi massevis av situasjoner som bare kan løses ved hjelp av styring og regulering. 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 oversikten over 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 brukes ror, propeller og/eller thruster 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 fartøyets orientering og vind-sensorer måler vindhastighet og retning. Målesignalene analyseres i en regulator, som sender passende signaler videre til pådragsorganene.



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 10-36)
- Kranfartøyer og flere av de andre serviceskipstypene som brukes i offshoreaktiviteter (se side 10-25)
- Flytende borerigg (se sidene 8-11 og 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 bruke av ankere. For eksempel gjelder dette cruiseskip

Reguleringsystemer for skip i fart

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

- automatisk styring av ror og propell, slik at et skip holder fast kurs uansett værforhold, såkalt autopilot.
- Regulering av forover hastighet på konstante, valgte verdier
- Regulering av ror og propell for å følge væravhengige ruter som gir optimalt brenselforbruk
- Regulering av flaps (eller luftputer) for å gi minst mulige vibrasjoner og andre, uønskede bevegelser for passasjerer og mannskap i hurtig-gående fartøy. Særlig er rulling ubehagelig og demping av denne viktig

Andre behov for reguleringsystemer 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.
- Også for **fiskeri- og havbruksteknologien** er regulerings-tekniske systemer av største viktighet, se sidene 12-xx og 12-xx.
- Utnyttelse av havet til **fornybar energi** gir store regulerings-tekniske 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 regulerings-teknikk
- Ha fått innføring i dynamisk posisjonering
- Forstå hvordan et autopilot-system virker



NTNU har flere undervanns-roboter 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



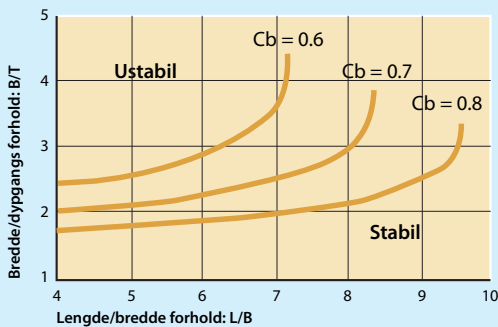
Undringsoppgave:

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. Fra [9.2] Se for øvrig side 8.7



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.

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 rolle og hvordan et skips manøvrerbarhet kan testes.

Retningsstabilitet

Forskjellige skipstyper har ulike krav til retningsstabiliteten.

På figuren under ser vi at et skips retningsstabilitet er avhengig av lengde (L), bredde (B), volumdeplasement (V) og forholdene mellom disse: L/B , B/T og $C_b = V / (L \cdot B \cdot D)$ (blokk koeffisienten). 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 relativt 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 8-10. Cruiseskip stiller også tidvis store krav til både retningsstabilitet og styrbarhet. Dette løses med å installere svingbare propeller eller såkalte azimuther og podder.

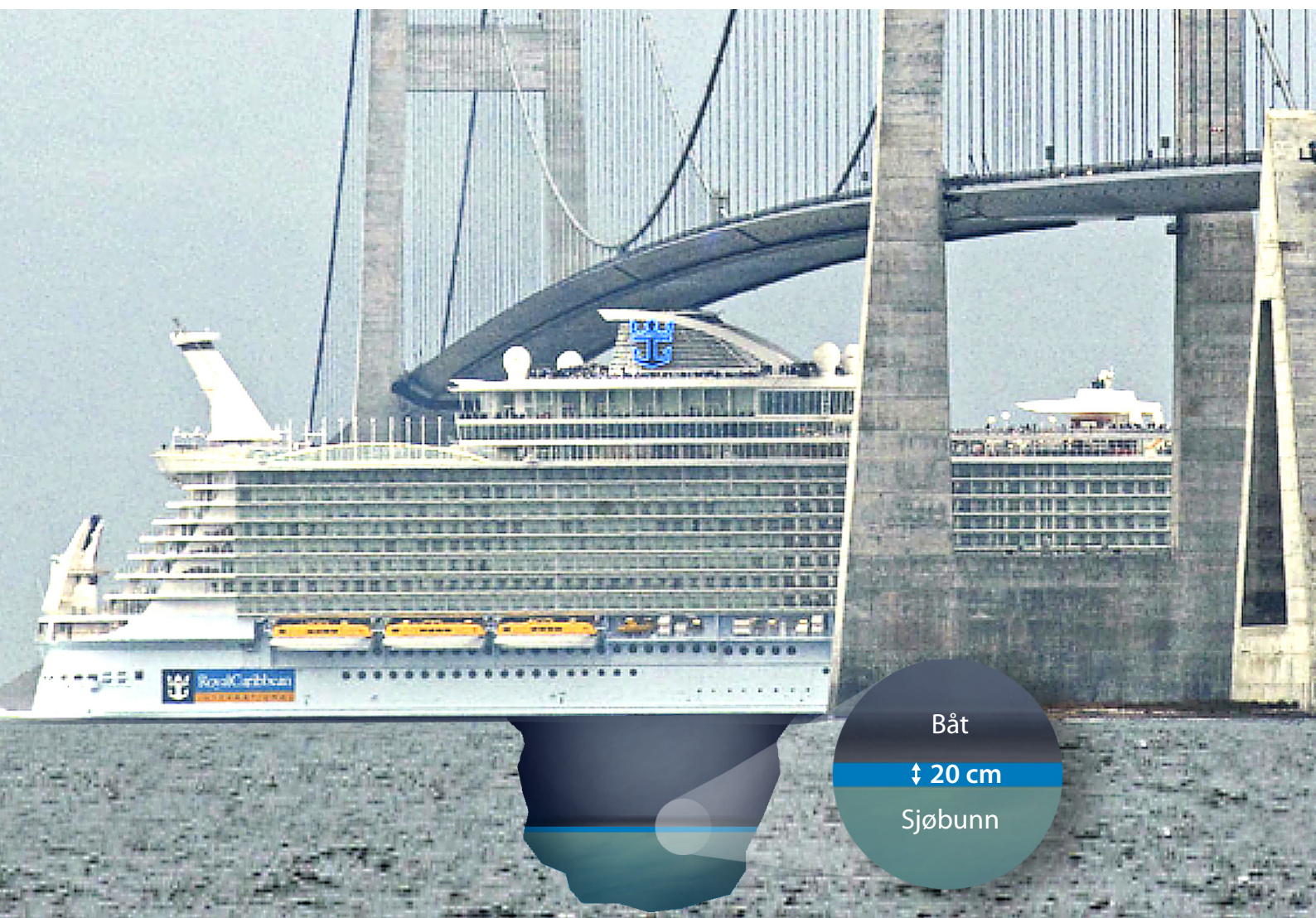
Optimalisering av rorbruken. På skip brukes roret til å utføre kursendringer og stabilisering av skipet. Mye bruk av roret er imidlertid uheldig fordi det gir økt motstand, økt energibehov samt slitasje i rormaskinene. Dette er en typisk avveining i reguleringsteknikken når energiforbruk og slitasje 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 standardiserte 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° den ene og den andre veien. Et krav som ofte settes er at vinkelen skal være mindre enn 10° dersom $L/V < 10$ s, og mindre enn 20° dersom $L/V > 30$ s.

