

Utvikling av teknologi for kontinuerlig beregning av stabilitet ombord i kystfiskefartøy

Faglig sluttrapport

**Skrevet av
Håvard Holm**

SailorsMate

Sammendrag

Arbeid ombord i mindre fiskebåter er risikofylt. Dette prosjektet har som mål å redusere antall uønskede hendelser ombord relatert til båtens stabilitet.

I forbindelse med å trygge fiskerens arbeidsplass er det sentralt å kontrollere båtens sjøegenskaper. Alle fartøy kan lastes uheldig, noe som kan skape en utrygg båt. Dersom last legges høyt i båten kan skipet ha rolige, behagelige bevegelser, men dårlig stabilitet. Dersom tyngdepunktet legges for lavt i båten kan skipet oppnå god stabilitet, men kan respondere med krappe bevegelser, noe som kan gi både store akselerasjoner og større strukturelle belastninger.

Det er derfor viktig at fiskeren er klar over konsekvensen av å flytte last.

I dette prosjektet er det utviklet programvare som er tilpasset fiskebåter og som varsler fisker mot farlige lastkondisjoner.

Det er også implementert en enkel lastkalkulator. Her vil bruker enkelt kunne legge inn aktuell/planlagt lastkondisjon og kontrollere båtens stabilitet.

Stabilitetskalkulatoren/programvaren utviklet i dette prosjektet er så langt implementert i kartplotteren SailorsMate. Om andre kartplottere også ønsker å implementere stabilitetskalkulatoren er det også mulig.

Systemet vurderes til å være et godt hjelpemiddel for fisker og vil kunne varsle ved en farlig situasjon.

Summary

Working on smaller fishing boats is risky. This project aims to reduce the number of unwanted events related to the boat's stability.

In order to make the fisherman's workplace safer, it is vital to control the boat's stability. All vessels can be loaded wrong, which can make the boat unsafe. If the weights in the boat are lifted, the ship can have calm, comfortable movements, but poor stability. If on the other hand the weights in the boat are lowered, the ship can achieve good stability, but can react with tight movements, which can cause both large accelerations and greater structural loads.

It is therefore important that the fisherman is aware of the consequence of moving loads.

In this project, software has been developed that is adapted to fishing boats and which alerts fishermen against dangerous loading conditions.

It has also been implemented a simple loading calculator. Here the user will be able to easily enter current / planned load condition and check the boat's stability.

The stability calculator / software developed in this project is so far implemented in the chartplotter SailorsMate. It is also possible to implement the stability calculator in other chartplotters.

The system is considered to be a good help for fishermen and will be able to alert in a dangerous situation.

Innledning

Det finnes ulike metoder for å estimere et skips stabilitet. I henhold til norsk regelverk skal man kontrollere noen forhåndsdefinerte tilstander gjennom krav til båtsens GM og GZ kurve. I større skip finnes ofte en lastkalkulator som til enhver tid holder rede på den øyeblikkelige last fordeling og beregner tilhørende stabilitet.

De ulike metodene for å evaluere en båts stabilitet har både fordeler og ulemper. Ingen metode vil estimere båtsens stabilitet 100% riktig. En klassisk lastkalkulator vil kunne ha feil pga. ukjente laster som feks is. Baseres stabilitet på båtsens bevegelser, vil man ha utfordringer med å finne båtsens egenrulleperiode. De ulike metodene vil ha hver sine sterke og svake sider og vil utfylle hverandre.

Dette prosjektet er gjort på basis av teoretiske betraktninger samt uttesting. I den teoretiske delen er sammenhengen mellom båten egenrulleperiode og båtsens stabilitet studert. Det er gjort en analyse av hvilke ledd som er viktige og det er kommet fram til at følgende sammenheng mellom båtsens egenrulleperiode og stabilitet kan brukes :

$$GM = \frac{K}{T_e^2}$$

Her er GM skipets metasenterhøyde, T_e er båtsens egenrulleperiode og K er en konstant som bør finnes eksperimentelt, feks vha. en rulletest.

Denne sammenhengen mellom båtsens stabilitet og egenrulleperiode er testet ut på virkelige båter i praktisk bruk. Sammenhengen viser seg gjennom forsøk å holde godt.

Prosjektet hadde oppstartmøte 11. april 2016. Økonomiske bidragsyttere til prosjektet har vært FHF og SailorsMate AS.

