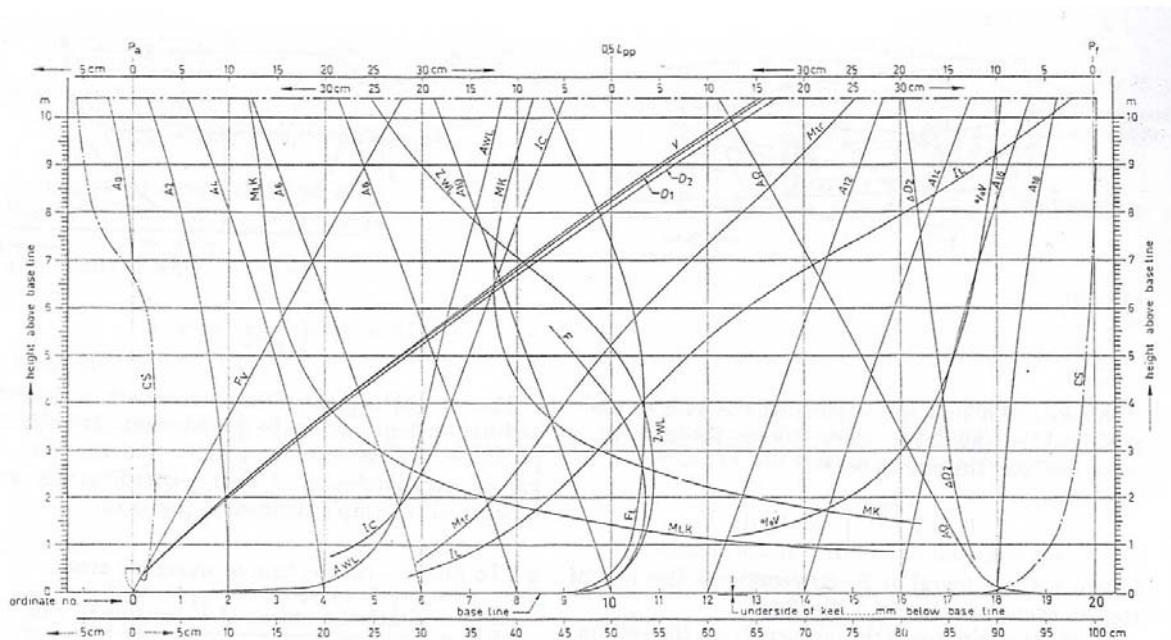


**МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**  
**ОДСЕК ЗА БРОДОГРАДЊУ**

**ТЕОРИЈА БРОДА**

**УПУТСТВО ЗА ИЗРАДУ ДИЈАГРАМСКОГ ЛИСТА**



Београд, децембар 2004.

