

Aluksen vakavuuteen liittyviä kysymyksiä ja huomioita



Ilmo Kuutti

Suomen Hörypursiseuran ry talviseminaari 30.1.2021

Sisällys

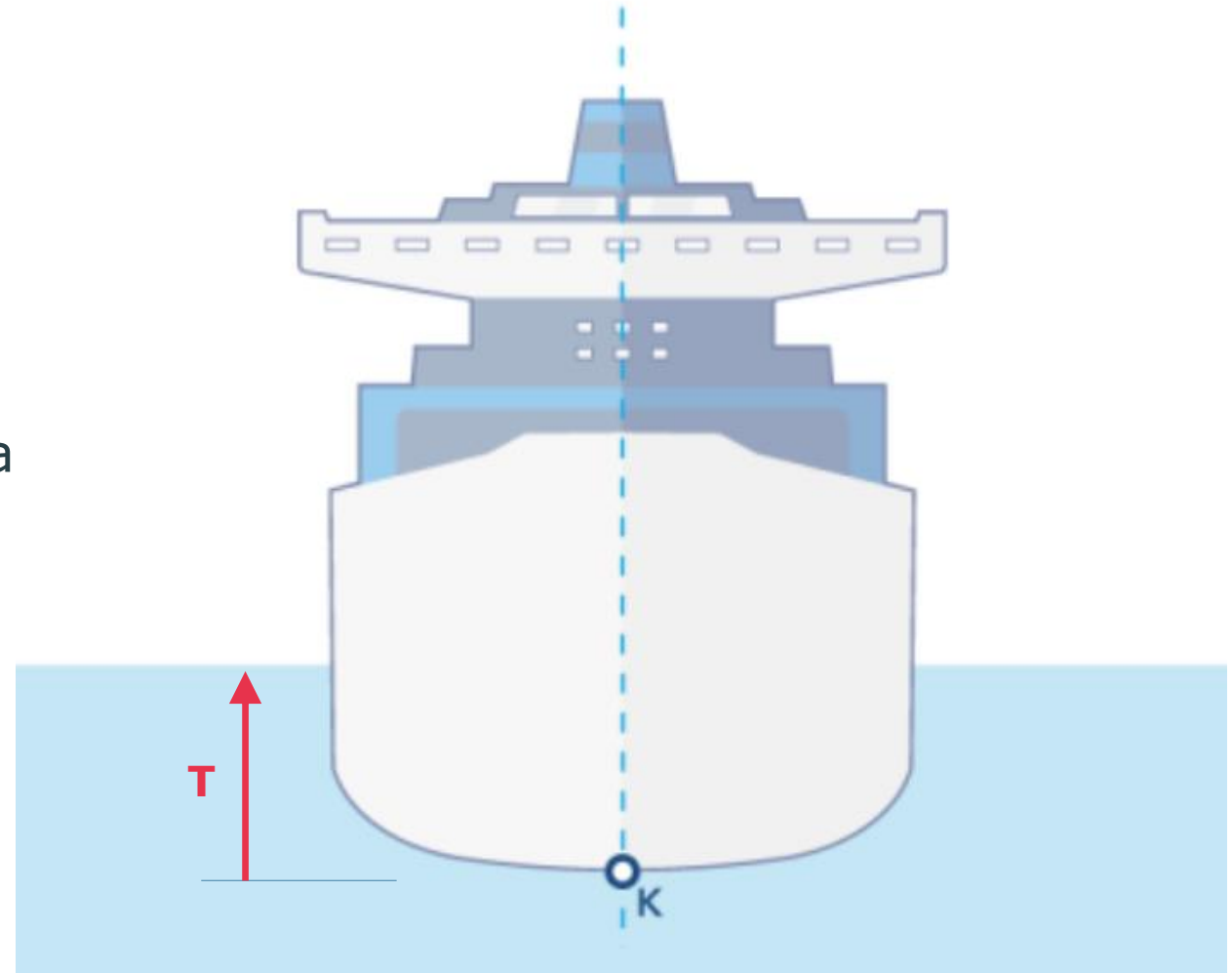
- Peruskäsitteet
- Alkuvakavuus
- Vauriovakavuus
- Onnettomuuksia
- Dynaamiset ilmiöt





Kölipiste

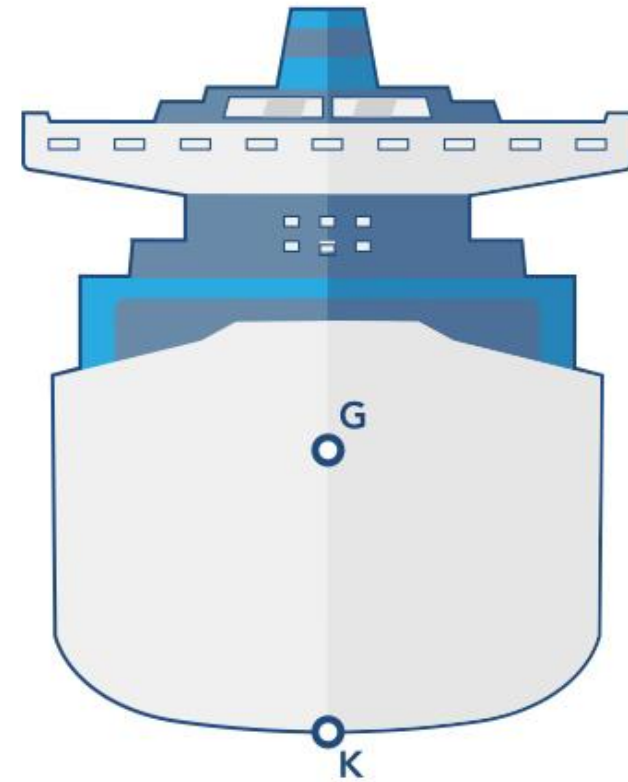
- Korkeussuuntainen paikka mitataan **keskilaivassa** kölistä pisteestä K **laidoituksen sisäpinnasta**
- Kölilevyn paksuus huomioidaan laskelmissa
- Kaksi syväyttä:
 - **T** = syväys kaaresta
 - **T_k** = syväys kölilevyn ulkopinnasta





Laivan painopiste G

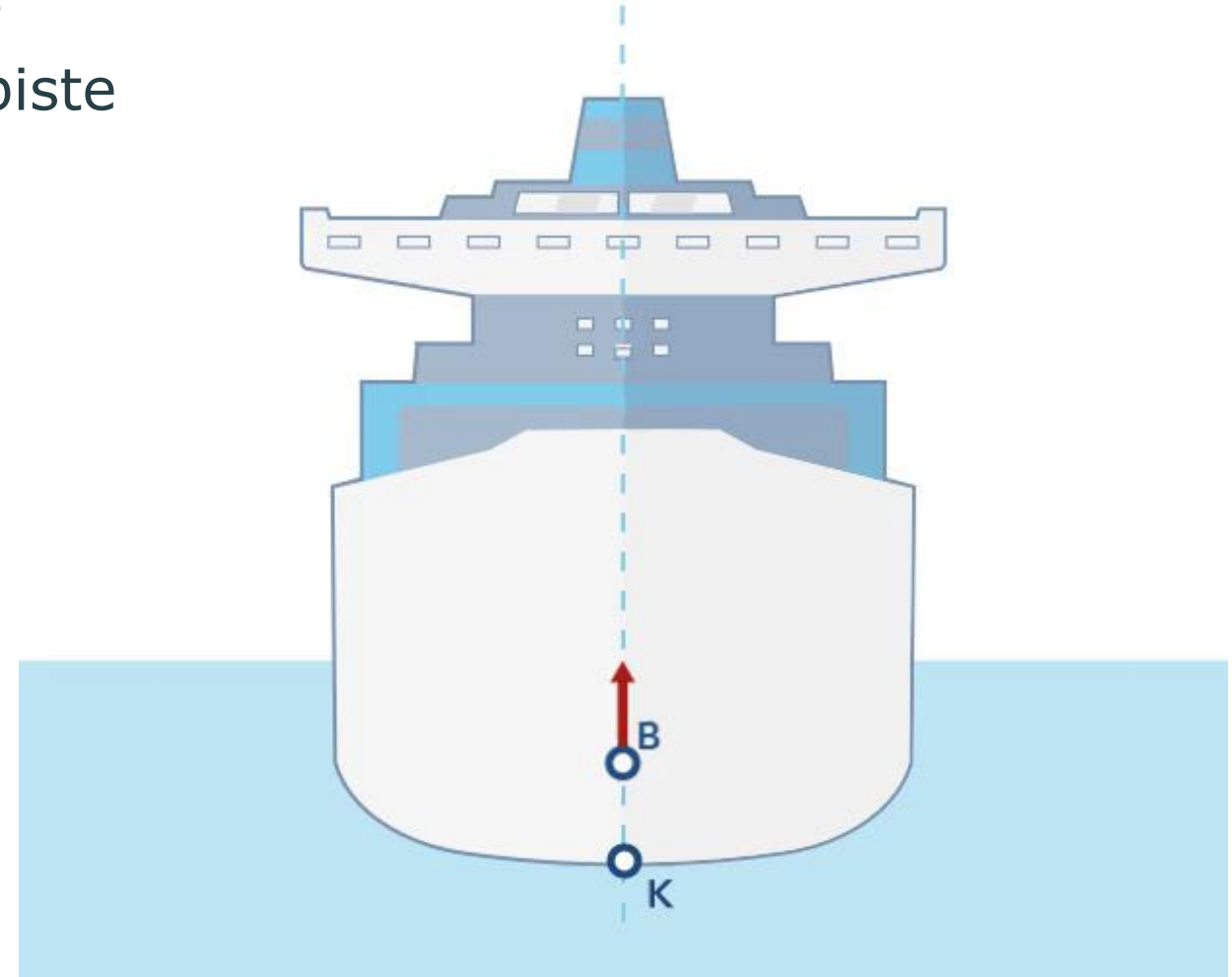
- Painopiste merkitään kirjaimella **G**
- Korkeus määritetään kölipisteestä **VCG**
- Poikittainen sijainti keskilaivasta **TCG**
- Pitkittäinen sijainti **LCG** joko
 - Keulaperpendikkelistä **FP**
 - Peräperpendikkelistä **AP**
 - Keskilaivasta **Midship**