I styringsgruppen har følgende deltatt:

Håvard Holm	SailorsMate AS, prosjektleder
Roar Pedersen	FHF
Ivar Jakobsen	Selfa Arctic AS
Birger Enerhaug	Rådgiver
Thormod Mahle	Bud og Hustad forsikring
Gunn Ersland	Sjøfartsdirektoratet
Tom Vegar Kiil	Fisker
Bent Gabrielsen	Fisker
Joakim Martinsen	Fiskarlaget

Problemstilling og formål

Dette prosjektet har tatt utgangspunkt i fiskernes farlige arbeidssituasjon. Det er utviklet instrumenter som vil kunne varsle fisker om potensiell farlig situasjon. Fisker vil kunne få et automatisk varsel om dårlig stabilitet basert på båtens bevegelse. Videre vil fisker få et verktøy der han kan undersøke en gitt lastsituasjon.

Vi har hatt som mål å utvikle et praktisk verktøy som er tilpasset mindre fiskebåter, som er enkelt og effektivt i bruk og som er nyttig og relevant for å bedre fiskerens sikkerhet.

Dette prosjektet og dets resultater vil ikke på noen måte oppheve kravene offentlig myndigheter setter til en båts stabilitet og tilhørende krav til dokumentasjon.

Leveranser i prosjektet

- Referat oppstartmøte
- Referat styringsgruppemøte
- Priskalkyle for ombordmontert system
- Faglig rapport som beskriver teoretisk underlag
- Foreløpig brukermanual
- Referat styringsgruppemøte etter fase 1
- Foreløpig faktaark
- Faglig evaluering etter utprøving ombord
- Referat styringsgruppemøte etter fase 2
- Faktaark
- Kommersielt system montert ombord i to testfartøy
- Endelig brukermanual
- Faglig sluttrapport i tråd med FHF's retningslinjer
- Administrativ sluttrapport i tråd med FHF's retningslinjer

Prosjektgjennomføring

Prosjektet er gjennomført ved bruk av to ulike metoder. Båtens stabilitet estimeres ved hjelp av en klassisk lastkalkulator. Denne metoden er testet mot annen lastkalkulator. Her kan båtfører planlegge lastingen av båten og sjekke tilstander som ikke er blant dem som er forhåndsgodkjent. I den andre metoden sjekkes båtens stabilitet vha. kobling mot egenrulleperiode. Denne metoden vil kunne fungere uten båtførers tilstedeværelse og kan dermed automatisk gi et varsel ved en farlig lastsituasjon. Dette er testet ut på to båter i virkelige situasjoner.

Prosjektet er gjennomført i tre faser:

- Teoretisk utredning
- Implementere teori i dataprogram/installering i båt
- Uttesting i fullskala og i reelle situasjoner

Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

Teori for den klassiske lastkalkulatoren er vel etablert og tas ikke med i denne rapporten.

Vi ønsker å estimere en båts stabilitet ved å analysere dens rullebevegelse. Dette for å kunne gi mannskapet en advarsel i tilfelle en potensiell farlig situasjon skulle oppstå, dersom båten har dårlig stabilitet.

Ut fra teori, kan man etablere en sammenheng mellom skipets egenperiode i rull (den perioden skipet selv «ønsker» å rulle med) og skipets GM (som er et mål på skipets stabilitet).

Ut fra teori kan man da finne :

$$GM = 4 \pi^2 \frac{I_{44} + A_{44}}{g M T_e^2}$$

Her er :

I_{44} = «Massetreghetsmoment»

A_{44} = «Tilleggsmasse i rull»

M = Skipets masse, også kalt masse deplasement

T_e = Skipets egenperiode (=perioden som båten ønsker å rulle med, målt i sekunder)

For å kunne bruke denne sammenhengen må vi da kjenne alle faktorene som inngår i uttrykket.

IMO (International Maritime Organization) har i mange år satt regler å forhindre ulykker (omtrent siden Titanic sank). I Resolution A.749(18), som omhandler «determination of ship's stability by means of rolling period tests (for ships up to 70m in length)», brukes formelen :

$$GM = \left(\frac{f * B}{T_e} \right)^2$$

Her gir IMO ulike verdier for «f», avhengig av hva slags skip som det er snakk om. «f» er dog en konstant for hvert skip. Dette er det samme vi ønsker, vi ønsker nettopp en slik sammenheng, men vil prøve å estimere denne konstanten så nøyaktig som mulig – mer nøyaktig enn det IMO gjør ved å gi en konstant for hver skipstype.