Konstant turn over. Roret legges over 35° eller mer, svingradius bør da ikke bli mer enn $5 \cdot L$.



Båt

↑ 20 cm

Sjøbunn

Initial sving evne. Roret legges over 10° . Når skipet har dreid 10° 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 oppnå null hastighet før det har tilbakelagt en strekning på $15 \cdot L$.

Cruiseskipet MS Allure of the Seas (RCCL) under den danske Storebæltbroen på jomfruturen fra verftet i Finland.

Manøvrering kan være så mangt. Her var det faktisk nødvendig å øke farten for å komme fram!

Skipet var så høyt at toppmasten og skorsteinen måtte demonteres for at det kunne passere. Skipet måtte dessuten øke hastigheten under passasjen, slik at det "satte seg" dypere i vannet. Dypgangen økte da ytterligere fordi klaringen mellom skipets bunn og sjøbunnen var meget liten. Forklaringer, se undringsoppgaven.

Undringsoppgave:

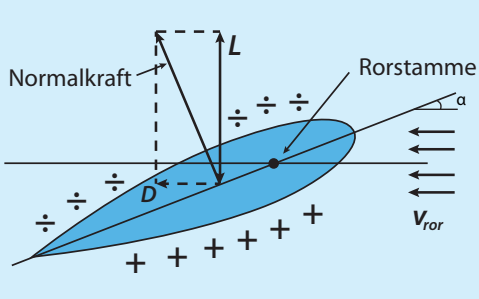
Som det framgår av figurteksten til høyre, vil et skip "sette seg" dypere i vannet når det

- øker hastigheten
- passerer et farvann som gir liten klaring mellom skips- og sjøbunn

Hvordan kan vi forklare begge deler?



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 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 α og uavhengig av profilkrumningen. Konstantleddet 0,3 i ligningen nederst på side 3-22 faller derfor bort, slik at "løfttallet" blir

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

Her er s = rorets spenn (høyde) og c_m = midlere kordelengde

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

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

Vi har tidligere (side 3-26) pekt på at et skip under fart 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 hastighetsøkningen Δv som svarer til den skyvekraften T som propellen genererer. Halvparten av hastighetsøkningen skjer allerede før innløpet, forårsaket av propellens sugevirkning. Ifølge Newtons 2. lov (se side 3-25), eller impulsloven, kan vi da bestemme den hastighetsøkningen Δv som svarer til skyvekraften av ligningen:

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

Dermed kjennes hastigheten inn på roret: $v_{\text{ror}} \sim v_{\text{utp}} = v_s - w \cdot v_s + \Delta v$, og "løftkraften" kan bestemmes av ligningen ovenfor. Se også oppg. 8.1

Høyeffektive ror. Det finnes også såkalte høyeffektive ror. Disse kan gi ekstra rorkraft, noe som kan være nyttig spesielt ved lave hastigheter. Eksempler er flaprør og Schillingror, se neste side.

Fritthengende bladror

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

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

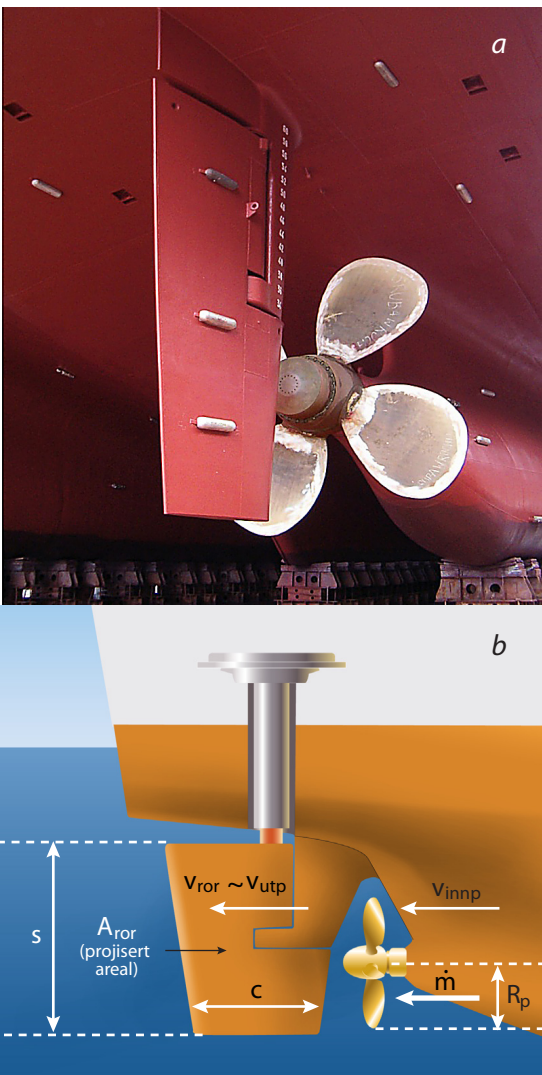
Viktige størrelser som brukes i beregninger av et rors "løftkraft":

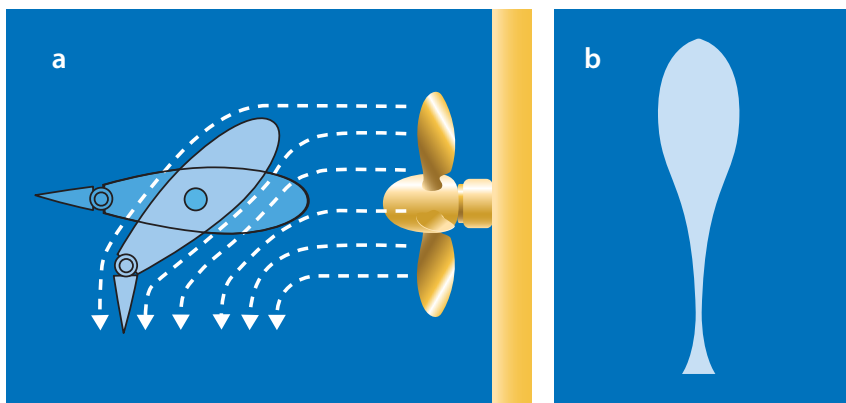
Massestrøm forbi ror (inn propell): $\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho = \pi \cdot R_p^2 \cdot v_{\text{innp}} \cdot \rho$

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

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

Full hastighetsøkning induisert av propellen (Δv) oppnås først i en avstand ca $2 \cdot R_p$ fra propellutløpet, og en midlere verdi for v_{ror} brukes i beregninger av "løftkraften". Spesielt interessant henvises til oppgave 8.1





Styring ved hjelp av propell

Store tankskip har ofte så liten styringsevne at de er avhengige av slepebåt for å legge til kai. Andre skip har behov for stor manøvreringsevne under operasjon, for eksempel offshore forsyningskip. I tillegg til ror kan disse være utrustet med thrusterer både i hekk og baug. Det er da laget en tunnel i skroget og en propell er plassert inne i tunnelen. En annen variant er såkalte azimuth-thrusterer. En azimuth er en propell som kan *svinges* i ulike retninger som bildet nedenfor viser. Enkelte azimuther er konstruert slik at de kan trekkes inn i skroget når de ikke er i bruk.