Uppouman painopiste B

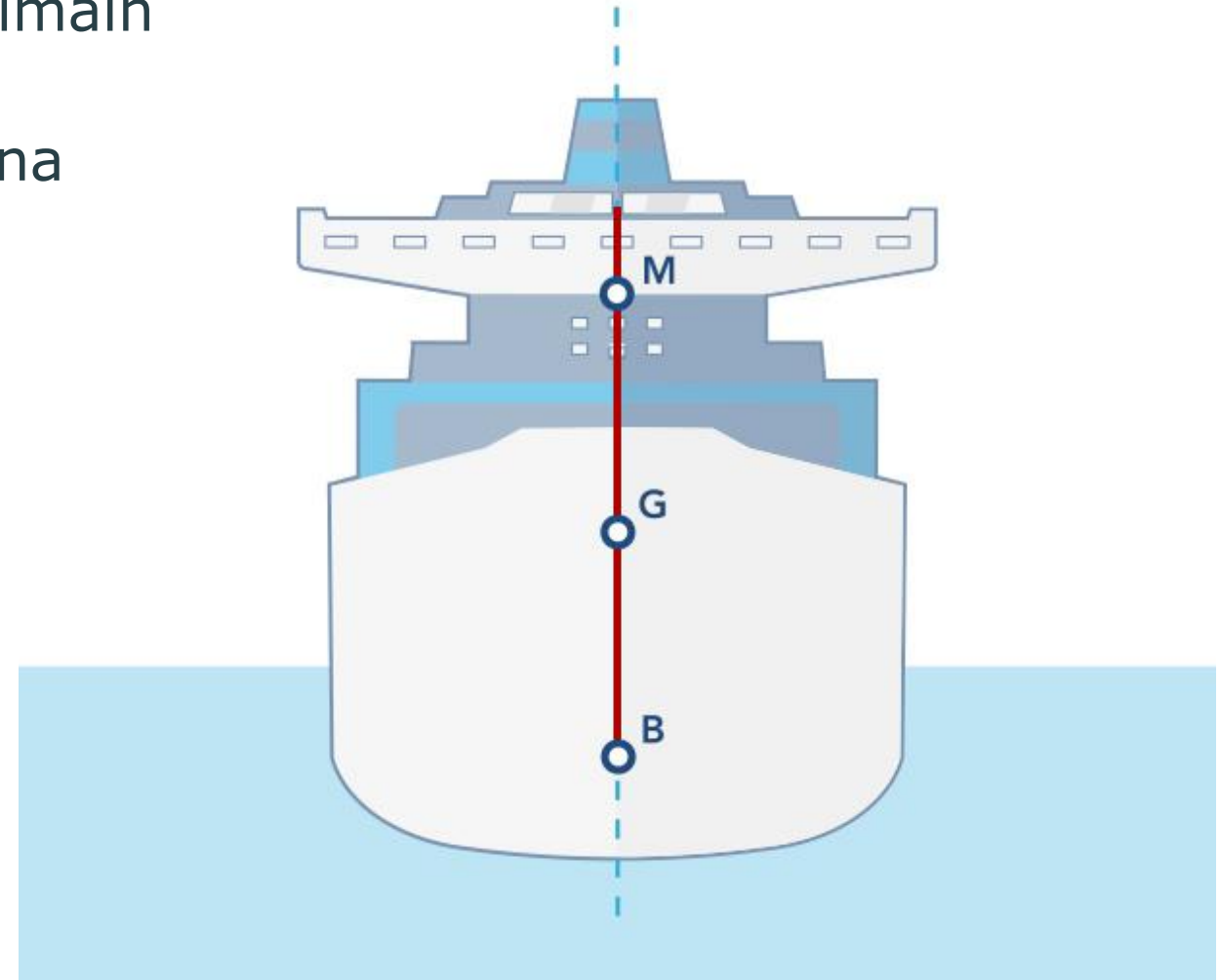
- Vedenalaisen tilavuuden, uppouman, keskipistettä merkitään kirjaimella B
- Laivan kallistuessa uppouman keskipiste siirtyy





Vaihtokeskus M

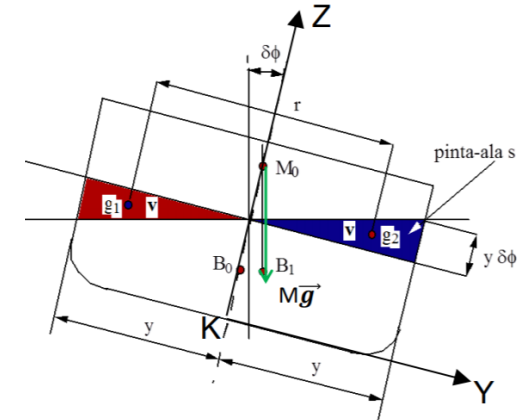
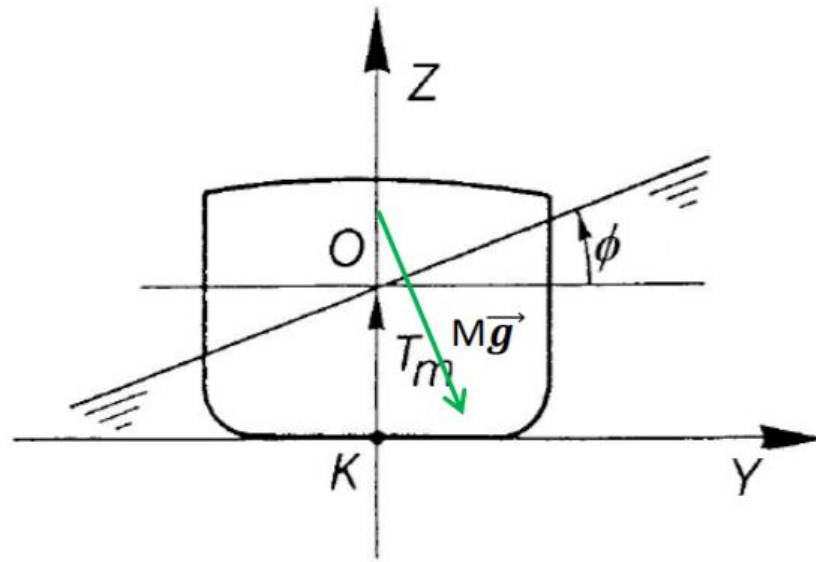
- Uppouman nostovoimavektorin ja laivan keskiviivan leikkauspiste M pysyy likimain paikallaan laivan kallistuessa
- Laivan painospisteen ollessa alempana kuin vaihtokeskus M, laivalla on positiivinen vakavuus



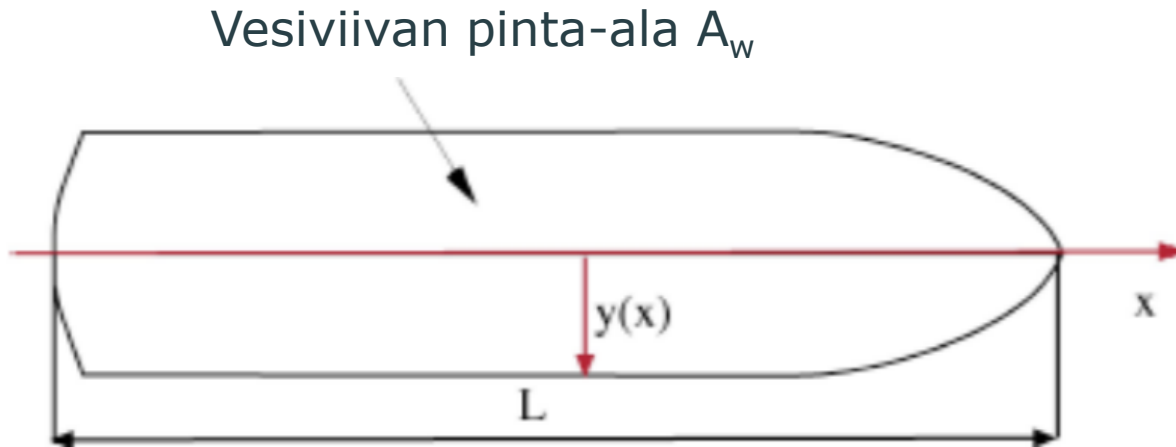
Uppouman siirtyminen laivan kallistuessa



- Kallistuessa laivan vesiviivan ala määrää siirtyvän vesimassan suuruuden



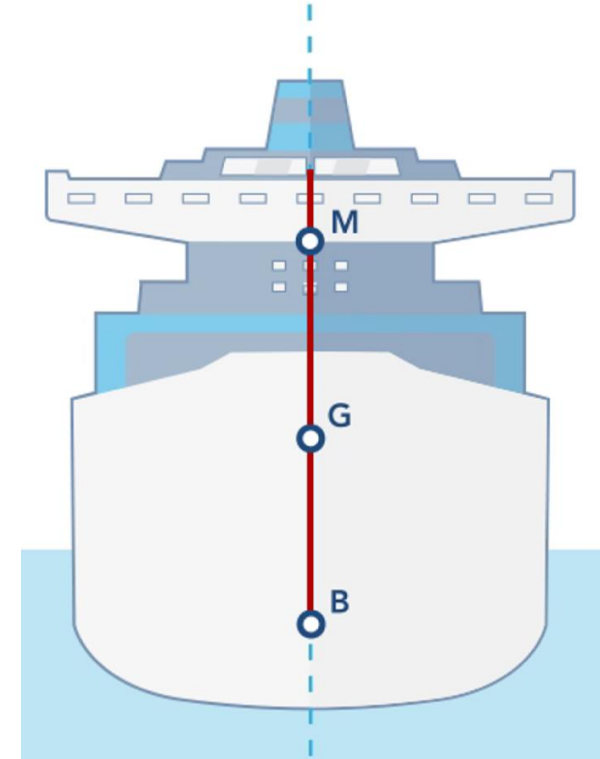
Vaihtokeskus M uppouman painopisteestä B



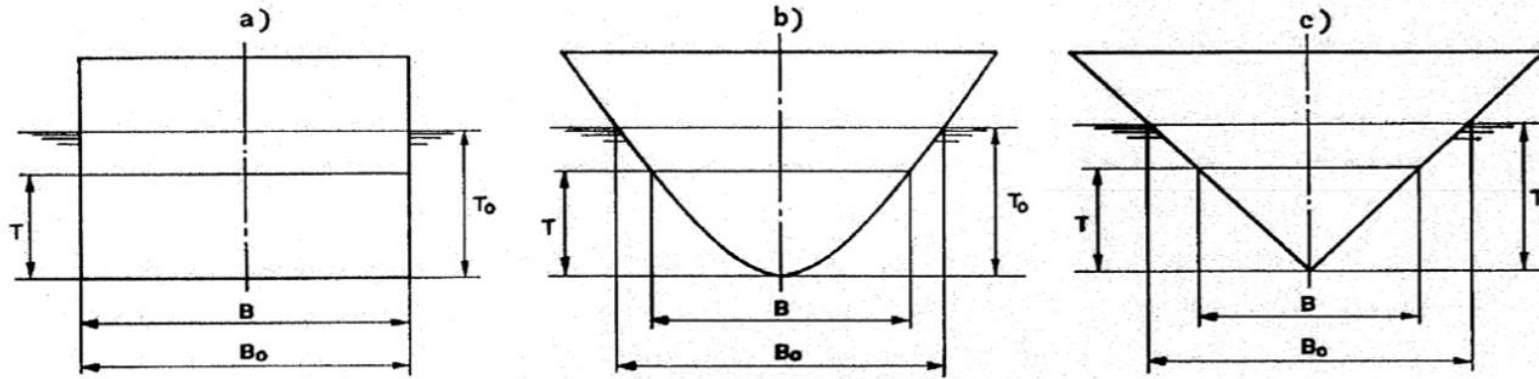
I_{xx} = vesiviivan hitausmomentti
 ∇ = aluksen uppouma

$$\overline{BM} = \frac{I_{xx}}{\nabla}$$

$$I_{xx} = 2 \int_{A_w} y^2 dA = \frac{2}{3} \int_0^L y^3(x) dx$$



Yksinkertaisten kappaleiden kaavoja



$$VCB = \overline{KB} = \frac{\int z d\nabla}{\nabla} = \frac{\int_0^L vcb(x)A(x)dx}{\nabla}$$

$$r = \overline{BM} = \frac{I_{xx}}{\nabla}$$

$$\overline{KB} = \frac{M_{\nabla, xy}}{\nabla} \quad \left\{ \begin{array}{l} a) \quad \overline{KB} = \frac{1}{2} T \\ b) \quad \overline{KB} = \frac{3}{5} T \\ c) \quad \overline{KB} = \frac{2}{3} T \end{array} \right.$$

$$\overline{BM} = \frac{I_{xx}}{\nabla} \quad \left\{ \begin{array}{l} a) \quad \overline{BM} = \frac{1}{12} \frac{B_0^2}{T} \\ b) \quad \overline{BM} = \frac{1}{8} \frac{B_0^2}{T_0} \\ c) \quad \overline{BM} = \frac{1}{6} \left(\frac{B_0}{T_0} \right)^2 T \end{array} \right.$$

Esimerkkinä kaksi laatikkolaivaa



Tyypillinen hinaaja:

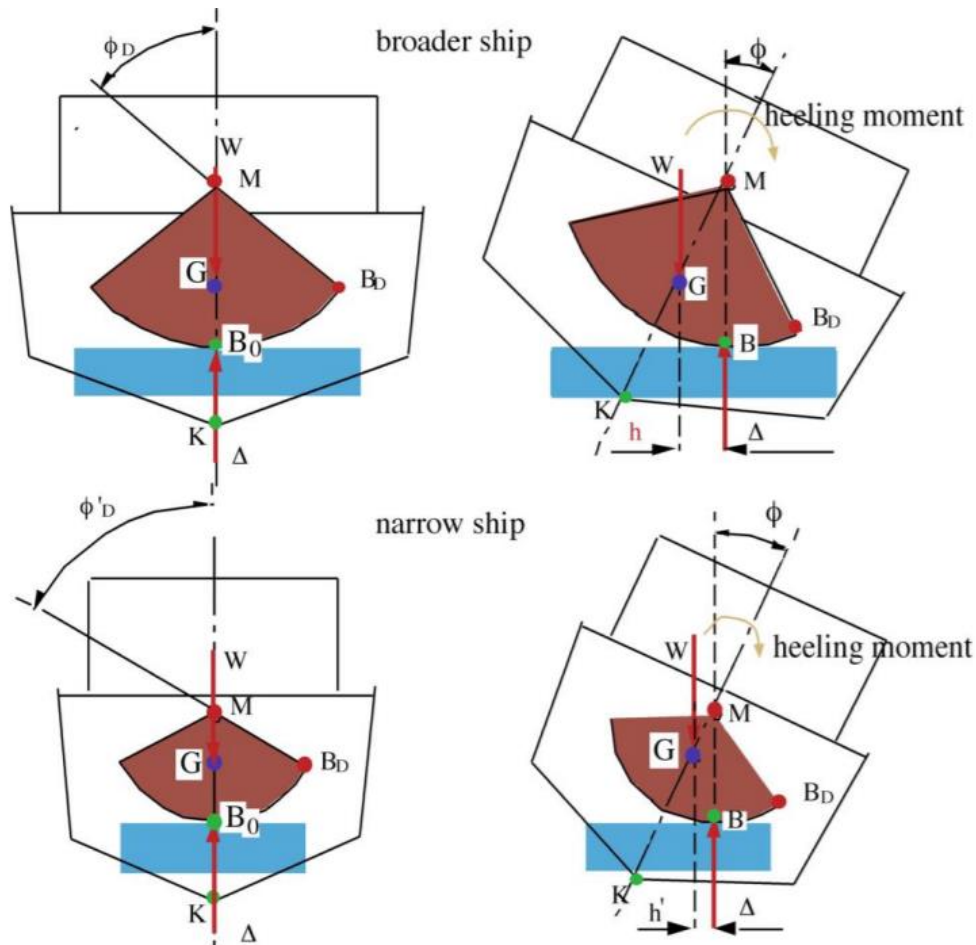
- Pituus 20 m
- Leveys 5 m
- Uppouma 100 m³
- Syväys 1 m
- $BM = 20 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 5 / 12 / 100 = 2.08 \text{ m}$
- $KB = 0.5 \text{ m}$
- **KM = 2.58 m**

Tyypillinen matkustajalaiva:

- Pituus 20 m
- Leveys 6 m
- Uppouma 100 m³
- Syväys 0.83 m
- $BM = 20 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 6 / 12 / 100 = 3.60 \text{ m}$
- $KB = 0.42$
- **KM = 4.02 m**
- Leveys +20%, vakavuus +55%

Laiva on keinutuoli!

- Leveä laiva = leveäjalkainen keinutuoli



Broader leg

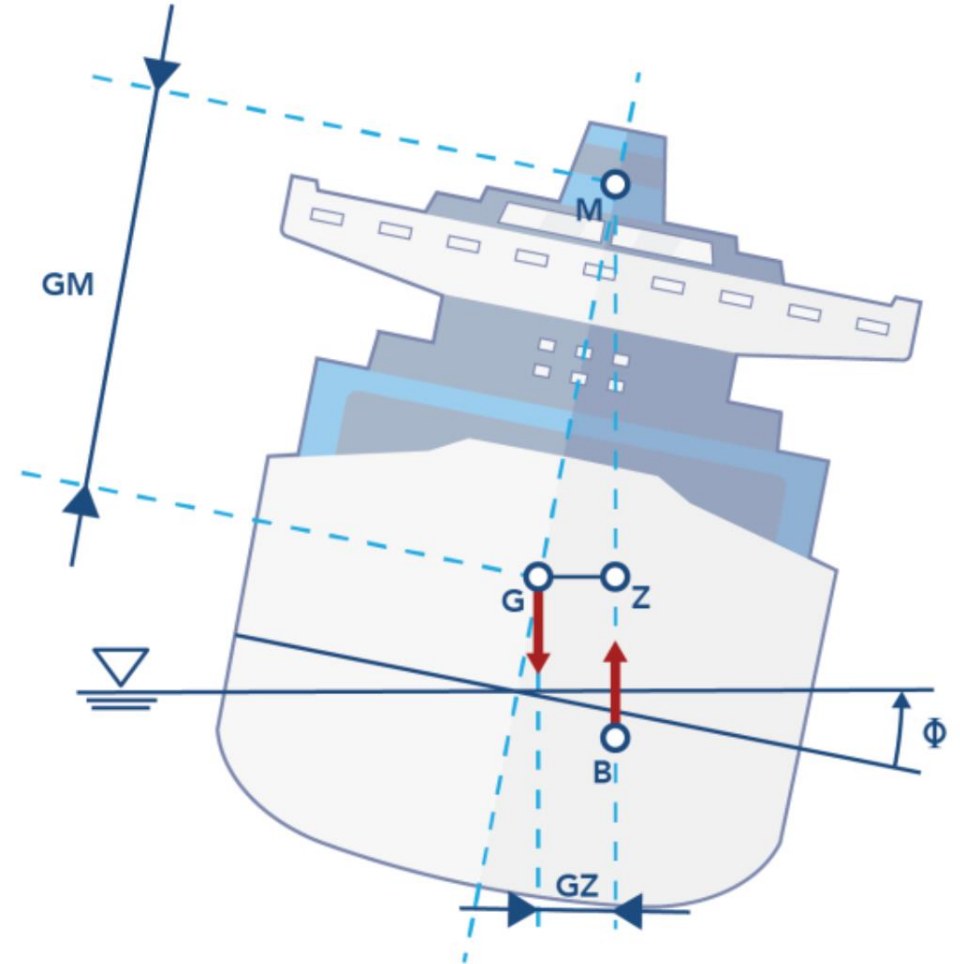
Narrow leg





Oikaiseva momentti ja momenttivarsi

- Alkuvakavuutta mittaa painopisteen G etäisyys vaihtokeskuksesta M
- Oikaiseva momentti =
Laivan paino * Momenttivarsi GZ
- $GZ = GM * \sin(\phi)$

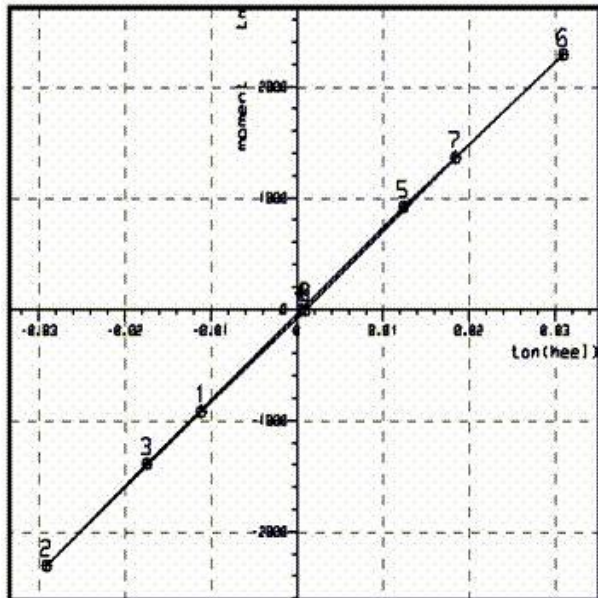




GM arvon määrittäminen kokeellisesti

KALLISTUSKOE

- Alusta kallistetaan tunnettuja painoja siirtämällä useassa vaiheessa molemmille puolille kallistaen
- Mitataan kallistuma eri vaiheissa



KEINUTUSKOE

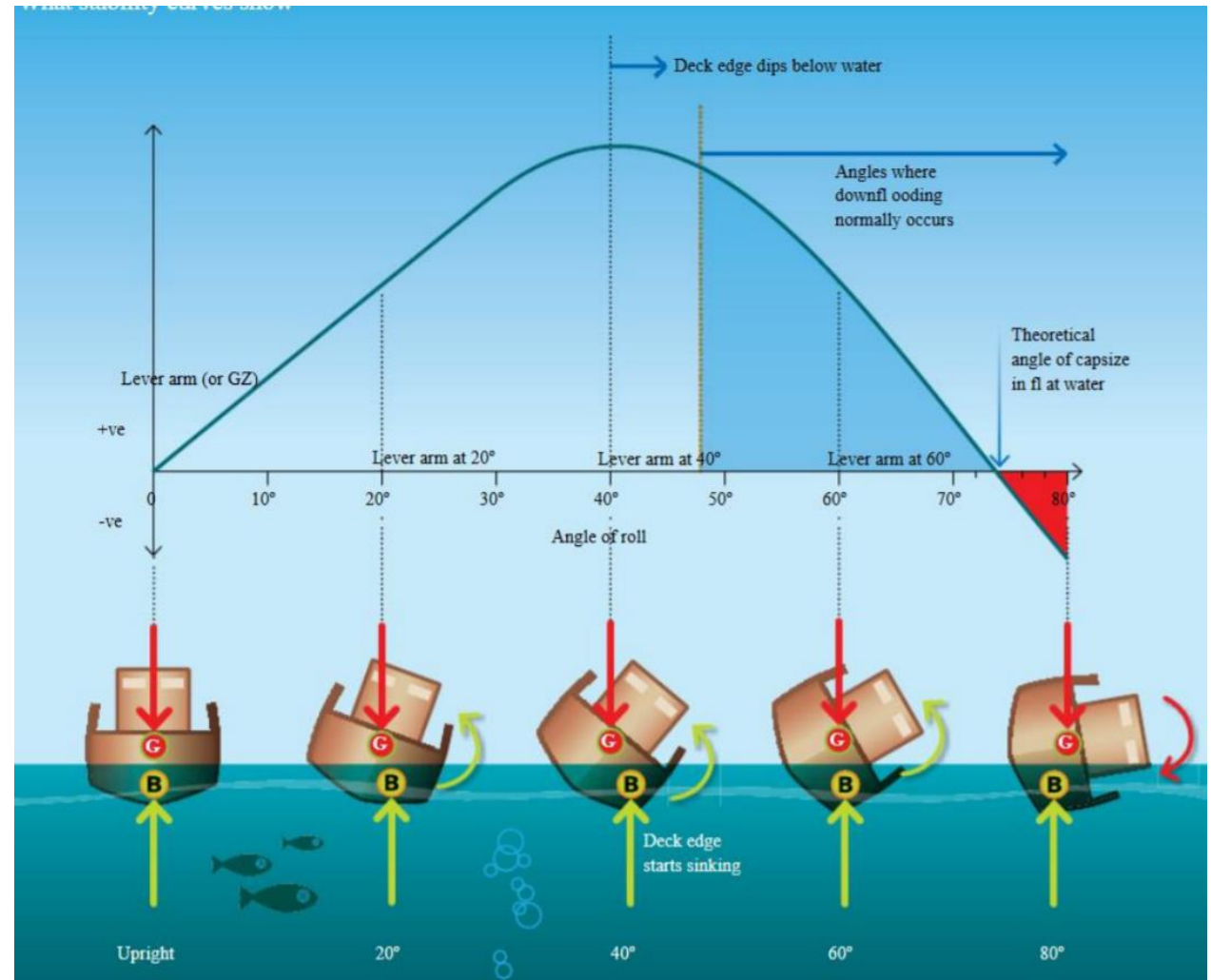
- Alusta saatetaan vapaaseen keinuntaan
- Mitataan keinumisperiodi T (sek)
- GM voidaan arvioida kaavalla laivan leveyden mukaan