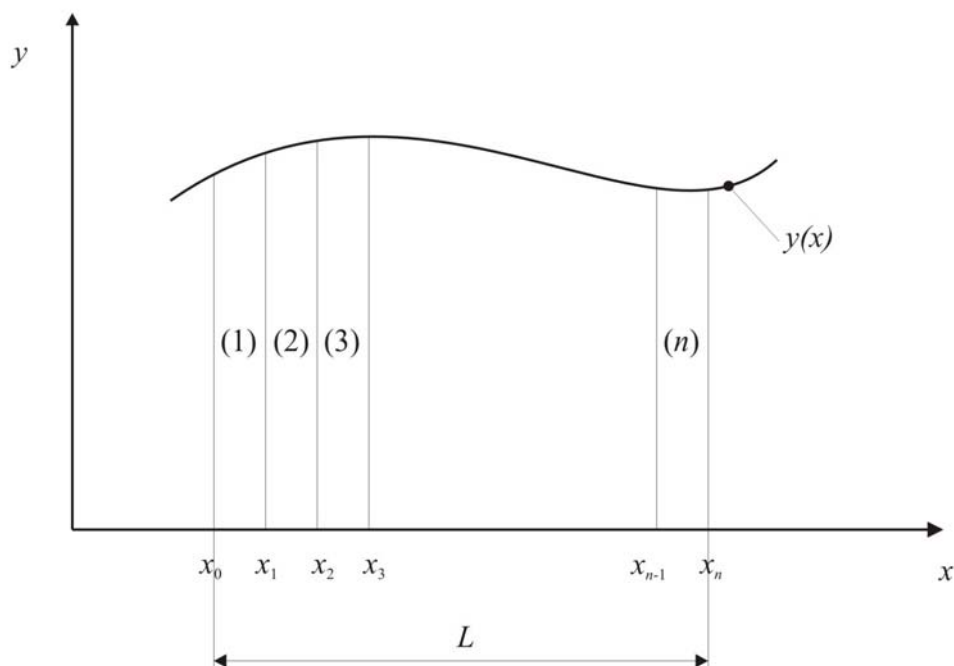
## 2. Дијаграмски лист

Постоји низ кривих које описују геометријске величине бродског трупа (површине, запремине, статичке моменте, моменте инерције и др.) у зависности од газа. Ове криве се користе за прорачун **равнотеже и стабилности брода**, тј. **бродске хидростатике** па се зато називају хидростатичке криве. Неопходне су како у поступку пројектовања, прорачуна и израде брода, тако и током експлоатације, при утовару/истовару итд. Приказују се на **дијаграмском листу**, важном бродском документу и уједно, другом пројекту у оквиру предмета Теорија брода.

### 2.1 Методе нумеричке интеграције

При прорачуну хидростатичких кривих сусрећемо се са следећим проблемом: треба израчунати интеграле функција  $y(x)$  чији нам аналитички облик није познат. Нпр.

$$A = \int_{x_0}^{x_0+L} y(x) dx = ?$$



слика 2.1: Нумеричка интеграција

С друге стране, функција  $y(x)$  нам је позната графички, па прибегавамо приближним поступцима за интеграцију.

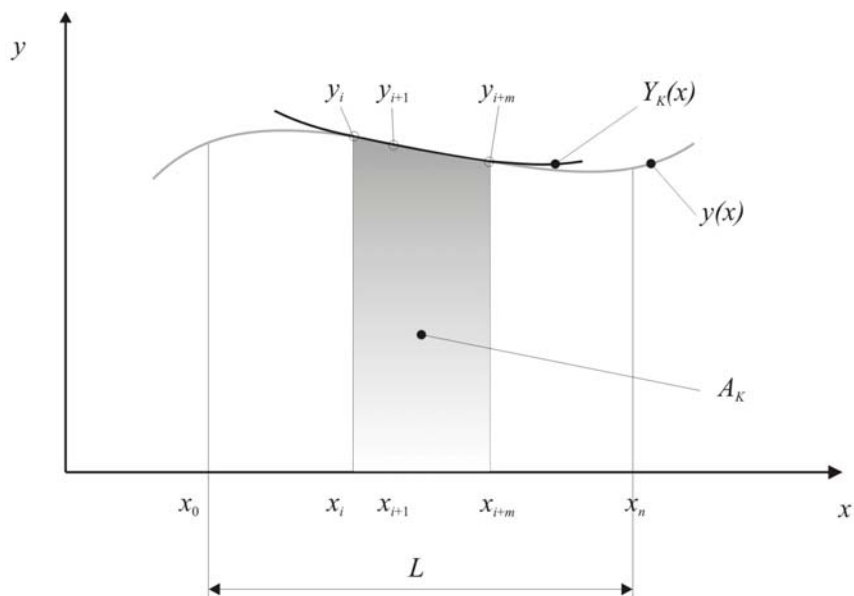
Једна група поступака заснива се на следећој идеји. Интервал дужине  $L$  најпре се подели на  $n$  поља (најчешће) једнаке ширине  $\Delta x$ :

$$\Delta x = x_1 - x_0 = x_2 - x_1 = \dots = x_n - x_{n-1},$$

$$L = n \cdot \Delta x$$

Затим се крива  $y(x)$  на делу интервала апроксимира полиномом реда  $m$ :

$$Y_k(x) = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + \dots + a_m \cdot x^m$$



слика 2.2: Апроксимација дела криве полиномом

Коефицијенте  $a_0, a_1, \dots, a_m$ , којих има  $m+1$ , за сада не знамо. Међутим, знамо, или тачније, можемо да очитамо вредности функције  $y(x)$ .

$$Y_K(x_i) = y_i \rightarrow a_0 + a_1 \cdot x_i + a_2 \cdot x_i^2 + \dots + a_m \cdot x_i^m = y_i$$

$$Y_K(x_{i+1}) = y_{i+1} \rightarrow a_0 + a_1 \cdot x_{i+1} + a_2 \cdot x_{i+1}^2 + \dots + a_m \cdot x_{i+1}^m = y_{i+1}$$

...

$$Y_K(x_{i+m}) = y_{i+m} \rightarrow a_0 + a_1 \cdot x_{i+m} + a_2 \cdot x_{i+m}^2 + \dots + a_m \cdot x_{i+m}^m = y_{i+m}$$