Azimuther med innebygde *elektromotorer* kan også brukes til å gi framdrift og styring. Disse kalles da ofte podder. Mange cruiseskip, isbrytere og enkelte offshore skip har podder. Derimot på tankskip og containerskip som krysser store havstrekninger (også kalt deep sea skip) brukes propeller med ror. Dette er mer effektivt når skipet skal gå lange strekk uten krav til stor manøvrerbarhet. Både ror og azimuth vinkelutslag kan styres manuelt eller fra et reguleringssystem som automatisk holder skipet på en kurs eller styrer det mot et mål angitt et stykke frem. (Autopilot).



Svingbare azimuth-thrusterer.

Høyeffektive ror. Fra [8.2]

a. Flap-ror og strømning rundt dette. Denne typen har en flap som er lagret opp bakerst på hovedroret og som beveges ved mekanisk overføring fra dette, gjerne slik at det totale vinkelutslaget på flaproret blir det dobbelte av utslaget på hovedroret. I den viste stillingen er det mulig at 40% av propellens skyvekraft dirigeres sideveis. I kombinasjon med en thruster i baugen vil skipet i så fall kunne manøvrere på tvers av lengderetningen. En annen fordel er at vanlige kurskorreksjoner kan foregå med mindre rorutslag. Dette reduserer friksjonstapet på roret og bedrer dermed brenselforbruket.

b. Schilling-ror (fiskehaleror). Dette brukes vanligvis bare på små skip med hastighet mindre enn 15 knop. Effektiviteten av et slikt ror ligger mellom det enkle bladroret og flaproret.



Thrusterer i baugen på et offshore serviceskip.



Undringsoppgave:

Hvorfor er konvensjonelle ror alltid plassert bakerst på et skip?

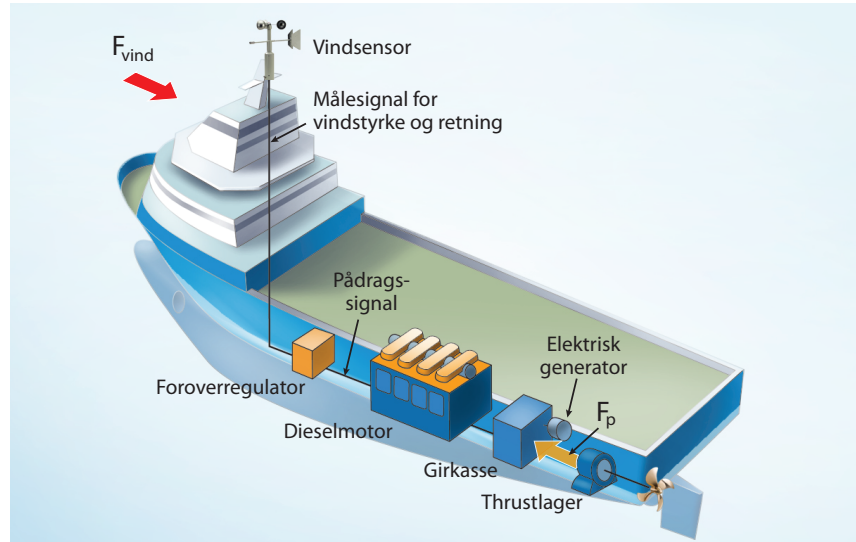
Reguleringsystemer for holding av skip i fast posisjon

To hovedprinsipper for regulering: Foroverkobling og tilbakekobling

Fysisk oppbygging av reguleringsystem med foroverkobling 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 innstilles for at den skal gi ut et pådragssignal til

motorens brenselinnsprøytingsventiler 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 tilbakekobling



Foroverkobling

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 $V_{vind} = 15 \text{ m/s}$, og vi ønsker å kompensere vindforstyrrelsen direkte med hovedpropellen ved bruk av foroverkobling. Fronten av skipet har et samlet tverrsnittsareal $A_x = 200 \text{ m}^2$. Vi kan da regne ut at dette tilsvarer en kraft rett mot skipet med følgende formel:

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

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

Ved direkte foroverkobling, 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:

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

$\rho_{vann} = 1025 \text{ kg/m}^3$ er tetthet til saltvann, $K_T = 0,5$ er propellens skyvekraft funnet med modelltesting i en slepetank 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. Foroverkobling er en *rask metode* 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 foroverkobling med tilbakekobling får vi til en god løsning, se neste side.

Viktige begreper:

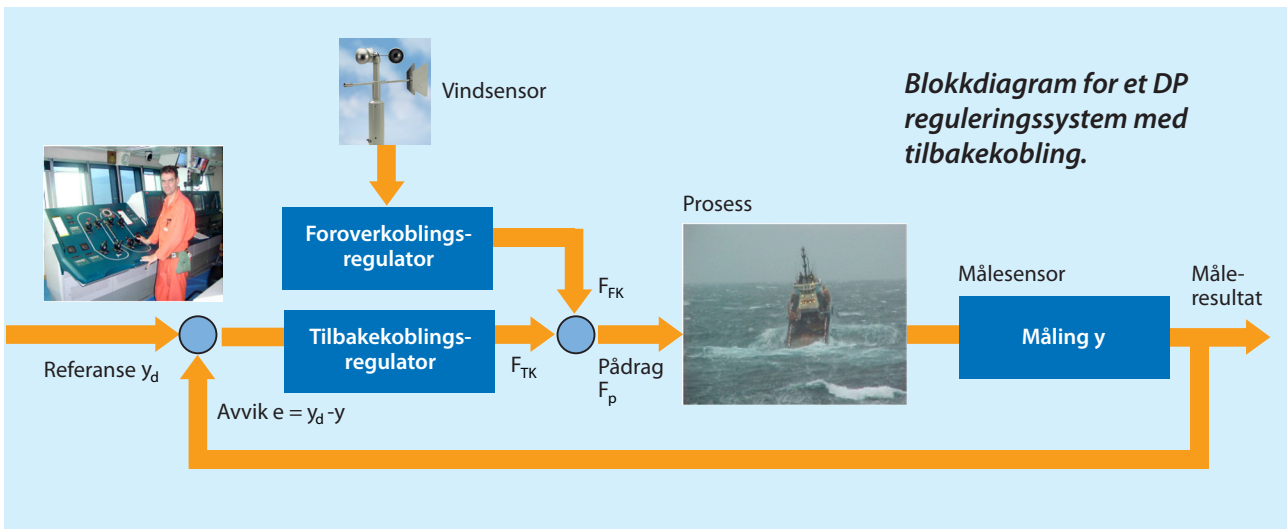
Prosessen:

Hydrodynamiske og aerodynamiske krefter som gir skipsbevegelser

Forstyrrelser:

Bølger vind og strøm.