$$GM = \left(\frac{0.8 \times B}{T} \right)^2$$

Laivan vakavuuskäyrä GZ



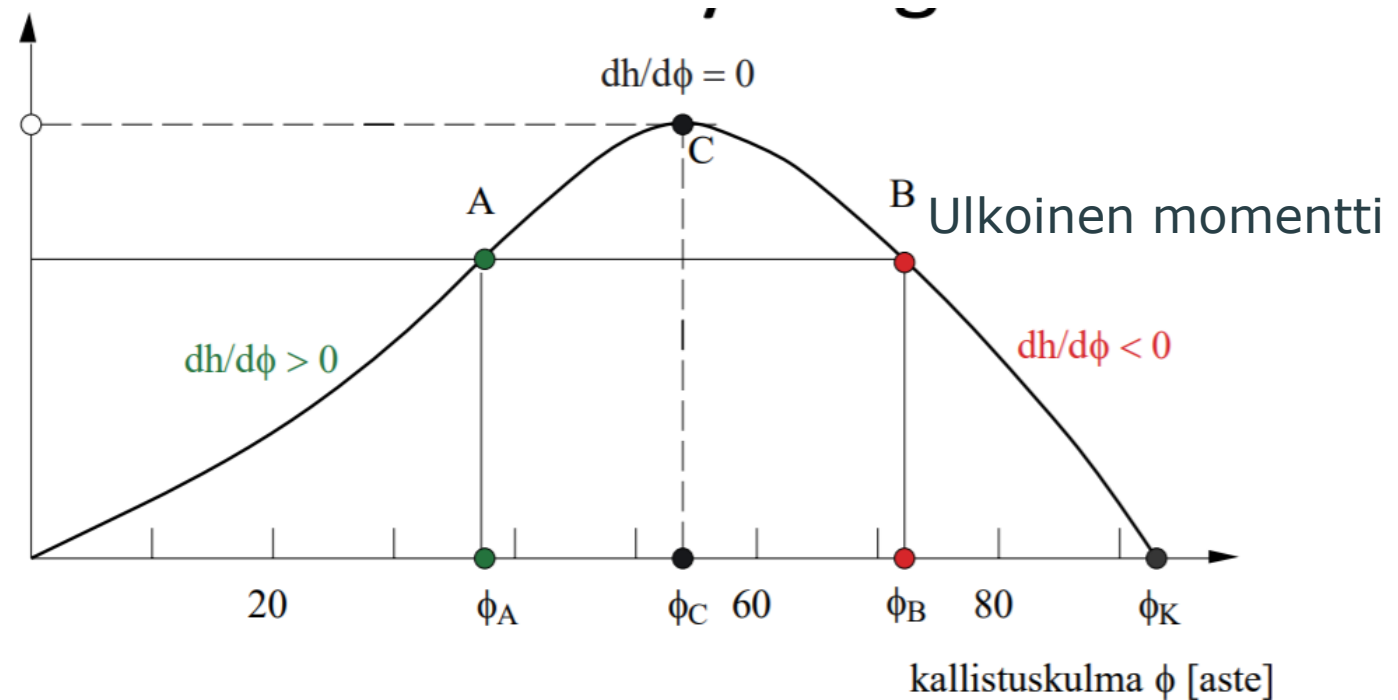
- Momenttivarsi GZ piirretään laivan kallistuskulman funktiona
 - Alkuosa on suora ja
 - oikaiseva momentti lisääntyy laivan kallistuessa
 - kunnes kansi painuu veteen ja palle nousee vedestä
 - vesiviivapinta alkaa pienentyä ja vakavuus heikkenee
- Lopulta painopiste siirtyy uppouman keskipisteen ulkopuolella ja momentti pyrkii kallistamaan laivaa lisää
- GZ käyrän pinta-ala vastaa energiamäärää mikä tarvitaan laivan kaatamiseen
- Avoimet aukot muuttavat tilanteen



Ulkoinen momentti pienentää vakavuusmarginaalia



- Sivutuuli
- Epäsymmetrinen lasti
- Käännöksen keskipakovoima
- Peräsinvoima
- Nosturin kuorma
- Vino hinausvoima



Vuotovakavuudesta

Sisään vuotava vesi huonontaa turvallisuutta kolmella tapaa:

1. Vapaa nestepinta pienentää vesiviivan hitausmomenttia I_{xx}
2. Uppouma lisääntyy
3. Varalaita pienenee

$$\overline{\text{BM}} = \frac{I_{xx}}{\nabla}$$



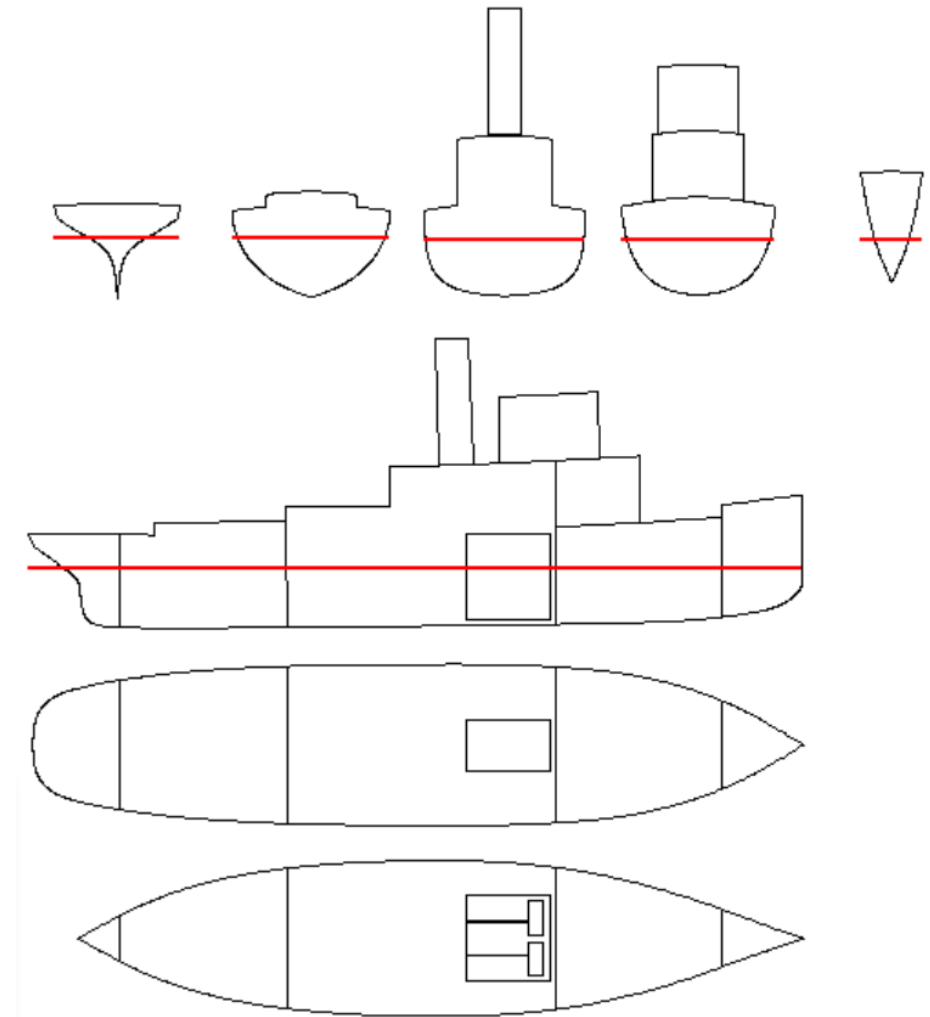
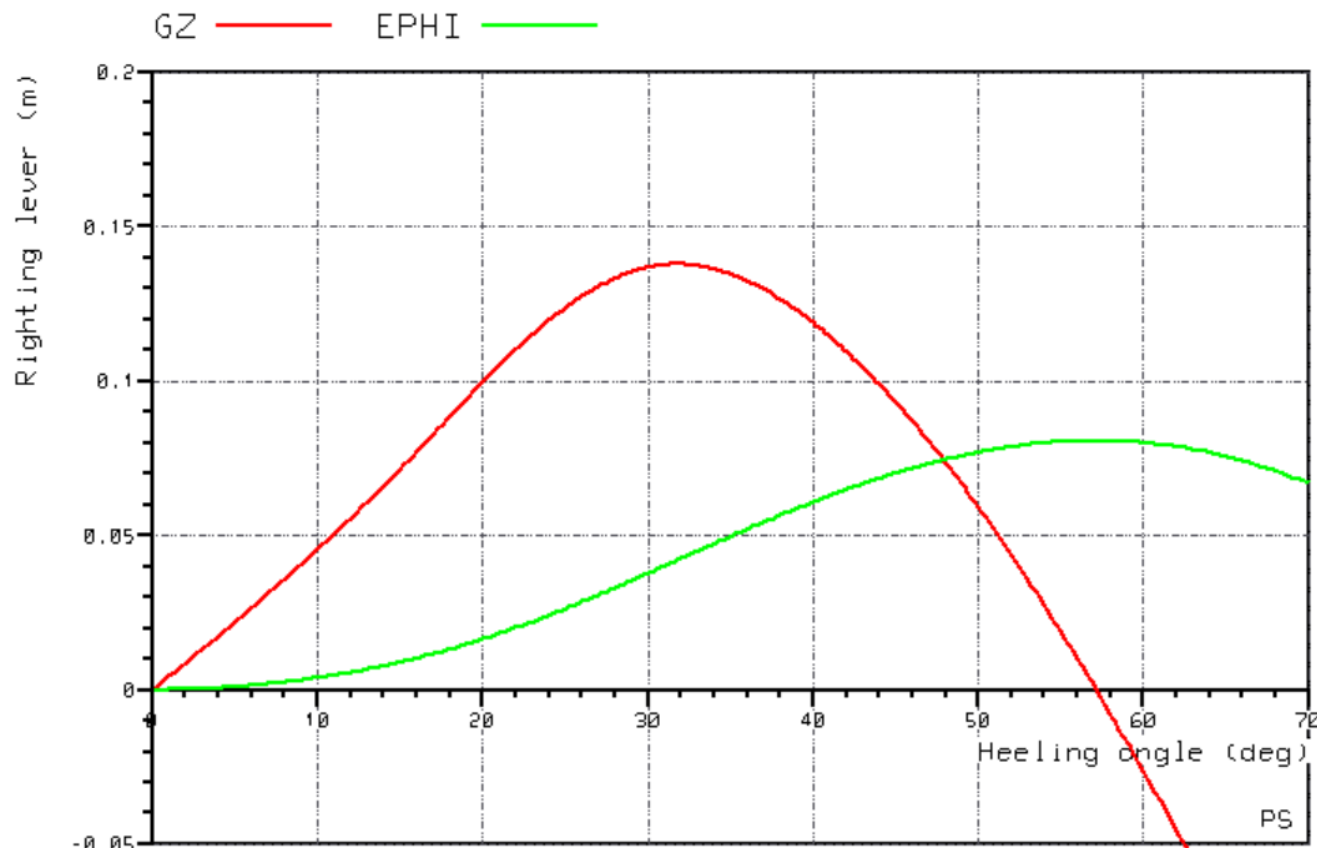


s/s ENSOn vuotovakavuuslaskelmia

- Laivan kevytpaino 86 tonnia perustuen syväysmittauksiin
- GM arvioitu olevan 0.25 m
- Runkomuoto saatu alkuperäisistä uloslyöntitaulukoista
- Kattilassa normaali määrä vettä
- Kattila käsitellään ehjänä astiana
- Pilssit tyhjiä
- Halkoboxit likimain tyhjt
- Oletetaan että vesitiiviit laipiot tiiviitä, mitä todellisuudessa eivät ole