I dette prosjektet tenker vi å gjøre en rulle test for å kalibrere systemet. Båten kan da rulle med den perioden den «ønsker» - egenperioden T_e . Dersom vi samtidig vet skipets GM kan vi bestemme konstanten «K».

Dette vil fungere og gi et godt estimat på stabiliteten så lenge K er konstant for samme båt. Det er gjort en følsomhets analyse for de ulike faktorene i uttrykket ovenfor. Ut fra disse analysene konkluderer vi, på samme måte som IMO at uttrykket

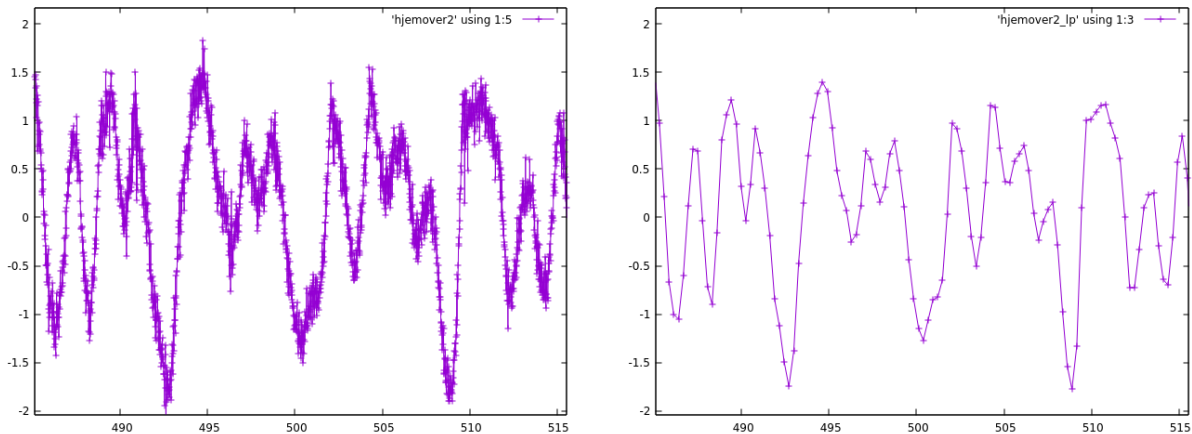
$$GM = \frac{K}{T_e^2}$$

vil gi en god sammenheng mellom skipets stabilitet og skipets egenrulleperiode. I dette prosjektet vil konstanten «K» bestemmes ved en rulletest. Rulletesten gjennomføres ved å la båten flyte fritt (fritt fra fortøyning, ankerliner bølge refleksjon fra kai osv.), gi båten en rull bevegelse og måle egenrulleperioden. Om man da også kjenner båtens stabilitet i aktuell lastsituasjon så kan «K» bestemmes.

Numeriske metoder for å finne båtens rulleperiode

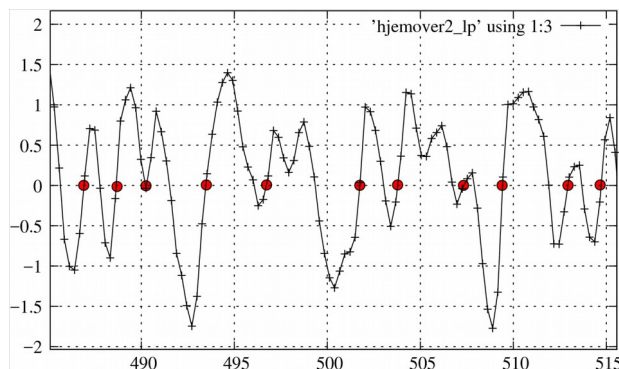
Det finnes flere numeriske metoder som kan benyttes for å finne båtens rullebevegelse og flere er testet ut. Her presenteres metoden som er funnet å gi best resultater.

Vi ønsker å finne båtens rullebevegelse / egenperiode i rull vha. målt vinkelhastighet.



Til venstre i figuren over ser vi ekte signal fra sensoren. Dette signalet er tatt opp med ganske høy frekvens. Det er relativt mye støy i signalet – måleverdien fra et tidspunkt til neste kan variere ganske mye selv om disse er målt nær hverandre i tid. For å få et mer egnet signal er dette opprinnelige signalet lavpass filtrert. Dette nye signalet vises i figuren over til høyre. Dette er et signal som vi kan arbeide med, her kan man finne rull perioder mm.