I eksemplet så vi på vindforstyrrelser



Blockdiagram for et DP reguleringsystem med tilbakekobling.

Tilbakekobling

Det viktigste hovedprinsippet ved regulering er tilbakekobling. I figuren over vises dette sammen med foroverkobling. Regulatoren for tilbakekobling 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 foroverkobling som vist på forrige side og ovenfor. Foroverkoblingsregulatoren er da:

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

V_{vind} er tilgjengelig fra vindsensor. Den enkleste form for tilbakekobling er å konstruere en proporsjonal regulator (P-regulator).

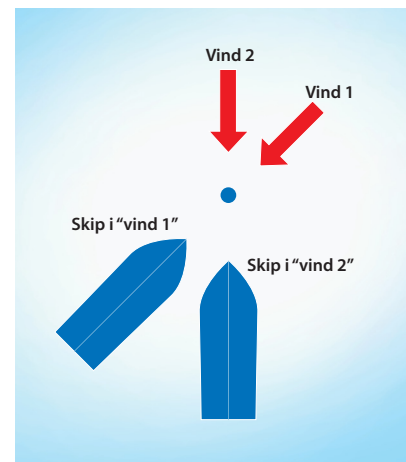
$$F_{TK} = k_p \cdot (y_d - y)$$

$k_p > 0$ 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

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

Tilbakekobling 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) tilbakekobling. Derivat er tilbakekobling 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 tilbakekobling får vi en såkalt PID-regulator. Du kan generelt lese litt mer om regulatorer med derivat og integral tilbakekobling på side 8-15.

Viktige begreper i et reguleringsystem: 1 Forstyrrelser, 2 Måling, 3 Målesensor, 4 Målestøy, 5 Prosess, 6 Pådrag, 7 Pådragsorgan, 8 Tilbakekobling, 9 Tilbakekoblingsregulator, 10 Reguleringsavvik, 11 Styresignal, 12 Tilstand, 13 Ønsket utgangsverdi (referanse)



Riktig retningsorientering for et DP-skip

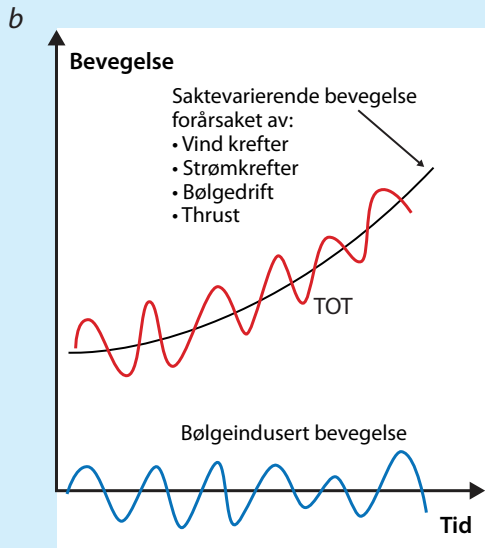
Når et skip skal ligge i ro, er det ikke bare avstanden til et kontrollpunkt som skal holdes konstant. I tillegg må DP-systemet sørge for at skipet alltid "sikter" mot kontrollpunktet, uavhengig av retningen av bølger og strøm.

Undringsoppgave:

På side 8-1 er vist et ikon for et generelt reguleringsystem med tilbakekobling. Vi undrer oss på hvordan tallkodene for de viktige begrepene nederst 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



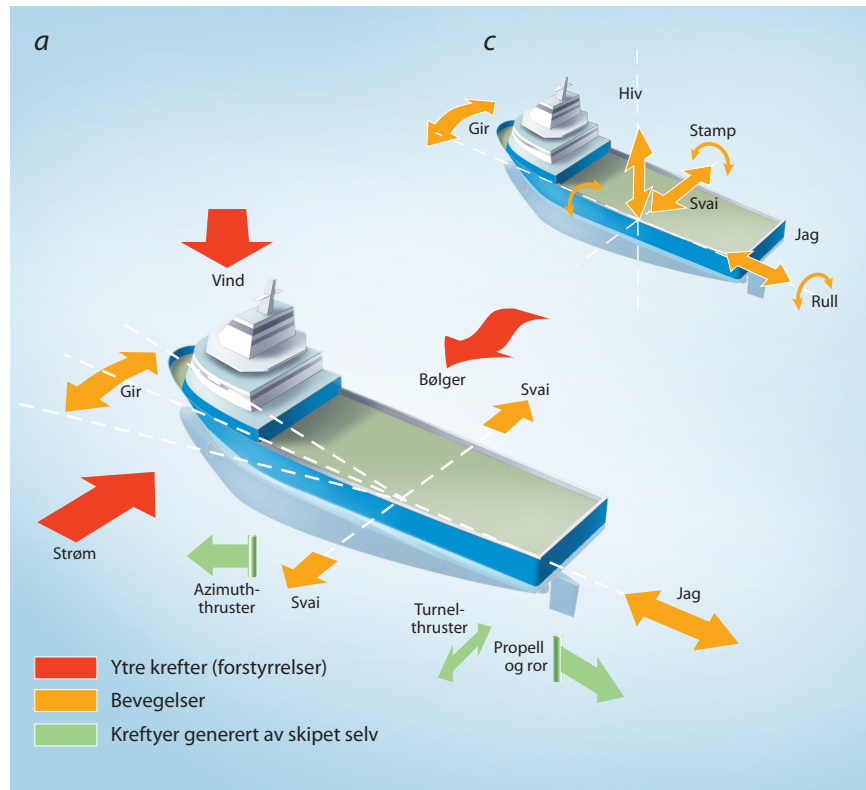
a. Forstyrrelser (ytre krefter), induerte bevegelser og egen-genererte krefter for et DP-skip med kompensasjon av gir, svai og jag. (Kongsberg Maritime). Posisjon måles både av radar og akustiske sensorer montert på havbunnen, med tilbakekobling til regulatorer som gir styresignaler til både forover-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

b. Saktevarierende og bølgeinduserte bevegelser 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 bevegelser 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 disse forstyrrelsene og kunne endre posisjon og orientering om ønskelig.