Подсетимо се, тражимо површину  $A$  испод криве дефинисане функцијом  $y(x)$ . Површина испод дела криве апроксимираног полиномом је:

$$A_K = \int_{x_i}^{x_{i+m}} y(x) dx \approx \int_{x_i}^{x_{i+m}} Y_K(x) dx$$

А укупна површина представља суму свих површина одређених на описани начин:

$$A = \sum_{K=1}^N A_K \approx \sum_{K=1}^N \int_{x_i}^{x_{i+m}} Y_K(x) dx$$

У свакој од  $N$  површина има  $m$  поља, па је укупан број поља  $n = N \cdot m$ . Бројеве  $n$  и  $m$  треба одабрати тако да је њихов количник цео број:

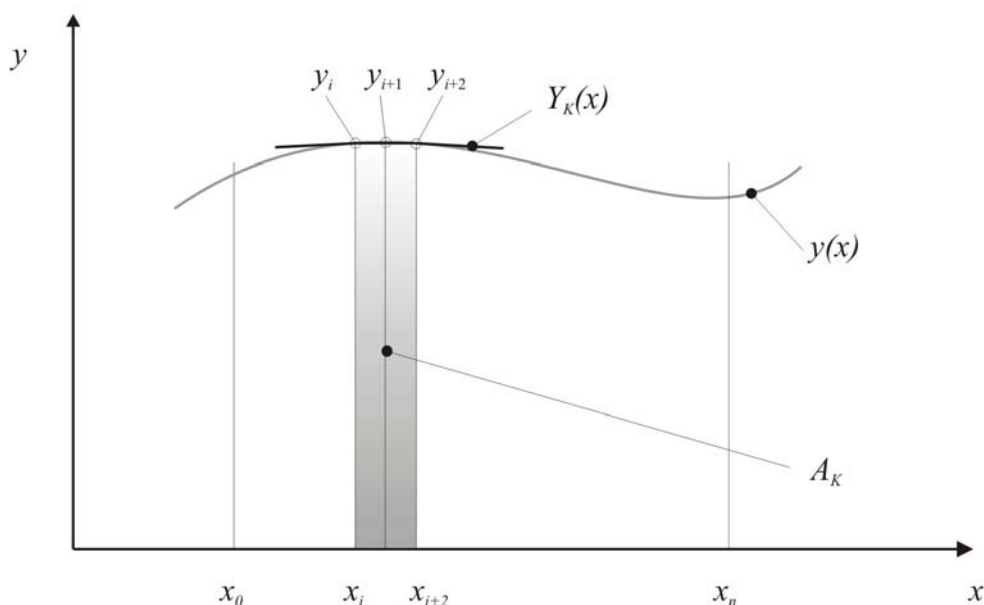
$$N = \frac{n}{m} = \text{цео број}$$

На вежбама ће бити више речи о правилима нумеричке интеграције, док ће у Упутству бити описано само оно које се најчешће користи за израду овог пројектног задатка – **Симпсоново I правило**.

### 2.1.1 Симпсоново I правило

У бродоградњи се најчешће користи Симпсоново I правило према којем се крива на делу интервала апроксимира полиномом другог реда – квадратном параболом:

$$Y_K(x) = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2$$



слика 2.3: Симпсоново прво правило нумеричке интеграције

У том случају се, применом описаног поступка, добија:

$$A_K \approx \frac{1}{3} \cdot \Delta x \cdot (y_i + 4y_{i+1} + y_{i+2})$$

$$A = \sum_{K=1}^{n/2} A_K \approx \frac{1}{3} \cdot \Delta x \cdot (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 2y_4 + \dots + 4y_{n-1} + y_n)$$

С обзиром на то да је у овом случају  $m = 2$ , практично једини услов који мора бити задовољен да би се Симпсоново I правило могло применити је да је  $N$  парно, односно да интервал интеграције буде подељен на **паран** број поља. Правило је једноставно за примену, али и довољно тачно, чему дугује широку примену у бродограђевној пракси.

