

$$i = \frac{l \cdot b^3}{12} = \frac{70 \cdot 16^3}{12} = 23.893,3 \text{ [m}^4\text{]}$$

V' er volumet av vannet på bildekket:

$$V' = 0,3 \text{ [m]} \cdot 70 \text{ [m]} \cdot 16 \text{ [m]} = 336 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$gg'' = \frac{i}{V'} = \frac{23.893,3 \text{ [m}^4\text{]}}{336 \text{ [m}^3\text{]}} \approx 71,1 \text{ [m]}$$

Beregner så den virtuelle hevingen til fergens massesenter ved å benytte ligning (7.14):

$GG'' = \frac{\rho' \cdot i}{\rho \cdot \nabla} \text{ [m]}$. Her vil både ρ' og ρ være sjøvann med tetthet 1,025 [tonn/m³], slik at disse kan forkortes bort i ligningen.

$$\Rightarrow GG'' = \frac{i}{\nabla} = \frac{23.893,3 \text{ [m}^4\text{]}}{7.250 \text{ [m}^3\text{]}} \approx \underline{\underline{3,30 \text{ [m]}}}$$

Hevingen av fergens massesenter på grunn av vannet på dekk er 3,30 [m]. Fergen er dermed i en svært kritisk stabilitetstilstand hvor det er stor sannsynlighet for at den skal kantre.

7.4 Krengeprøven

Krengeprøven er et fysisk eksperiment som utføres på alle nybygg, og på enkelte eldre fartøyer etter at de for eksempel har gjennomgått ombygginger. Under krengeprøven måles fartøyets GM-verdi i den aktuelle lastkondisjonen. Likevel er ikke den egentlige hensikten med krengeprøven å kontrollere fartøyets stabilitet. Krengeprøven skal først og fremst gi et nøyaktig utgangspunkt for alle senere stabilitetsberegninger. Hovedmålet med krengeprøven består derfor av å bestemme to svært viktige størrelser på et fartøy, og disse er som følgende:

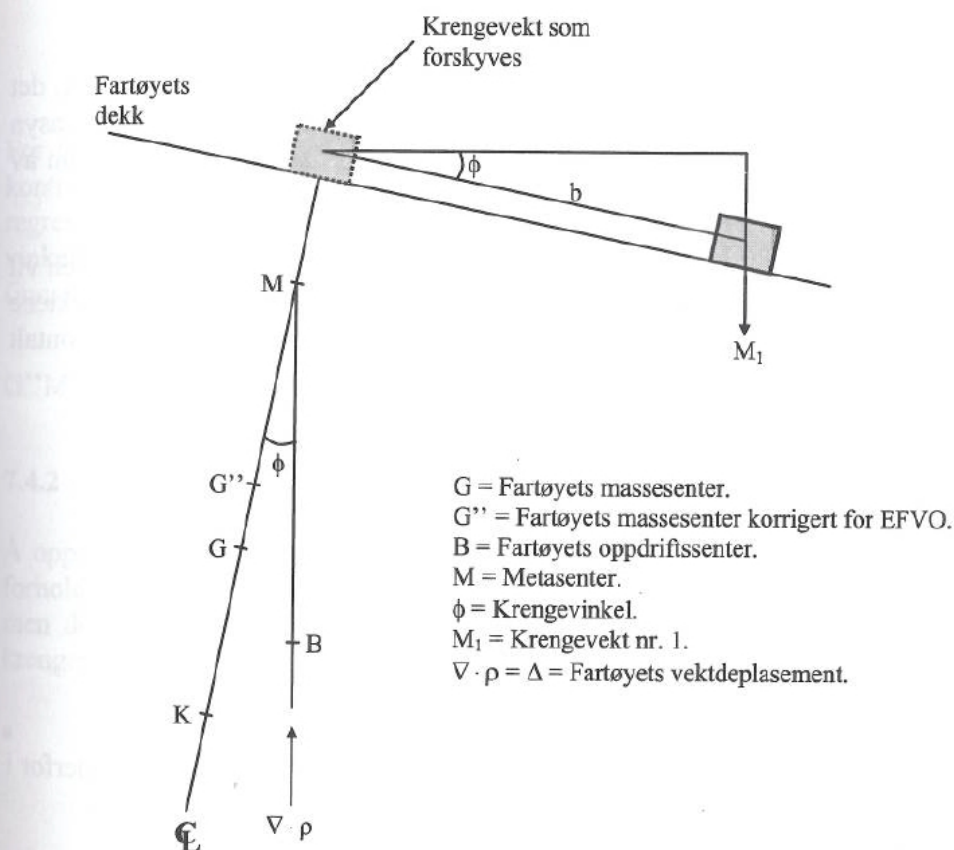
- Lettskipsvekten W_{LS} [tonn], og dermed også fartøyets maksimale lasteevne $dwt = \Delta_{\max} - W_{LS}$. Den maksimale lasteevnen til et fartøy kalles normalt for fartøyets dødvekt.
- Plasseringen av $KG_{W_{LS}}$ [m], som er vertikalplasseringen av massesenteret G over kjølen K for lettskipet.