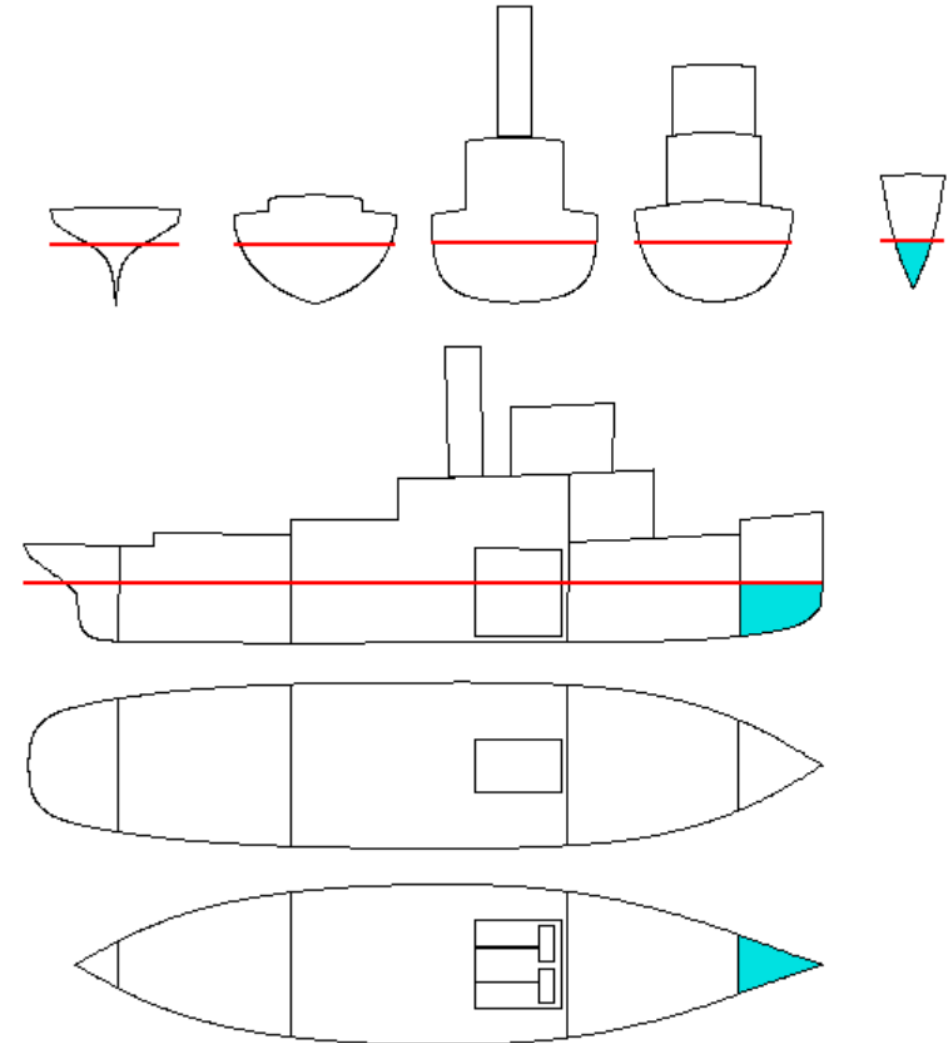
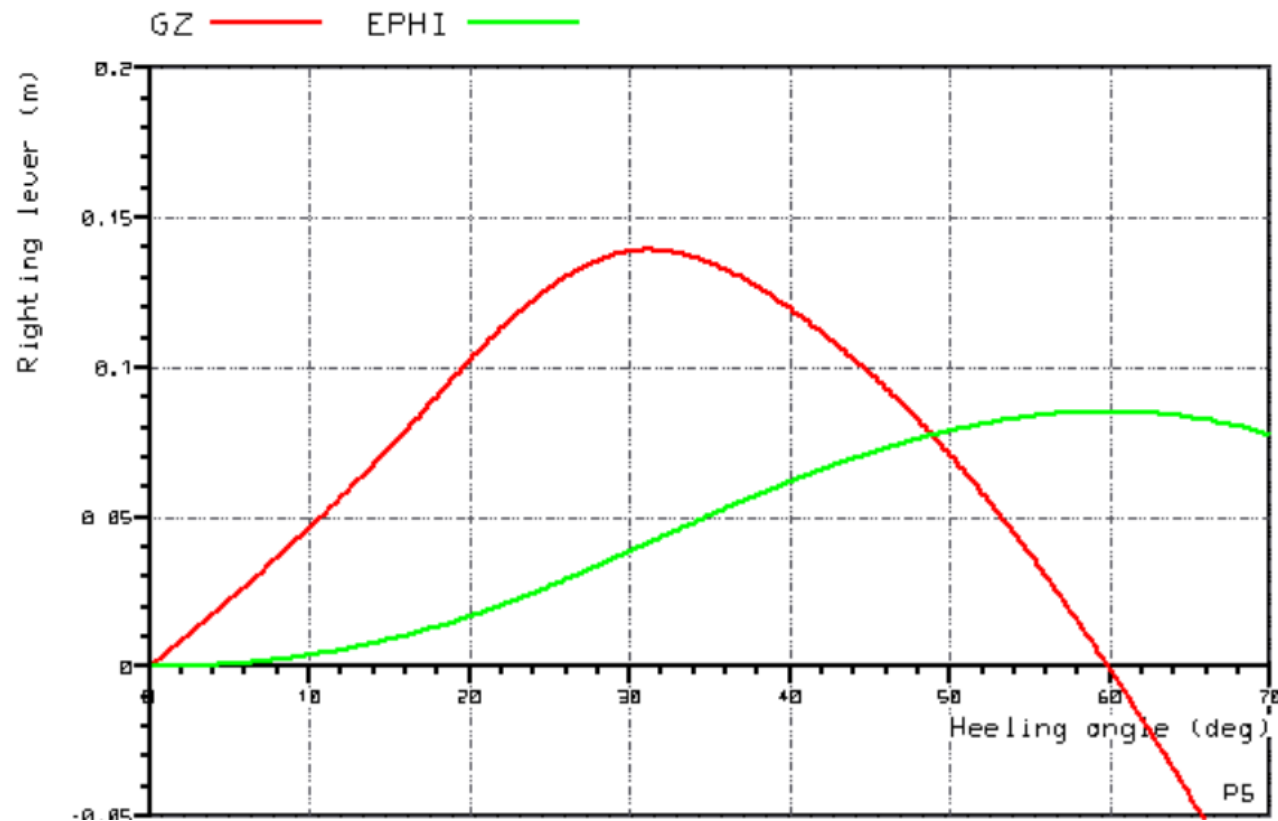
Alkutilanne, ehjä laiva

- GM 0.25



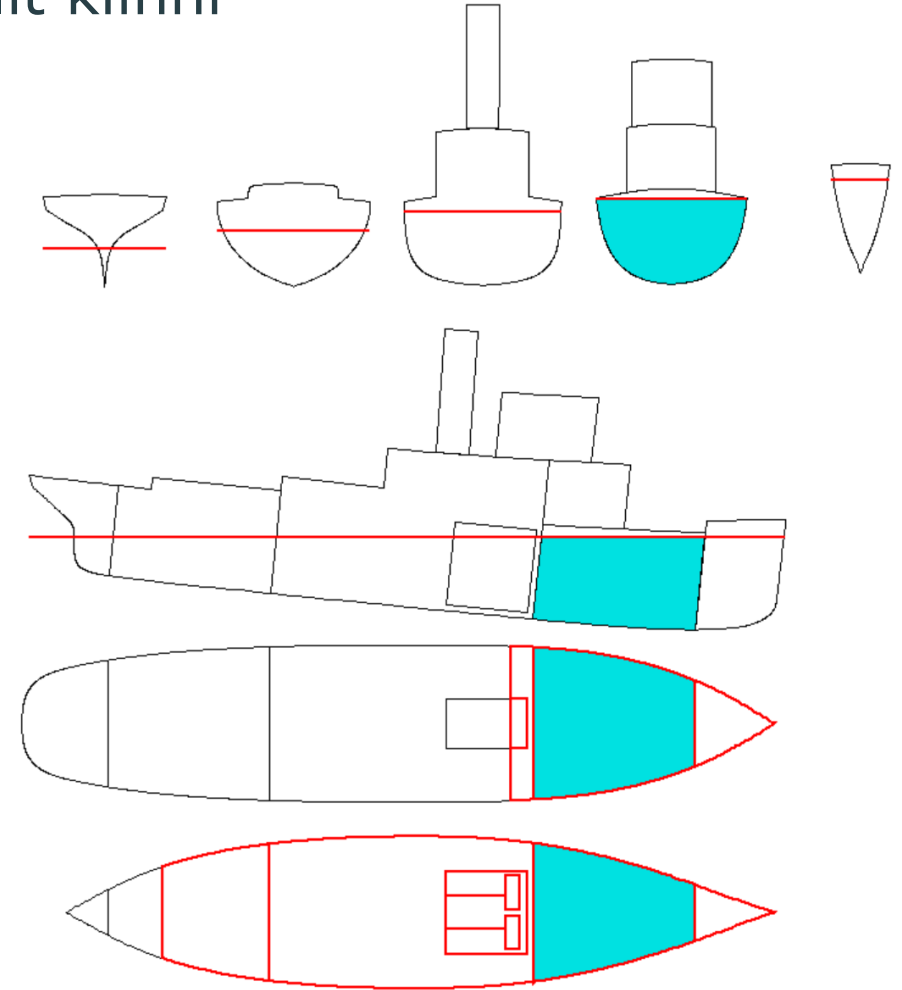
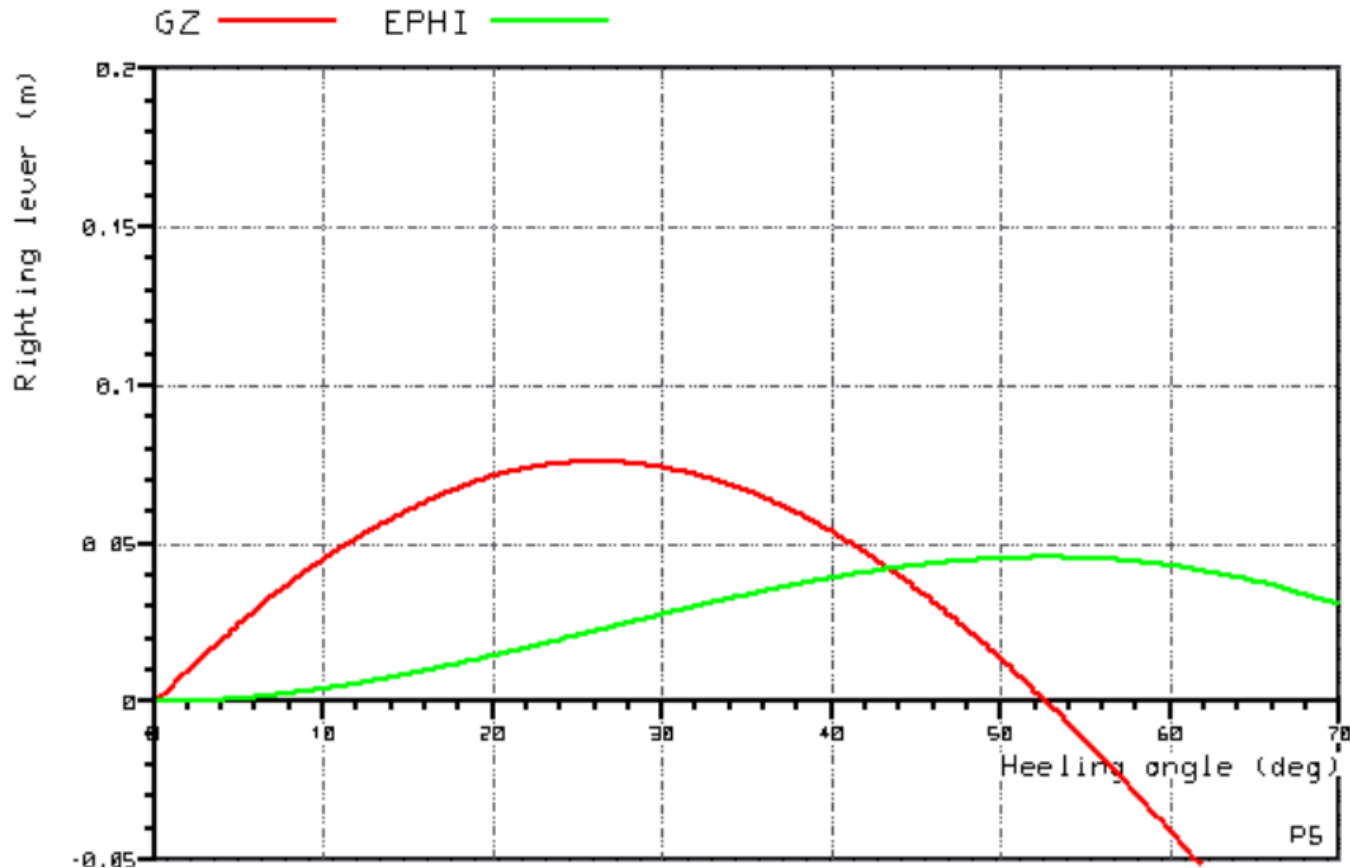
Keulapiikki