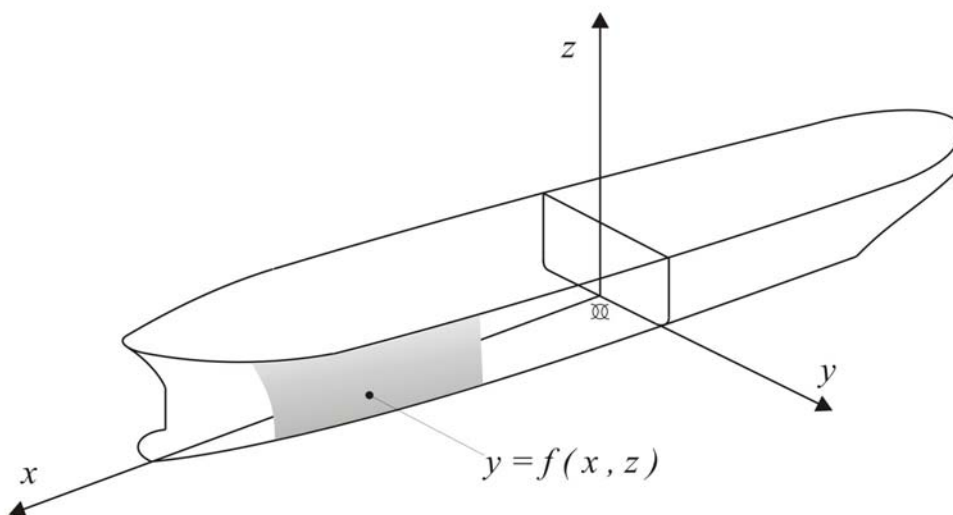
### 2.2 Криве дијаграмског листа

На слици 2.4 приказан је координатни систем који ће се користити у израчунавању геометријских величина бродског трупа. Функција:

$$y = f(x, z)$$

описује половину површи (симетричног) бродског трупа.

При  $x = const.$ , функција  $y = f(z)$  описује половину ребра, а при  $z = const.$ , функција  $y = f(x)$  описује половину водне линије.



слика 2.4: Усвојени координатни систем

### 2.2.1 Криве ребара

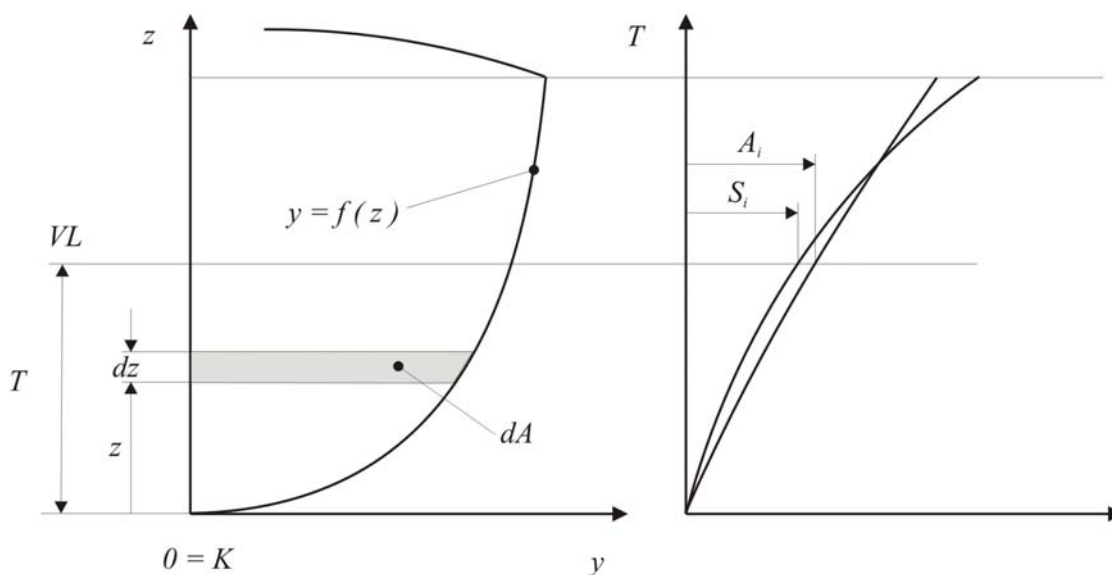
Цртају се следеће криве:

$$A_i = \int_{A_i} dA = 2 \int_0^T f(z) dz = A_i(T) \text{ – крива површине ребра } R_i$$

$$S_i = \int_{A_i} z dA = 2 \int_0^T z \cdot f(z) dz = 2 \int_0^T s(z) dz = S_i(T) \text{ – крива статичког момента површине ребра}$$

$R_i$  за раван  $xy$

Ове криве се називају Бонжанове криве.