De totale bevegelserne deles opp i:

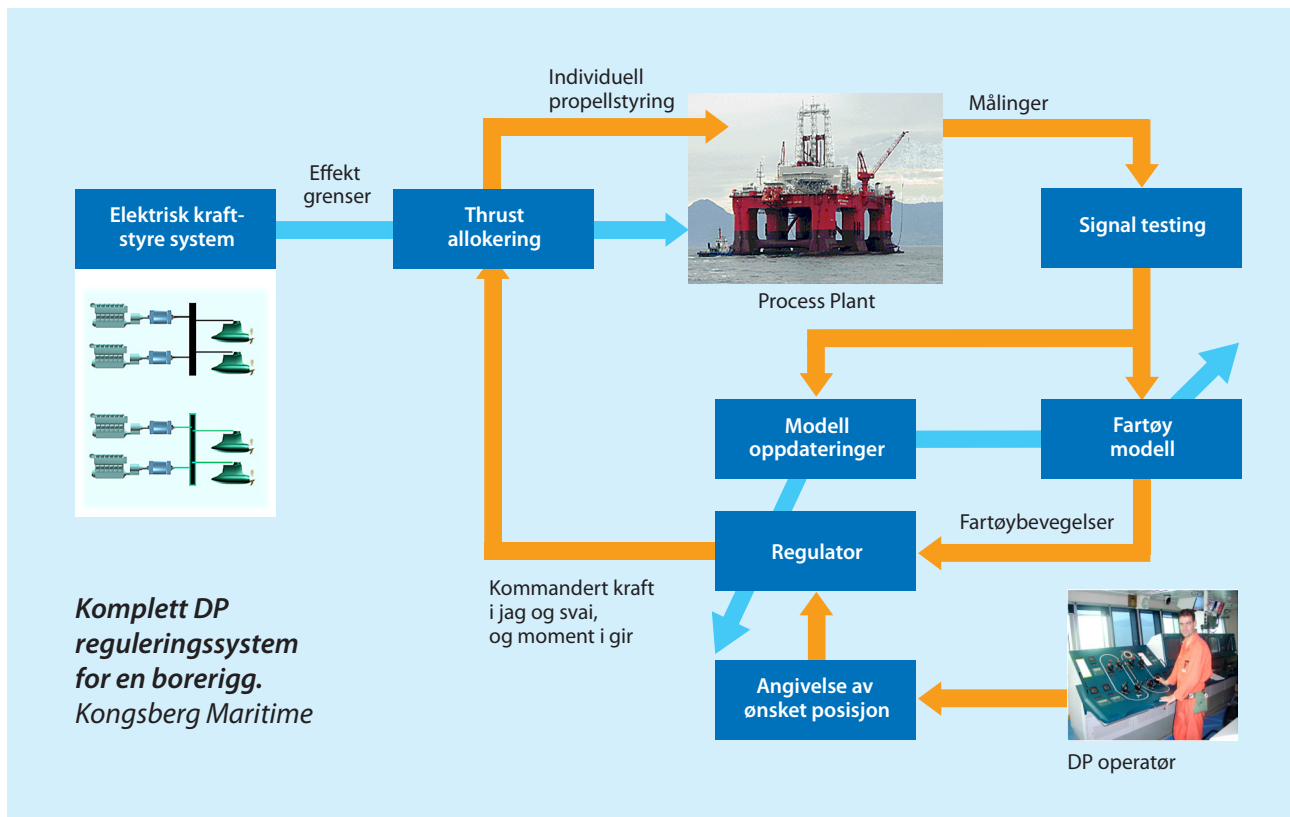
- Bølgeinduserte bevegelser forårsaket av bølgelaster.
- Saktevarierende bevegelser forårsaket av vind, strøm og bølgedrift.

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 bevegelserne**. Dette betyr at vi bør filtrere ut de bølgeinduserte bevegelserne 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 dreibevegelse om en horisontal akse i skipets lengderetning. Dette er en spesielt ubehagelig bevegelse for passasjerer og mannskap. Du kan lese mer om dette på side 8-17.

DP reguleringsystem for borerigg

Utover selve **regulatoren**, som kan baseres på tilbakekobling og for-overkobling, 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/uteliggere 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 referansemoteller som glatter ut settpunktene til regulatoren.

Modeloppdateringer: Avhengig av last om bord og varierende værtilstander er det nødvendige 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 propellere som er installerte, kan dette oppnås på mange måter. For å gjøre dette med minst mulig kraftforbruk der effektgrensene er satt av det elektriske kraftstyre system (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 vanskelig å kompensere for hiv, rull og stamp og ekstra vanskelig, nesten umulig, å kompensere for "hiv" i et DP-system?

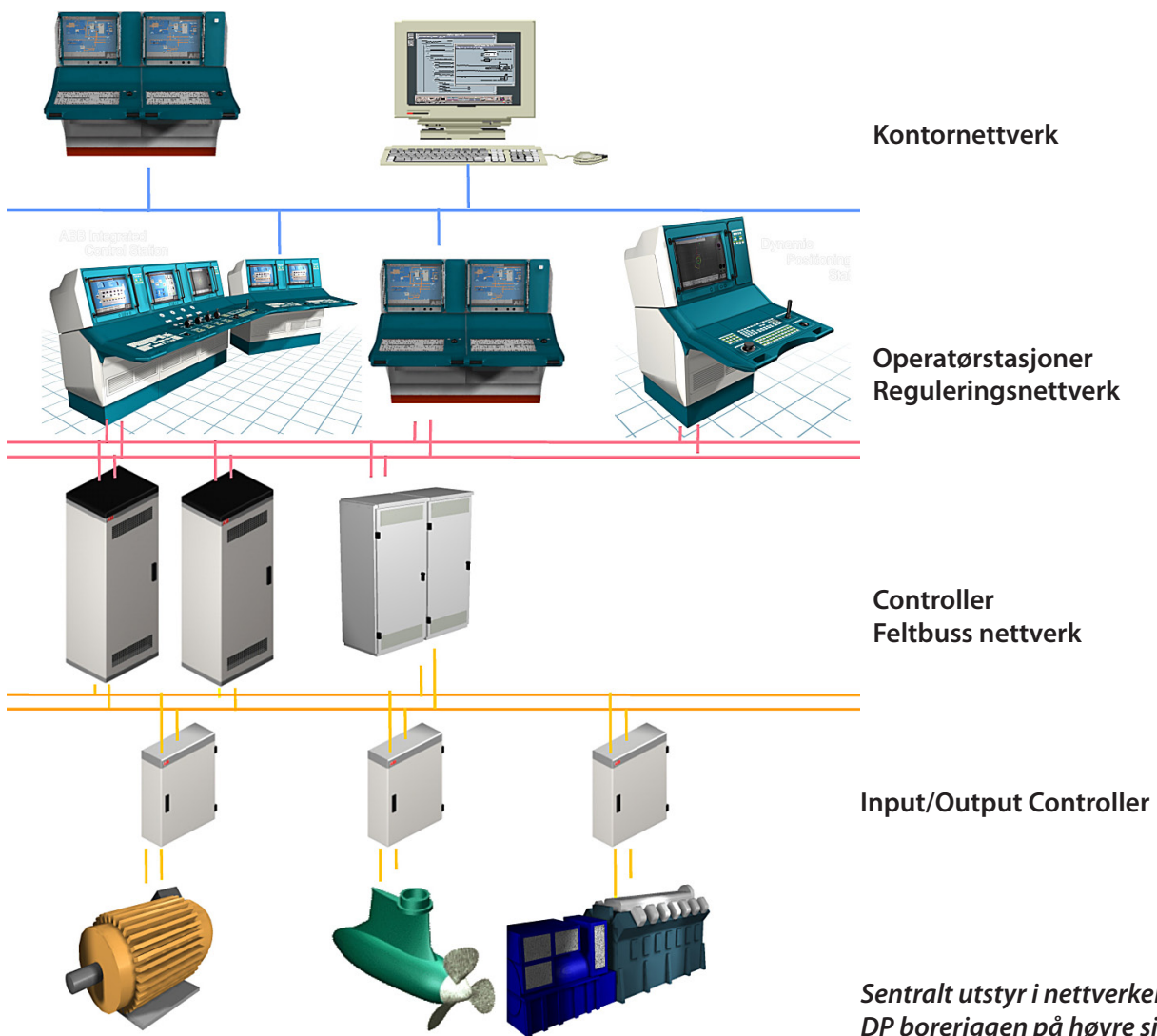
Reguleringssystemer for holding av skip eller plattform i fast posisjon