Det lavpass filtrerte signalet blir brukt videre. Det som viser seg å gi best resultat for å estimere egenrulleperioden er å telle nulloppekryssningsperioder. Dvs. at man sjekker signalet: når var forrige verdi mindre enn null mens nåværende signal er større enn null. Dermed finner man noen punkter langs tids akse som vist på figuren under :



Når man har disse tidspunktene for når nulloppekryssningen skjedde, kan man finne perioden. Som vi ser fra figuren over vil den kunne variere over tid.

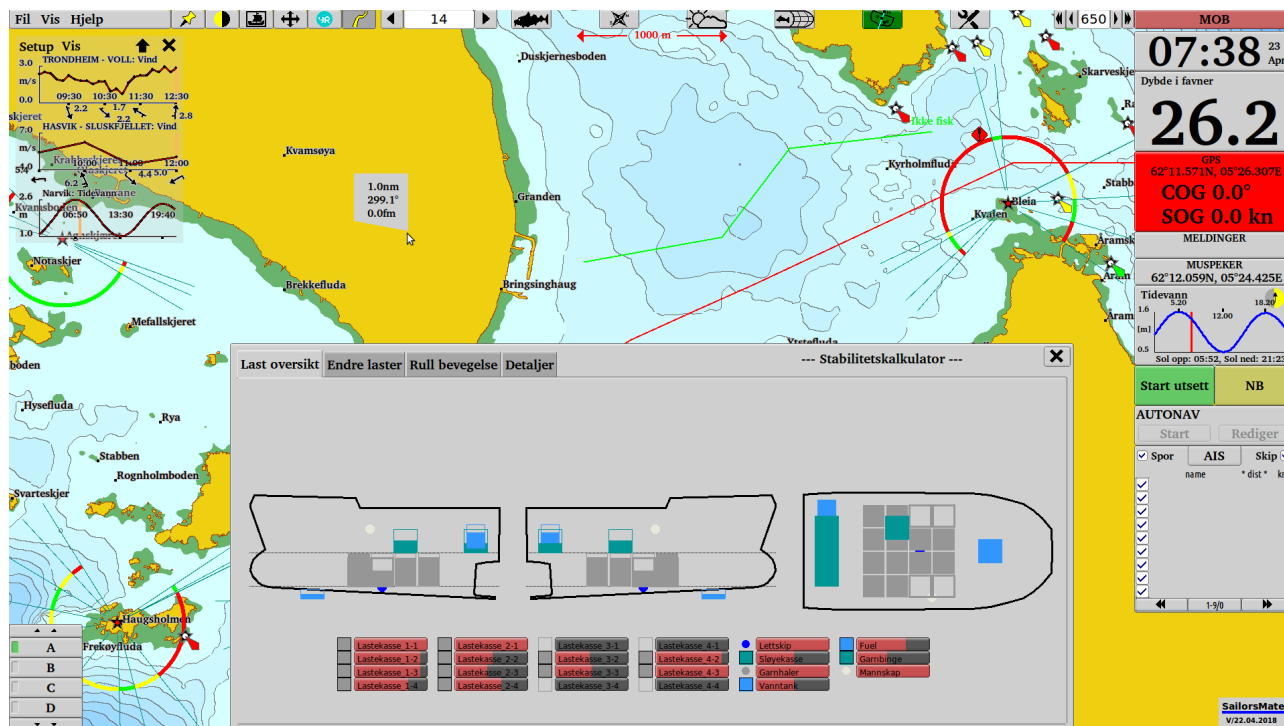
For å forhindre feilmålinger/støy viser det seg effektivt å neglisjere rulleperioder som er mindre enn en viss verdi. Disse tolkes som støy. For båten Karoline er denne skranken satt til 2 sekunder.

For å finne en stabil periode må vi midle disse periodene over en viss tid. Dersom vi ser på bevegelsene de siste 10 sekundene så vil vi få et estimat som er veldig «on time», veldig reponsivt. På den andre siden vil estimatet variere ganske mye med tiden. Dersom vi midler over en lang tid

vil vi få et stabilt estimat som bør representere båtens rulleperiode rimelig godt. Estimaten vil imidlertid bli «tregt» dersom vi midler over for lang periode. Det vil ta tid før systemet fanger opp en eventuell endring i båtens stabilitet.

Stabilitetskalkulator/Lastkalkulator

En klassisk lastkalkulator er implementert. Denne er forenklet og tilpasset fiskeren basert på tilbakemeldinger.