- Pieni parannus vakavuuslaajuuteen



Keulahytin vaurio

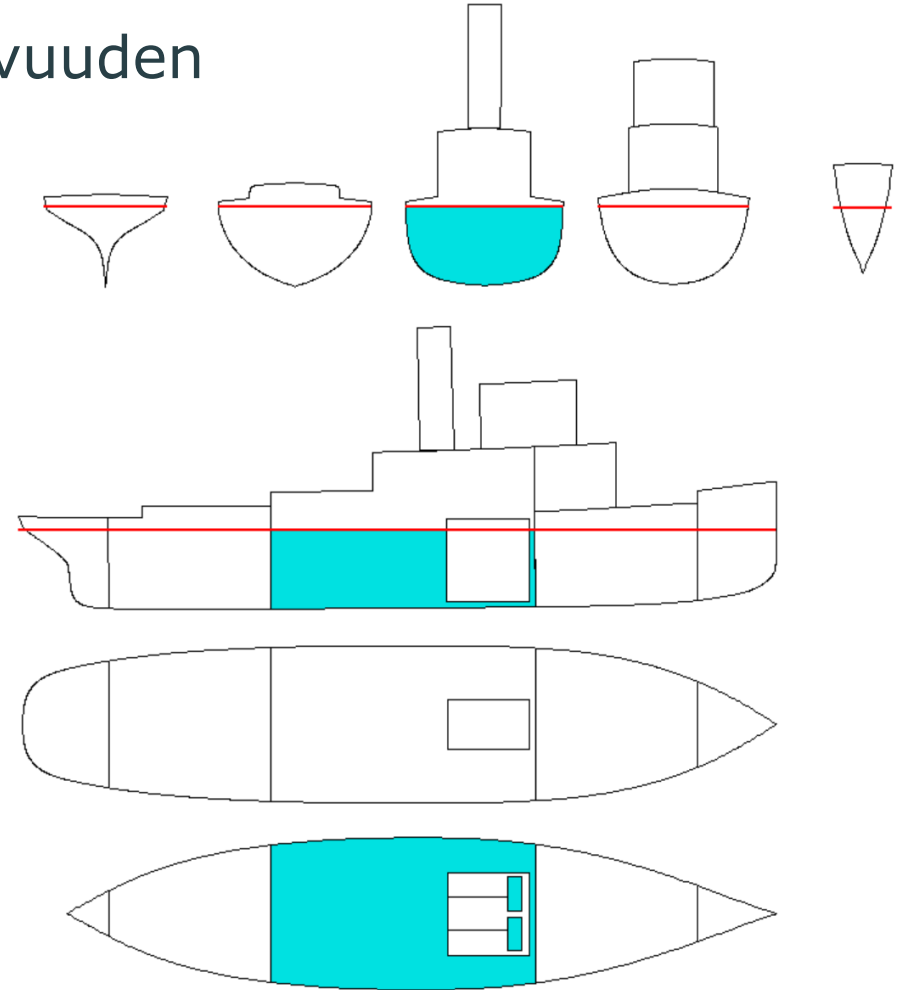
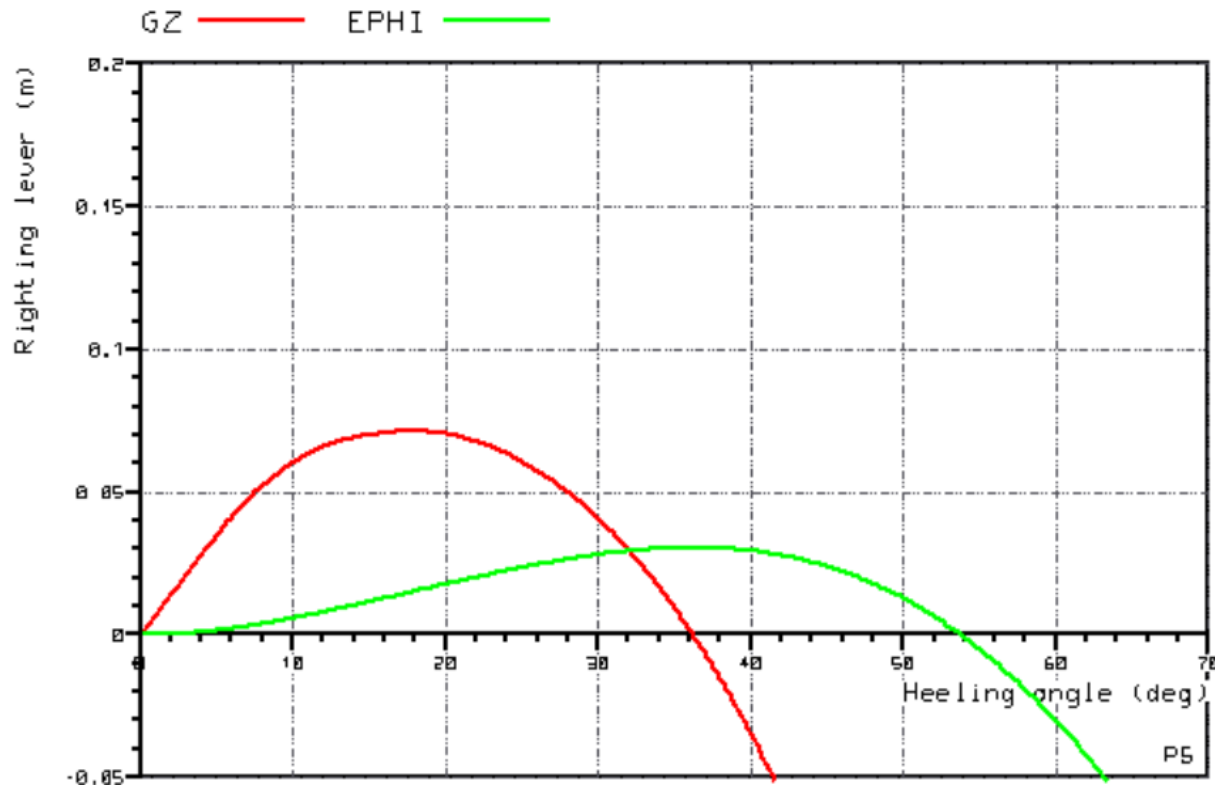
- Alus kelluu mikäli laipiot tiiviitä ja ikkunaventtiilit kiinni
- Vakavuutta jäljellä kunnes vesi vuotaa aukoista





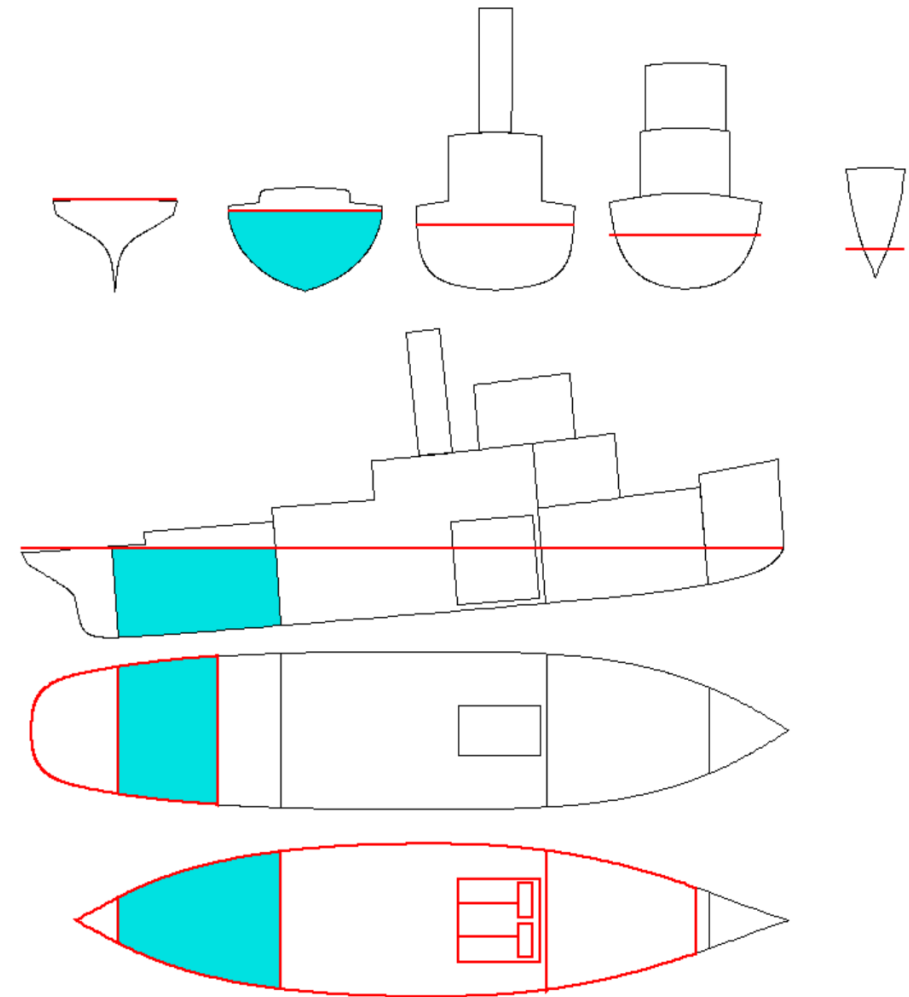
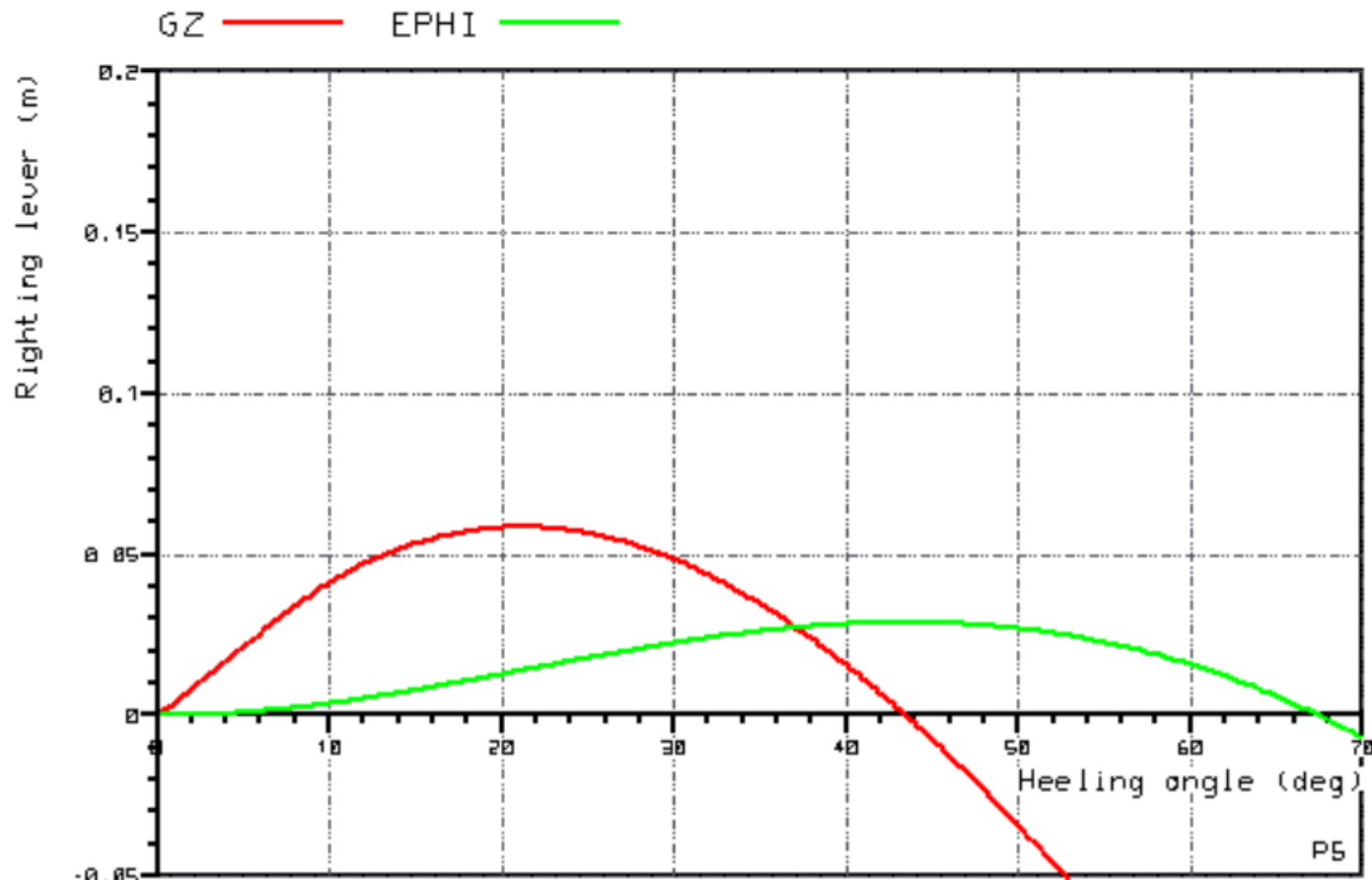
Konehuoneen vaurio