Datasystemer og automatisering

Store reguleringssystemer krever dataoperatør

Realisering av marine reguleringssystemer skjer ved bruk av data-maskiner. 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.

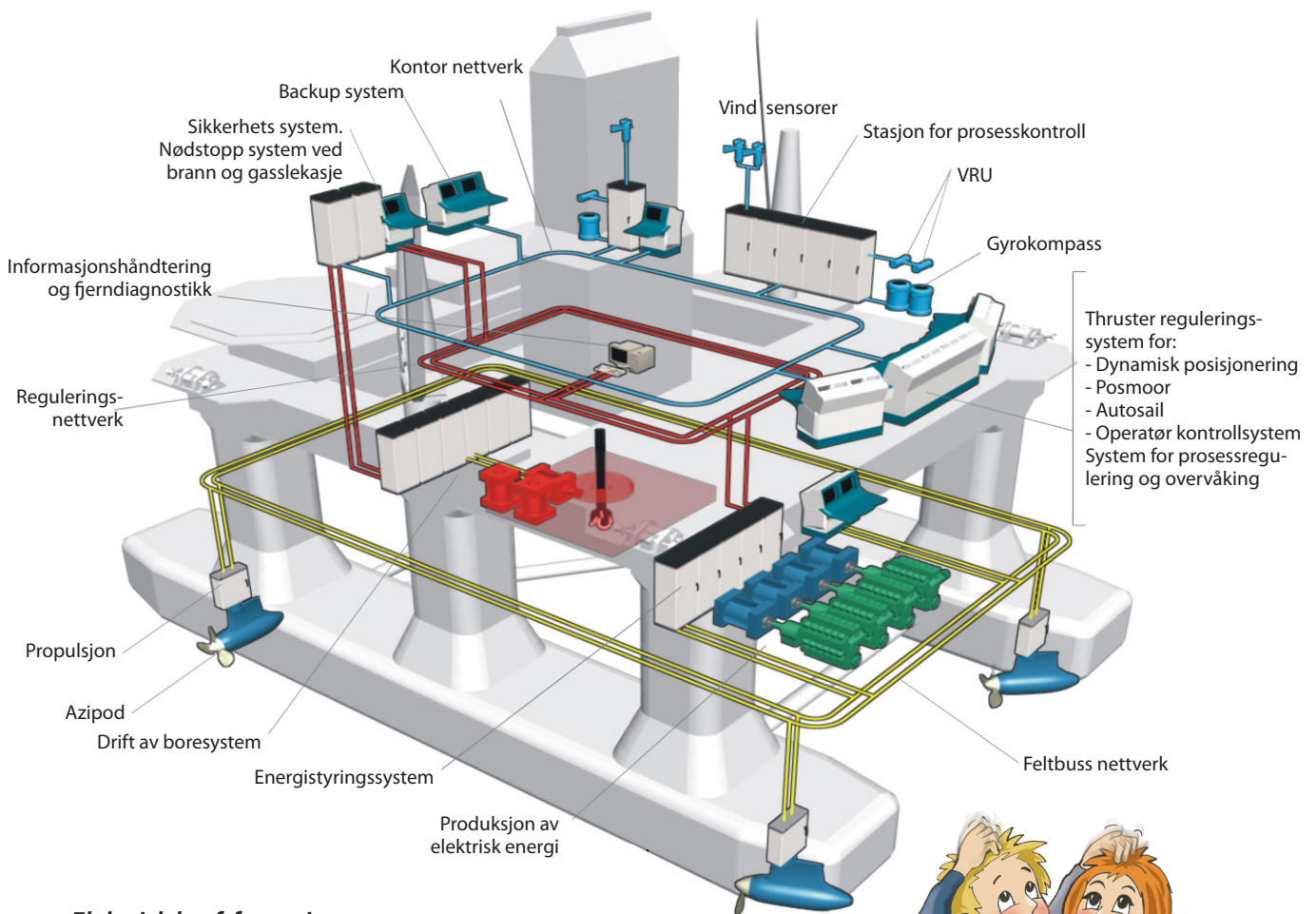
Overvåkningen skjer ofte på en egen datamaskin kalt operatørstasjon, mens selve regulatoren med tilhørende logikk for håndtering av funksjoner ligger på egne datamaskiner, ofte omtalt som "controller". Det har i den senere tid også blitt vanlige med distribuerte Input/Output (IO) kontrollere som kommuniserer 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 30000-50000 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 viktig for sikker og god drift av fartøyet, stilles det krav til disse fra myndigheter og classeselskaper. Det Norske Veritas er et verdensledende classeselskap som lager standarder og regler for skip og rigger, inkludert marine reguleringsystemer.



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

Fargekoding av nettverkene framgår på forrige side.