Kommentar: I denne læreboken benytter vi konsekvent betegnelsen W_{LS} [tonn] for lettskipsvekten. I litteraturen er det imidlertid ofte vanlig å forkorte denne til kun W [tonn]. Vær oppmerksom på dette.

En krengeprøve foretas under offentlig kontroll og krengeprøverapporten er et av fartøyets viktigste dokumenter.

7.4.1 Utførelse av krengeprøven

Under krengeprøven krenses fartøyet med en krengevekt M_1 [tonn] på dekk som sideforskyves en avstand b [m] fra fartøyets senterlinje. Hver plassering av M_1 gir en tilhørende krengevinkel ϕ . Krengevinkelen måles tradisjonelt med en pendel, det vil si et lodd opphengt i en snor. Loddet kan plasseres i et kar med olje for å dempe pendelens bevegelser slik at det blir lettere å oppnå nøyaktige målinger. Figur 7.9 nedenfor viser en prinsippskisse for krengeprøven.



Figur 7.9: Prinsippskisse for krengeprøve.

Fra figur 7.9 fremkommer følgende momentligning når fartøyet/skipet ligger rolig med en stabil krengevinkel ϕ :

$$M_K [\text{tonn} \cdot \text{m}] = M_R [\text{tonn} \cdot \text{m}] \quad (7.16)$$

Her er MK = kregende moment og MR = rettende moment.

Vi ser av figur 7.9 ovenfor at MK på grunn av krengevekten M_1 blir $M_1 \cdot b \cdot \cos(\phi)$ (se kapittel 7.2.4), og at det rettende momentet M_R blir $\nabla \cdot \rho \cdot G''M \cdot \sin(\phi)$. $G''M \cdot \sin(\phi)$ må benyttes som den rettende armen i stedet for $GM \cdot \sin(\phi)$ fordi det korrigeres for EFVO til tankene ombord i fartøyet. Fordi EFVO er tatt inn i betraktningen er det $G''M$, og ikke GM , som

måles under krengeprøven. Ved å innsette de uttrykkene for MK og MR som vi har kommet frem til inn i ligning (7.16) får vi følgende:

$$M_1 \cdot b \cdot \cos(\phi) = \nabla \cdot \rho \cdot G''M \cdot \sin(\phi) \quad (7.17)$$

$$\Rightarrow G''M = \frac{M_1 \cdot b \cdot \cos(\phi)}{\nabla \cdot \rho \cdot \sin(\phi)} = \frac{M_1 \cdot b}{\nabla \cdot \rho \cdot \tan(\phi)} \quad (7.18)$$

For å komme frem til ligning (7.18) har vi benyttet at $\frac{\cos(\phi)}{\sin(\phi)} = \frac{1}{\tan(\phi)}$.

Ligning (7.18) blir riktig for små krengevinkler. I krengeprøven skal største pendelutslag, det vil si krengevinkelen ϕ , holdes innenfor $\pm 2 - 4^\circ$. Da har vi et stort nok pendelutslag av hensyn til målenøyaktigheten, samtidig som vi ikke får noe problem med unøyaktighet på grunn av såkalt reststabilitet. Begrepet reststabilitet vil bli forklart i kapittel 9.