- Pysyy pinnalla, mikäli halkoboxin luukut tiiviit
- Keulan ja perän kansi tuo jäljellä olevan vakavuuden
- Konehuoneen ikkunaventtiilit ja aukot!



Peräosaston vaurio

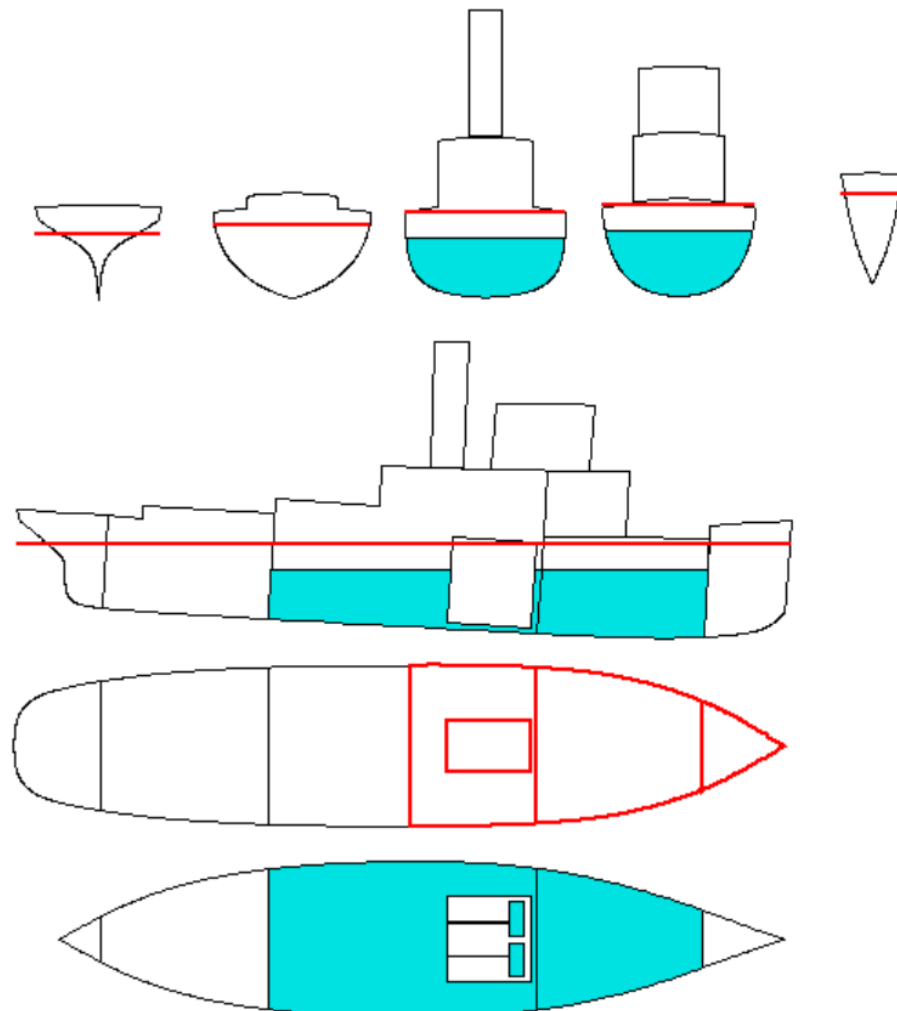
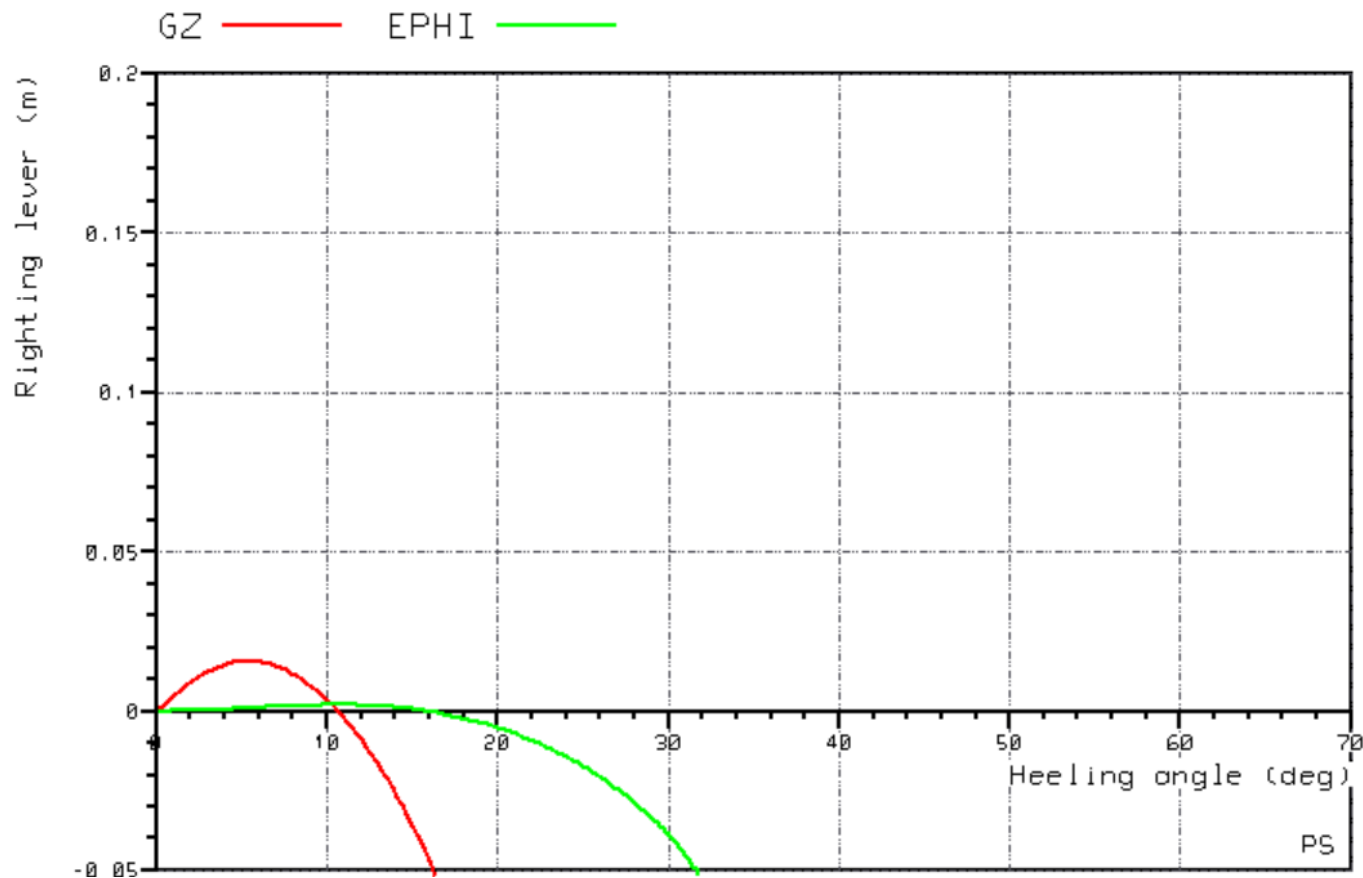
- Pysyy pinnalla, ellei perätankin luukku vuoda
- Keula tuo minimivakavuuden



Keulaosasto ja konehuone vaurioituneet



- Kestää noin 70% täyttymisen, minkä jälkeen vapaat nestepinnat ja kannen painuminen veteen vie vakavuuden





Heikki Peuranen, 25.6.2005

- Puutteellinen navigointi syynä karille ajoon
- Runko säilyi vesitiiviinä
- Suora WC:n putki vuoti keulapiikkiin
- Avoin venttiili keulahytettiin
- Mikään laipio ei ollut vesitiivis
- Kannattaisiko seuran tehdä runkokatsastuksia jäsenistön aluksille?