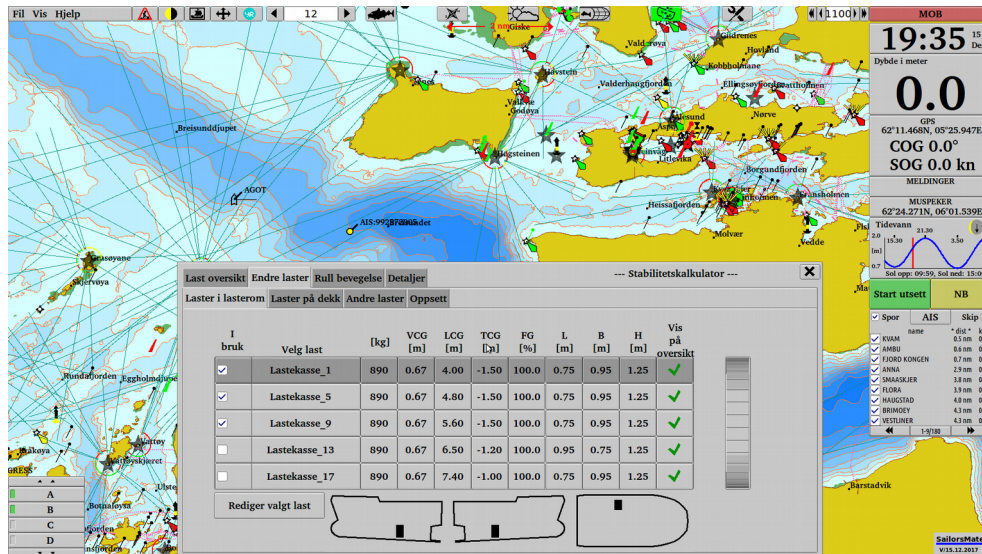


Oversiktsbilde

I bildet over vises alle lastene som er lagt inn og som er definert som synlige. Runde kuler indikerer faste laster, mens firkantede ruter indikerer tanker med flyende væske. Videre indikerer tomme rammer/kuler at lasten ikke er aktiv, mens fylte ruter/kuler indikerer at lasten er aktiv/tilstede. Alle laster er gitt en farge som vises både i bildet av båten og foran en forklarende tekst. Bruker kan i dette panelet aktivere/deaktivere laster som er i lasterommet eller på dekk. Bruker kan ikke endre faste laster, som garnhaler mm. i dette panelet.

Dette har vist seg å være en effektiv måte å aktivere/deaktivere laster på. Bruker får raskt oversikt over lastkondisjon og kan effektivt korrigere om noe ikke er oppdatert.

Konfigurere laster



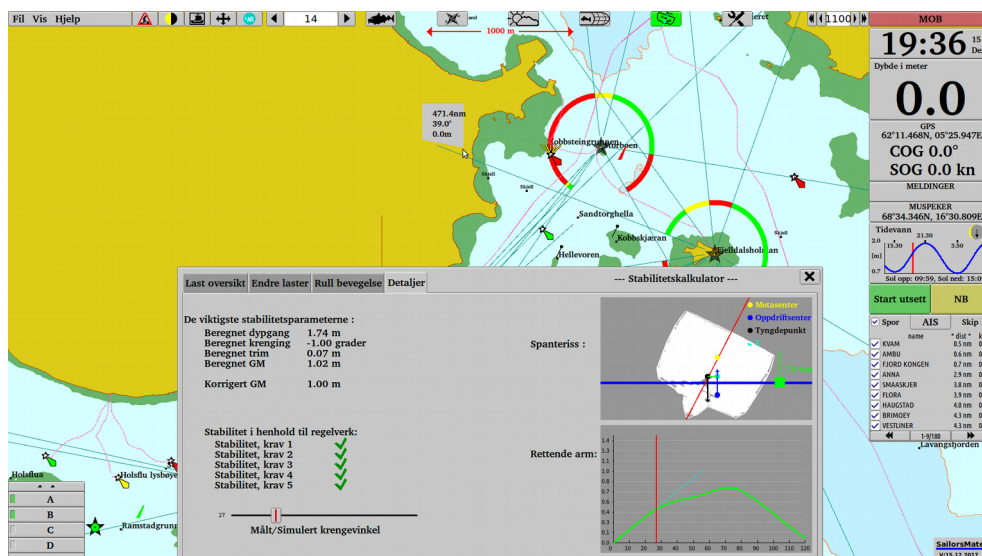
Definering av laster

I dette panelet kan bruker definere laster. Lastene kan slås på/av, de kan navngis, vekten kan settes og plasseringen angis. For tanker med flytende innhold må også dimensjonen til tanken angis. Fisk i lastekasser er tatt med som flyende last. Det kan diskuteres om dette er en korrekt modellering. Fisken i kassene vil for moderate bevegelser ligge i ro, mens ved større/krappe bevegelser vil kunne flytte seg – som en væske.