Som ved alle fysiske eksperimenter er også krengeprøven beheftet med feil. Under prøven vil det derfor normalt bli benyttet flere vekter ($M_1, M_2, \dots, M_j$) for å få mange målinger. Vektene flyttes da en og en, og for hver kombinasjon av masse og posisjon fås da et horisontalt kregende moment $MK_j = M_j \cdot b_j$ [tonn · m] (se figur 7.9):

$$\Rightarrow G''M_j = \frac{M_j \cdot b_j}{\nabla \cdot \rho \cdot \tan(\phi)} = \frac{MK_j}{\Delta \cdot \frac{a_j}{l}} \quad [m] \quad (7.19)$$

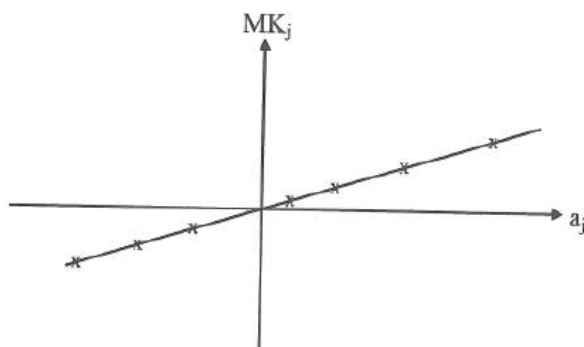
l = Pendellengden [m].

a_j = Pendelutslaget [m].

$\Delta = \nabla \cdot \rho$ [tonn].

Å måle krengevinkelen ϕ nøyaktig er svært vanskelig fordi den er så liten. Man måler derfor i stedet pendelutslaget a_j [m] fra en valgt posisjon ved $\phi = 0^\circ$.

Vi ser av ligning (7.19) over at det er proporsjonalitet mellom MK_j og a_j , og dermed skal MK_j bli en rett linje som funksjon av a_j . Det betyr at $MK_j = k \cdot a_j$, der k er en konstant som kalles for vinkelkoeffisienten ($k = MK_j/a_j$). For hver eneste kombinasjon av MK_j og a_j målt under krengeprøven foretar vi et løpende plott i et såkalt kontrolldiagram med MK_j og a_j på aksene. Figur 7.10 på neste side viser et slikt kontrolldiagram. Tilfeldige feil vil vise seg i punktenes spredning om den rette linjen. Disse feilene kan reduseres ved å øke antallet målinger. Eventuelle systematiske feil er imidlertid mer alvorlige, og det er uhyre viktig at disse oppdages/avsløres før krengeprøven avsluttes. Systematiske feil kan for eksempel være feil med måleutstyret som benyttes.



Figur 7.10: Kontrolldiagram ved krengeprøve.

For å kunne eliminere målefeil best mulig bruker man i praksis å legge den rette linjen i kontrolldiagrammet "best mulig" gjennom målepunktene (matematisk kalles dette for regresjon). Når den rette linjen er bestemt kan man enkelt bestemme verdien av vinkelkoeffisienten k ved å benytte at $k = MK_j/a_j$ (se figur 7.10 ovenfor). Substitueres (innsettes) $MK_j/a_j = k$ inn i ligning (7.19) får vi følgende uttrykk for $G''M$:

$$G''M = \frac{k \cdot l}{\Delta} \text{ [m]} \quad (7.20)$$

7.4.2 Forholdsregler ved krengeprøver

Å oppnå god nøyaktighet i krengeprøven er av stor viktighet, og man bør derfor ta enkelte forholdsregler ved gjennomføringen av den. Disse forholdsreglene er intuitive og logiske, men det kan likevel være greit å ha disse reglene for hånden når man gjennomfører en krengeprøve:

- Fartøyet må flyte rett og fritt uten å være forhindret av tau og andre fortøyninger. For et skip vil det å flyte rett bety at det flyter rett på kjølen, det vil si uten noen form for slagside (krengevinkel) før krengevekten flyttes.
- Vind og strøm kan påvirke skipet/fartøyet, og bør derfor ikke være til stede når krengeprøven gjennomføres. Spesielt vind kan gi fartøyet et kraftig krengende moment.
- Alle løse vekter ombord bør sikres/festes, slik at disse ikke forflytter seg i løpet av krengeprøven og skaper uønskede krengende momenter.
- Alle koplinger mellom tanker, som for eksempel rør, skal stenges hvis mulig. Dette fordi eventuelle væsker i disse tankene kan forflytte seg og dermed skape krengende momenter som ikke skal være der.
- Alle tanker skal helst være helt tomme eller helt fulle. Dersom dette ikke er mulig bør væsknivået i tankene (som må måles/peiles) være slik at korreksjonen på grunn av effekt av fri væske overflate er mulig å beregne.