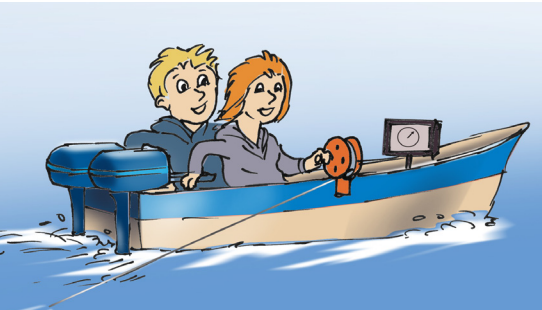


Undringsoppgave:

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 seilende fartøyer

Hastighetsregulering. Mer om regulatorer



Foran har vi hovedsakelig sett på hvordan skip og plattformer kan holdes i ro uten bruk av ankere, men 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 bevegelsesdempning av hurtiggående fartøy. Vi vil samtidig komme litt inn på regulatorteori. Foran, på sidene 8-8 og 8-9, har vi nemlig brukt uttrykk som PID-regulator og proporsjonal (P), integral (I) og derivat (D) tilbakekobling, 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" (Pernille og Ivar) prøve seg som dorgefiskere. Under dorging etter torsk er det meget viktig å holde konstant og riktig hastighet på båten, slik at agnet holder en bestemt høyde over sjøbunnen.

Hastighetsregulering med proporsjonalregulator (P-regulator).

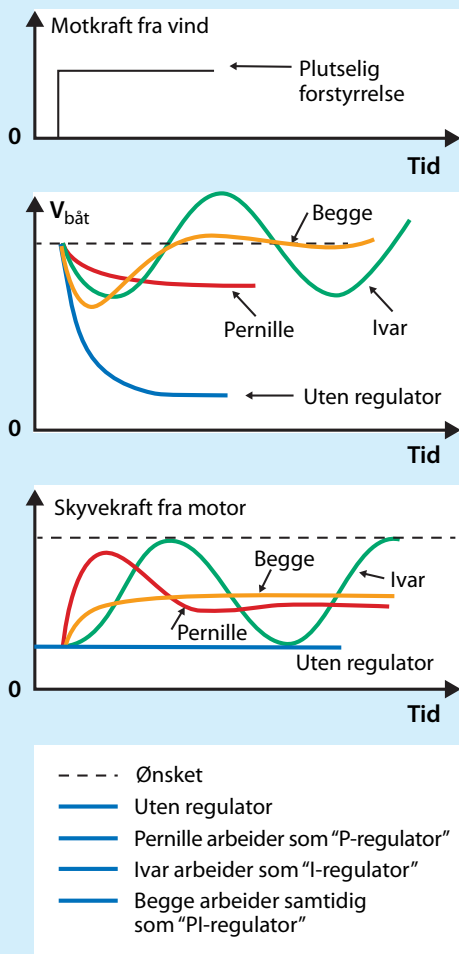
Først er det Pernille som prøver seg som fisker. Båten er utstyrt med lesbar hastighetsmåler og hun finner fort en passende hastighet og holder denne konstant. Plutselig blåser det imidlertid opp med kraftig vind rett mot båten, som dermed får en synkende hastighet. Pernille har opplevd dette før. Hun følger derfor med på hastighetsmåleren og forsøker hele tiden å øke pådraget proporsjonalt med differensen mellom ønsket og avlest hastighet, basert på erfaring fra tidligere fisketurer. Hun jobber dermed som en P-regulator. Pådraget økes som vist på figuren og dette gir båten hastighet det skisserte forløpet. Pernille slår seg til ro med at slutt hastigheten blir mindre enn ønsket, fordi hun vet at den tross alt er betydelig nærmere den ønskede verdien enn om hun ikke hadde regulert pådraget i det hele tatt.

Hastighetsregulering med integralregulator (I-regulator).

Neste dag vil Ivar prøve seg. Også han opplever den samme, plutselige vinden, og dermed den samme hastighetsreduksjonen på båten. Ivar regulerer imidlertid pådraget på en helt annen måte enn Pernille. Han øker pådraget langsomt inntil hastigheten har kommet opp igjen på den ønskede verdi. Da opplever han at båten fortsetter å øke hastigheten også etter at han har sluttet å øke pådraget. Derfor begynner han umiddelbart å redusere pådraget igjen. Ivar arbeider som en I-regulator. Han regulerer pådraget etter den "algebraiske summen" av alle avleste hastighetsfeil. Dette går litt tregt, men gir bedre sluttresultat.

Hastighetsregulering med PI-regulator.

Den aller beste reguleringen oppnås imidlertid dersom Pernille og Ivar slår seg sammen og vi tenker oss at de begge kontrollerer pådraget samtidig og hver på sin måte. Da blir resultatet som vist på nederste figur.



"Undringselevene" Pernille og Ivar er på dorgefiske, og må arbeide som henholdsvis "P-regulator" og "I-regulator" for å kompensere for hastighetstap på grunn av plutselig motvind. Best resultat oppnås når de slår seg sammen og regulerer pådraget samtidig

Hastighetsregulering med PID-regulator. Enda bedre hadde resultatet blitt hvis vi kunne tenkt oss at Pernille 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 skjønte fort at hun da måtte finne ut hvor "hastighetsgrafen" 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 proporsjonal 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 enn PI-regulatoren.

Matematisk formulering av PID-regulatoren

En virkelig PID-regulator arbeider som illustrert i figur til høyre. I prinsippet beregner den signalet til pådragsorganet som funksjon av reguleringsavviket $e = y - y_0$ 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 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.

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

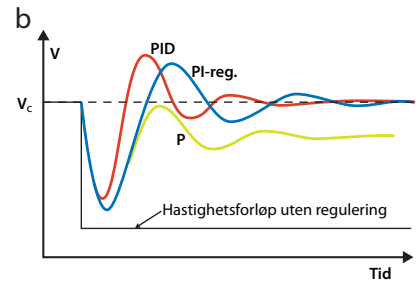
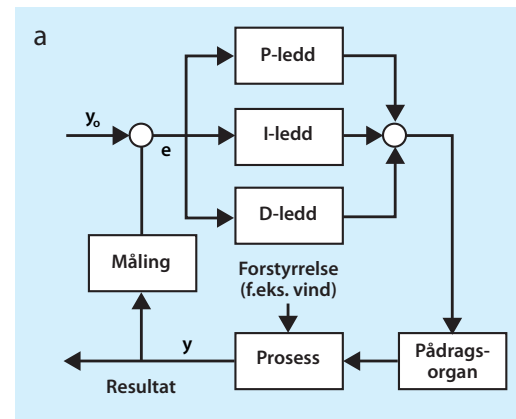
\dot{e} = den tidsderiverte av reguleringsavviket. Skrivemåte med prikk i stedet for "de/dt" brukes ofte i teknikken. Dette leddet sørger altså for en regulering etter hvor raskt endringen i reguleringsavvikene opptrer

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 tidsderiverte av reguleringsavviket, altså hvor **fort avviket forandres**. PID-regulatoren arbeider derfor raskest av alle.