Hjulet til høyre brukes til å rullere listen dersom man har mange laster inne i systemet.

Dette panelet er ment å brukes i forbindelse med oppsett / konfigurering. Bruker skal ikke være nødt til å justere dette ofte.

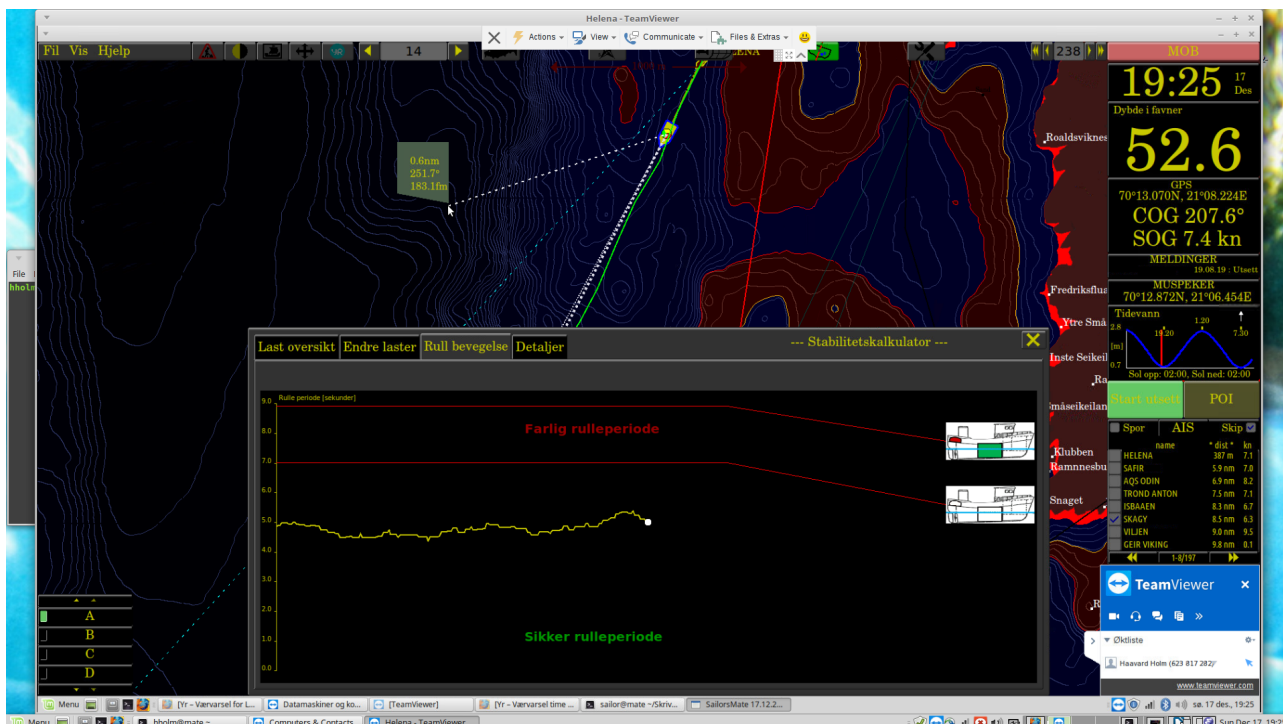
Sentrale stabilitets parametere



Sentrale parametere relatert til stabilitet

Dette vinduet viser de mest sentrale stabilitetsparametere. Oppdriftspunkt, tyngdepunkt, metasenter og Z vises i aktuell båt. Dette bildet viser hovedprinsippene bak stabilitetslæren og bruker kan se hvordan tyngde kraft og oppdriftskraft påvirker båten.