Miten välttää laivan uppoaminen

AJOSSA

- **Pysy väylällä!**
- Huolehdi, ettei pilsseissä ole ylimääräistä vettä
- Tunkkipumppu kunnossa ja käyttövalmiina
- Ejectori kunnossa
- Käsipumput kunnossa
- Laipioiden läpiviennit vesitiiviitä
- Ikkunat ja luukut kiinni
- Vuotomatto valmiina
- **Aja rantaan jos voit!**

TALVIVARASTOINTI

- Estä venttiilien ja putkien halkeaminen pakkasessa
- Laiva irti laiturista talveksi, ettei kallistu veden korkeuden muuttuessa
- Tuki aukot, mistä vesi voi päästä sisään
- Poista ylimääräinen lumi kansilta
- Pidä pilssivesi minimissään

Monarch of the Seas, Philipsburg, 15.12.1998



- Jätti sairaan matkustajan satamaan
- Poistui epätavallista reittiä
- Ajoi karille, mutta meni vauhdilla yli
- Kapteeni ajoi matalikolle
- Laiva ja ihmiset pelastuivat ajoissa tehdyn rantautumisen ansiosta



Sally Albatross, 4.3.1994 Porkkalan edustalla



- Tutkakartta kiinnitetty väärään pisteeseen
- Ajoin 19 solmun vahdilla karin yli
- Jatkoivat matkaa reitillä kunnes koneet pysähtyivät
- Vajosi riittävän hitaasti, että matkustajat ja miehistö ehdittiin pelastaa 3 tuntia karilleajosta
- Tyhjä laiva hinattiin matalikolle 6 tuntia karilleajosta



Costa Concordia, Gigilio, Italia, 13.1.2012



- Törkeää välinpitämättömyyttä
- Liuta virheitä kapteenilta
- Ajoi tarkoituksella hyvin lähelle rantaa
- Jälkien peittelyä
- 32 kuollutta
- Laiva **320 Milj €**
- Hylyn nostaminen ja romuttaminen maksoi **yli miljardi €!**



s/s KURU, onnettomuus Näsijärvi, 7.9.1929



- Umpiparras keulassa piti aallokon tuoman veden kannella
- Vesi painoi keulaa alas
- Matkustamon ovesta aallot toi vettä laivan suljettuun matkustamoon
- Paino ja painopiste nousi ylös
- Paljon vapaata nestepintaa huononsi vakavuutta edelleen
- Pysäytetty kone esti ohjauksen ja laiva kääntyi sivutuuleen
- Tuulen kallistava momentti, aallokon keinunta, huono vakavuus ja painon siirtyminen kaatoi laivan
- 136/138 menehtyi



Herald of Free Enterprise, Zeebrugge 6.3.1987



- Lastauksen takia painolastivettä keulassa
- Myöhässä aikataulusta ajoi kovaa keula- ja peräportit auki
- Kaatui pian satamasta lähdön jälkeen
- Syynä vettä autokannella
- Vastuuttomuutta ym.
- 193 kuollutta





MV Seawol, Etelä-Korea, 16.4.2014

- Monia laiminlyöntejä tarkastuksessa ja ylläpidossa
- Huono alkuvakavuus
- Jyrkkä käännös aiheutti voimakkaan kallistuman ja lastin siirtymisen
- 304 kuollutta ml. 250 nuorta opiskelijaa
- Kapteeni ja kolme muuta miehistön jäsentä saivat syytteet murhasta
- Omistaja teki itsemurhan
- Liuta viranomaisia laitettiin viralta ja saivat syytteet ylintä merenkulun valvovaa viranomaista myöten
- Tutkinta jatkuu...



GTS Finnjet pari läheltä piti tilannetta



- 15.1.1987 jääkuorma keskeytti matkan vakavuuden menetyksen pelossa ja kerran aiemmin vuonna 1978
- Ainakin kerran meinasi kaatua parametriseen keinuntaan, ei julkinen tieto





Parametrinen keinunta

- Syntyy silloin kun laivan GM vaihtelee laivan keinunnan taajuuteen nähden kaksikertaisella taajuudella
- Vakavuus huono laivan kallistuessa, mutta on ylivakaa laivan ollessa ääriasennossa
- Ja alus oikenee hyvin nopeasti
- Silloin keinunta syöttää lisää energiaa





ONE Apus konttien menetys 30.11.2020

- Pohjoinen Tyynimeri
- L=364 m, B=51 m
- Rakennettu 2019
- 14052 TEU max kapasiteett
- **Menetti 1816 konttia arvoltaan 200 miljoonaa US\$**

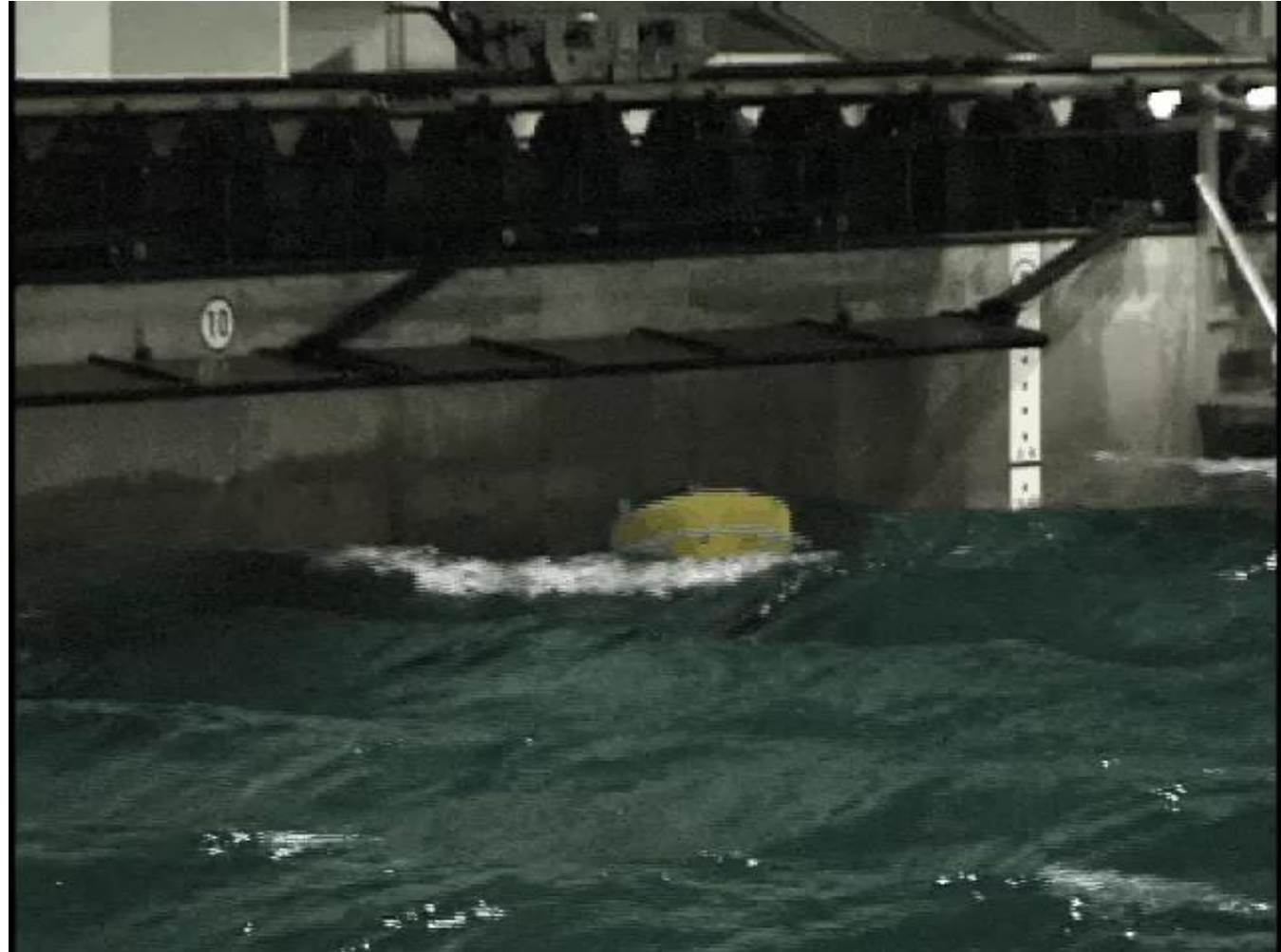
Syynä ilmeisesti parametrinen keinunta, eli aallokon aiheuttama GM:n vaihtelu oli synkronissa keinunnan kanssa



Vakavuuden menetys aallon harjalla



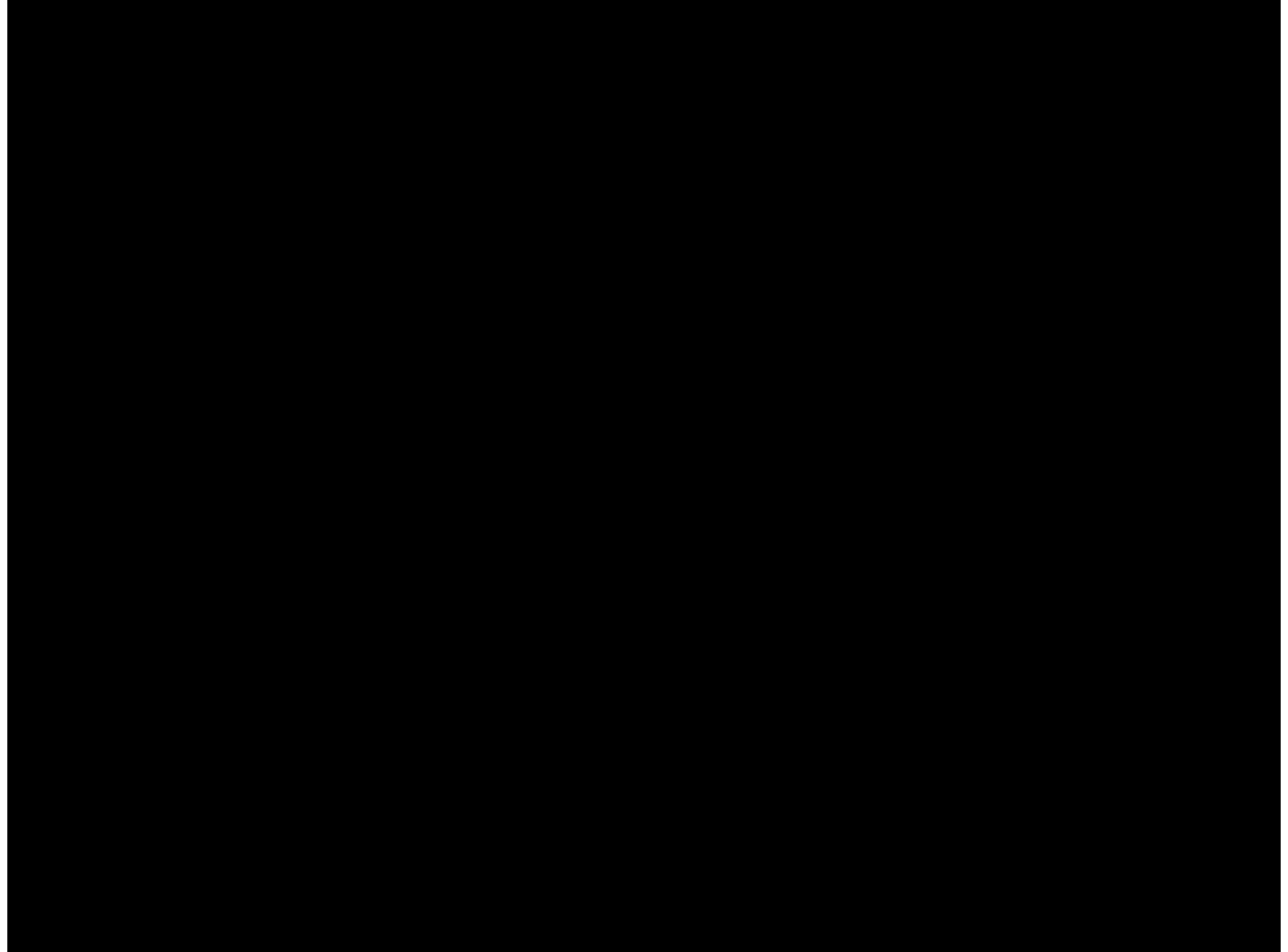
- Aallon harjalla aluksen vakavuus on hyvin pieni tai negatiivinen
- Mikäli tilanne kestää kauan, voi alus kaatua





Broaching, alus kiihtyy aallon voimasta

- Vesi kulkee aallon harjalla nopeasti aallon mukana
- Tänä kiihdyttää aluksen lisävauhtiin
- Vastapäisen aallonlaaksossa kohdalla vesi kulkee vastakkaiseen suuntaan
- Keula jarruttaa ja perä työntää
- Menetetään ohjattavuus



Kiitos!