- Antallet mennesker ombord i skipet skal holdes på et minimum under krengeprøven, og de skal gå til bestemte posisjoner før pendelavlesning. Dette er spesielt viktig på mindre fartøyer hvor personer ombord kan forårsake krengende momenter som medfører målbar krenging av fartøyet.
- Alt mobilt utstyr som brukes til å flytte krengevektene rundt på dekk må returnere til bestemte posisjoner før pendelavlesning.

7.4.3 Beregning av W_{ls} og $KG_{W_{ls}}$. Korrigering for fremmede vekter.

Under utførelsen av krengeprøven ble $G''M$, det vil si fartøyet initial metasenterhøyde korrigert for EFVO, målt. Ved hjelp av $G''M$ kan man beregne lettskipsvekten W_{ls} [tonn] og $KG_{W_{ls}}$ [m], som er vertikalplasseringen over kjølen av tyngdepunktet til lettskipet.

Under gjennomføringen av krengeprøven kan man avlese fartøyet dypgang T [m]. Det er svært viktig at denne avleses med stor nøyaktighet. Med T [m] kjent kan fartøyet vektdeplasement $\Delta = \nabla \cdot \rho$ avleses i fartøyet hydrostatiske data. Dersom fartøyet flyter uten trim, kan for eksempel kurvebladet benyttes til dette. For skip foregår imidlertid de fleste krengeprøver med akterlig trim (skipet ligger dypere i akter enn ved baug) fordi skipet ikke har noen form for last eller ballast ombord når prøven gjennomføres. Vektdeplasementet Δ [tonn] må derfor være beregnet for korrekt trimtilstand. KM -verdien (plasseringen av metasenteret over kjølen) avleses også fra kurvebladet.

Lettskipsvekten W_{ls} kan beregnes fra følgende ligning:

$$\Delta = W_{ls} + \sum m_i \Rightarrow W_{ls} = \Delta - \sum m_i \quad (7.21)$$

W_{ls} = Lettskipsvekten [tonn].

$\sum m_i$ = Summen av alle "fremmede vekter", det vil si alle vekter som er ombord under krengeprøven som ikke tilhører lettskipsvekten W_{ls} .

Korreksjon for EFVO (se kapittel 7.3), det vil si den virtuelle hevningen GG'' av fartøyet massesenter, beregnes for samtlige tanker ombord i fartøyet som inneholder væsker.

$$GG'' = \sum \frac{\rho' i}{\rho \cdot \nabla} \quad (7.15)$$

ρ' = Tettheten til væsken i den aktuelle tanken [tonn/m³].

i = Arealtreghetsmomentet [m⁴] om væskeoverflatens tyngdepunkt/arealsenter ved $\phi = 0^\circ$.

ρ = Tettheten til vannet som fartøyet ligger i [tonn/m³].

∇ = Fartøyet volumdeplasement [m³].

Som tidligere nevnt er en av hovedhensiktene med krengeprøven å bestemme $KG_{W_{ls}}$. For å klare dette må vi først beregne KG under krengeprøven, og til det benyttes følgende ligning som fremkommer fra figur 7.9:

$$KG = KM - G''M - GG'' \text{ [m]} \quad (7.22)$$

Ved så å benytte tyngdepunktsatsen for massesenter kan KG_{Wls} bestemmes:

$$\Delta \cdot KG = Wls \cdot KG_{Wls} + \sum x_i \cdot m_i \text{ [tonn} \cdot \text{m]} \quad (7.23)$$

x_i = Høyden til m_i over kjølen K.

m_i = Fremmed vekt som ikke tilhører lettskipsvekten Wls .

Som vi skjønner av beregningene og fremgangsmåten over er vektregnskapet en uhyre viktig del av krengeprøven. Dersom dette svikter er krengeprøven spolert, og må gjøres om igjen.