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



a. Blokkdiagram for en PID-regulator med tilbakekobling

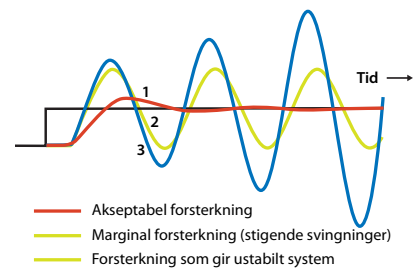
I figuren betyr:

y_0 = ønsket utgangsverdi (referanse)

y = resultat (utgang fra prosessen)

$e = y - y_0$ = 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



Ustabilitet i regulerings-systemer med tilbakekobling.

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 trege systemer. *Utfordringen er å lage reguleringsystemer som er både stabile og raske.*

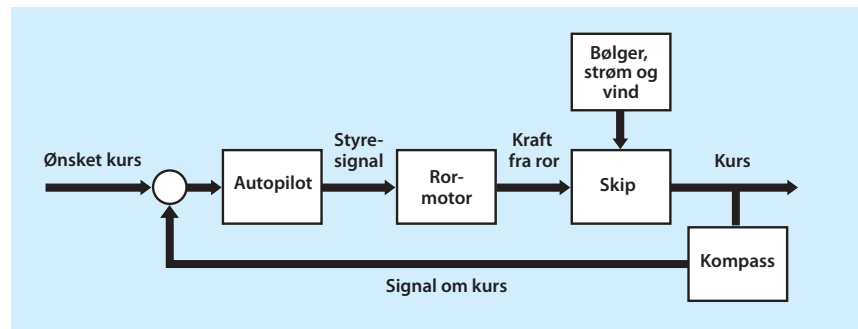
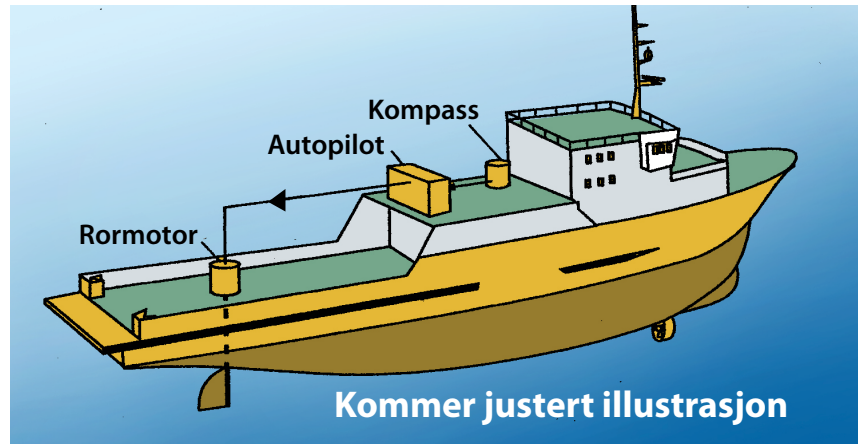
Reguleringssystemer for seilende fartøyer

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 i enkle systemer 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.

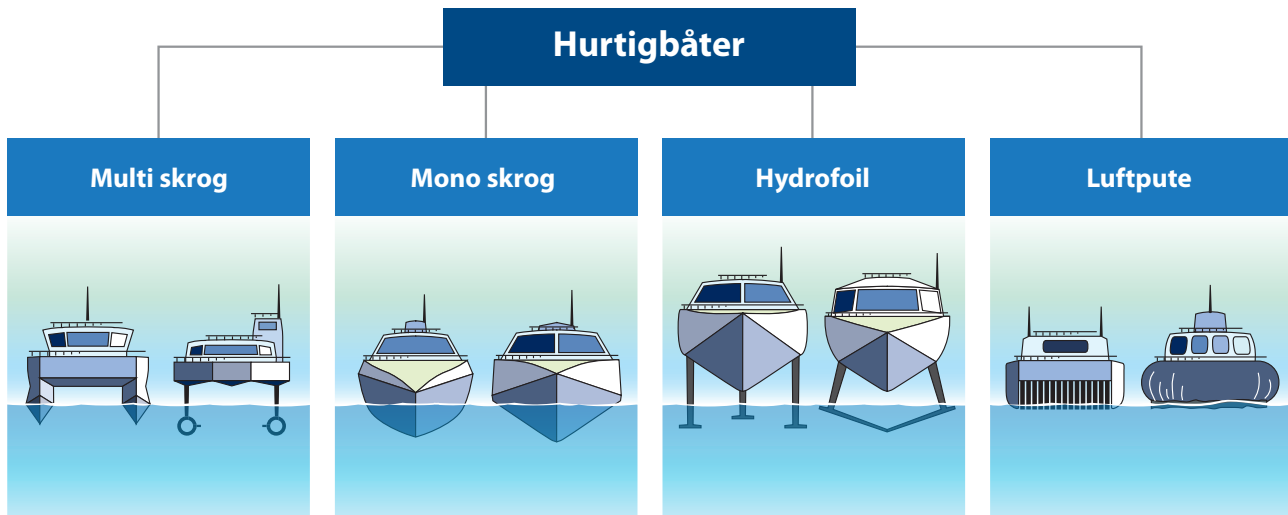
Programmerte seilingsruter. I dag er gjerne autopilotsystemene datamaskinbaserte. Da kan detaljerte seilingsruter programmeres inn, for navigasjon i kompliserte farvann eller for å unngå farvann med uheldige værforhold.

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.

Reguleringssystemer for seilende fartøyer

Bevegelsesdempning i hurtiggående fartøy

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 bevegelsesdempning? 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 reguleringssystemer for bevegelsesdempning. Det er særlig de vertikale akselerasjonene forårsaket av hiv, rull og stamp som man forsøker å redusere.

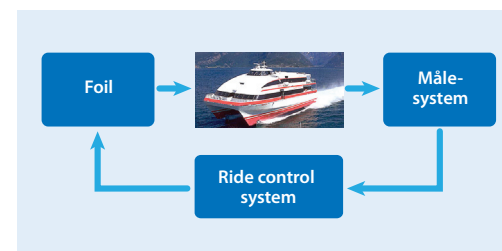
Bevegelsesdempning av ettskrogs fartøyer og katamaraner.

Disse utstyres med regulerbare foiler langs skroget. Man måler fartøyets akselerasjoner og et reguleringssystem sørger for regulerende pådrag på 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.

Dempning av hydrofoilfartøyer. Her blir reguleringssystemene svært avanserte. Det kreves rask respons og de ulike foilene må reguleres i forhold til hverandre slik at fartøyet ikke blir ustabilt. Sensorene må dubliseres 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 bevegelsesdempning i bølger oppnås ved å regulere trykket i luftputa. Dette gjøres ved å åpne og lukke ventiler plassert på gunstige steder langs luftputa.



Litteraturhenvisninger

8.1 Jens G. Balchen, Trond Andresen, Bjarne Foss:
Reguleringsteknikk.

Institutt for teknisk kybernetikk, NTNU. 2003

8.2 Klaas van Dockum: Ship Knowledge. A Modern
Encyclopedia.

Dokmar, Enkhuizen, The Netherlands