Automatisk varsling av dårlig stabilitet egenrulleperiode



Automatisk overvåkning av rolleperiode

På bildet ovenfor vises systemet i bruk. Det var mørkt ute da bildet ble tatt, derfor ble det anvendt nattskjerm / mørke farger. Panelet som måler rolle periode er aktivert. Den gule linjen viser estimert egenrolleperiode som funksjon av tid. Vi ser at den varierer noe med tid. Noen ganger vil den variere mer, andre ganger vil den være mer konstant. Dette vil være avhengig av bølge situasjonen og retningen bølgene kommer fra. Man kan diskutere om man skal se en lengre/kortere del av historien. Dersom man viser en lengre del av historien, vil det være enklere å luke ut evt. feilmålinger for bruker.

For Karoline er kritisk rolleperiode i lett tilstand 5.72 sekunder, og for Helena 8.65 sekunder. Helenas høye kritiske rolleperiode skyldes en stor bredde forhold til båtens lengde.

Det er her valgt å kun ta med krav fra Sjøfartsdirektoratet som gjelder ved normale krenge vinkler. Krav som baserer seg på hva som skjer ved høy krengevinkler som 80° kan i enkelte tilfelle forårsake unødige alarmer.

Sjøfartsverkets har en rekke krav for å sikre god stabilitet: § 29 i forskrift 22. november 2013 nr. 1404 om fiske- og fangstfartøy under 15 meter største lengde.

https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2013-11-22-1404#KAPITTEL_4

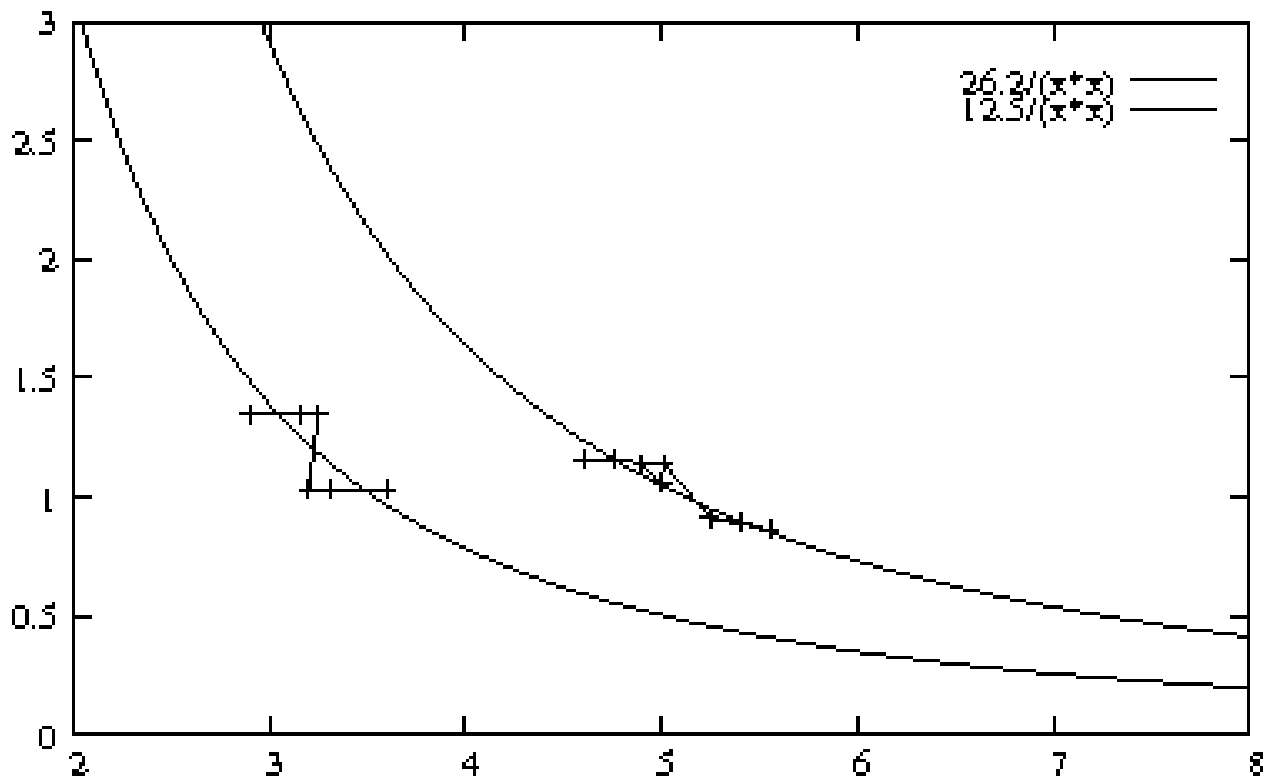
Resultater fra brukerne

Systemet har vært i bruk hos fiskerne Tom Vegar Kiil og Bent Gabrielsen. Rulle periode er observert ved ulike lastkondisjoner og notert sammen med båtens stabilitets indikator, GM. Lastkalkulatoren er fortløpende holdt oppdatert.

I følge teori er det sammenheng mellom GM og egenrolleperiode i henhold til :

$$GM = \frac{K}{T_e^2}$$

Vi har derfor plottet målinger sammen med denne formelen. For Helena, båten til Tom Vegard Kiil, gir $K=26.2$ en kurve som punktene følger målingene godt, mens for Karoline, båten til Bent Gabrielsen, finner vi en verdi på $K=12.5$.



GM versus egenrulleperiode. Heltrukken linje viser $GM = K/T^2$. Vi ser at måleobservasjonene følger den teoretiske kurven rimelig godt.

Karoline			Helena		
Lastetilstand	Rulle periode	GM	egenrulleperiode	GM	Lastetilstand
Tilbake fra fiske	2.9 sek	1.35 m	4.6 m	1.16 m	Lett tilstand
Tilbake fra fiske	3.15 sek	1.35 m	4.75 m	1.16 m	Lett tilstand
Tilbake fra fiske	3.25 sek	1.35 m	4.9 m	1.14 m	Under fiske
På vei ut til fiske	3.2 sek	1.03 m	5.0 m	1.06 m	Under fiske
På vei ut til fiske	3.31 sek	1.03 m	5.01 m	1.14 m	Under fiske
På vei ut til fiske	3.6 sek	1.03 m	5.25 m	0.91 m	Under fiske
			5.4 m	0.89 m	Under fiske
			5.55 m	0.86 m	5 tonn salt på dekk

GM versus egenrulleperiode for de to båtene. Dette er data grunnlaget for grafen ovenfor.

Vi ser at det er en viss spredning i måleresultatene. Rulle perioden vil variere noe, selv ved samme GM. Dette er vi også sett tidligere. Vi har i forrige rapport operert med en nøyaktighet på omlag $\pm 10\%$. Dette holder også her, største avvik er $\pm 11.7\%$. Båter som har liten demping i rull vil ha en «spissere» transferfunksjon enn båter med liten demping. Dette betyr at en båt med liten demping

vil rulle mer med sin egenrulleperiode enn båter med stor demping, noe som gjøre det enklere å estimere egenrulleperiode. Slingrekjøl er laget for å dempe rullbevegelsen og er montert på både Helena. Karoline har ikke slingrekjøl, men en "Hard Chine" som på en planende båt. Også denne vil bidra til rulledemping. Testbåtene vil derfor ha stor demping i rull sammenliknet med mange andre båter. Det er derfor å forvente at mange andre båter vil ha mindre spredning i estimert egenrulleperiode enn Karoline og Helena.

Målingene ovenfor er gjort på båtene når de er i ordinær drift. Man kunne ønske å få testet systemet på en mer ekstrem last situasjon for å se hvordan systemet da fungerer. For å prøve å få en «ekstremverdi», ble det plassert 5 sekker a 1000kg med salt på dekk på båten Helena, ellers tom båt. GM verdien sank da til 0.86m og egenrulleperioden ble målt til 5.55 sekunder. Dette punktet er også inntegnet i grafen ovenfor.

Konklusjon og vurdering av egnethet

Systemet har nå vært ute til testing. Systemet fanger opp endret egenrulleperiode når lastkondisjonen endrer seg. Målt egenrulleperiode stemmer godt med teorien og vil kunne gi bruker et varsel om farlig lasttilstand/stabilitet.

Systemet vil ikke kunne fange opp stabilitetsegenskaper til båten dersom det er lite/ingen rullbevegelse. Dette kan være tilfelle i forbindelse ved fravær av bølger eller dersom bølgene kommer rett forfra eller rett bakfra.

I lastkalkulatoren vil bruker enkelt kunne legge inn aktuell/planlagt lastkondisjon og kontrollere båtens stabilitet.

Systemet vurderes til å være et godt hjelpemiddel for fisker og vil kunne varsle ved en farlig situasjon.

Hovedfunn

- Lastkalkulator er implementert og tilpasset fiskerens situasjon på en effektiv og enkel måte.
- Matematisk sammenheng mellom GM og egenrulleperiode gir mulighet for automatisk varsling av dårlig stabilitet.
- Stabilitetskalkulatoren har vist seg som et nyttig og relevant verktøy i praktisk bruk.