слика 2.5: Бонжанове криве ребра  $R_i$

Криве прорачунавамо на следећи начин, служећи се Симпсоновим I правилем нумеричке интеграције:

- за парне водне линије:

$$A_i(VL_2) = \frac{2}{3} \cdot h \cdot (f_0 + 4f_1 + f_2)$$

$$A_i(KVL) = A_i(VL_2) + \frac{2}{3} \cdot h \cdot (f_2 + 4f_3 + f_4) \text{ или } A_i(KVL) = \frac{2}{3} \cdot h \cdot (f_0 + 4f_1 + 2f_2 + 4f_3 + f_4)$$

$$S_i(VL_2) = \frac{2}{3} \cdot h \cdot (s_0 + 4s_1 + s_2) = \frac{2}{3} \cdot h \cdot (0 \cdot h \cdot f_0 + 1 \cdot h \cdot 4f_1 + 2 \cdot h \cdot f_2) = \frac{2}{3} \cdot h^2 \cdot (0 \cdot f_0 + 1 \cdot 4f_1 + 2 \cdot f_2)$$

$$S_i(KVL) = \frac{2}{3} \cdot h^2 \cdot (0 \cdot f_0 + 1 \cdot 4f_1 + 2 \cdot 2f_2 + 3 \cdot 4f_3 + 4 \cdot f_4) \text{ итд.}$$

- за непарне водне линије:

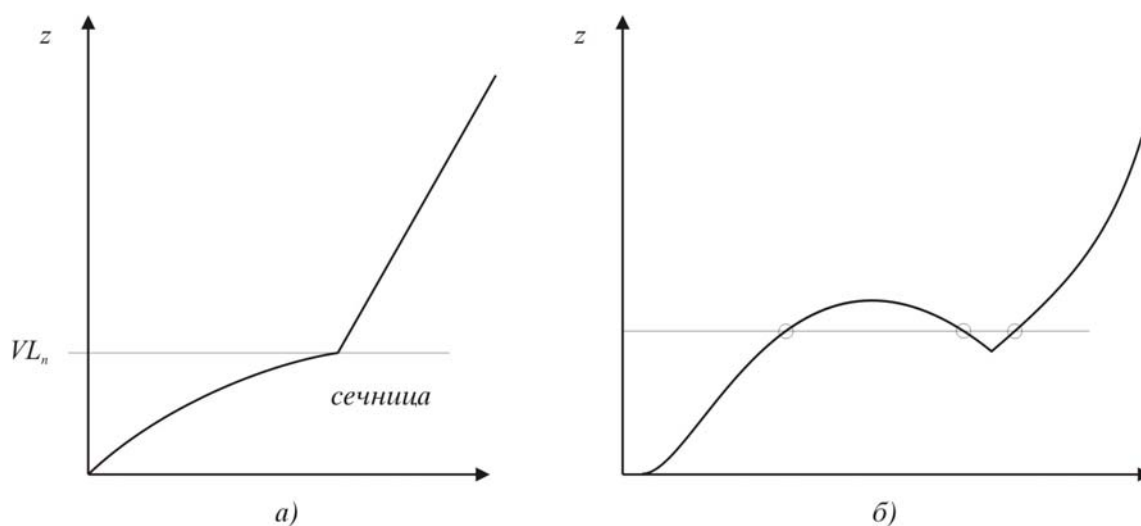
$$A_i(VL_1) = \frac{2}{3} \cdot \frac{h}{2} \cdot (f_0 + 4f_{1/2} + f_1) = \frac{2}{3} \cdot h \cdot \left(\frac{f_0}{2} + 2f_{1/2} + \frac{f_1}{2}\right)$$

$$A_i(VL_3) = A_i(VL_1) + \frac{2}{3} \cdot h \cdot (f_1 + 4f_2 + f_3) \text{ или } A_i(VL_3) = \frac{2}{3} \cdot h \cdot \left(\frac{f_0}{2} + 2f_{1/2} + \frac{3}{2}f_1 + 4f_2 + f_3\right)$$

$$S_i(VL_1) = \frac{2}{3} \cdot \frac{h}{2} \cdot (s_0 + 4s_{1/2} + s_1) = \dots = \frac{2}{3} \cdot h^2 \cdot \left(0 \cdot \frac{f_0}{2} + \frac{1}{2} \cdot 2f_{1/2} + 1 \cdot \frac{f_1}{2}\right)$$

$$S_i(VL_3) = \frac{2}{3} \cdot h \cdot \left(\frac{s_0}{2} + 2s_{1/2} + \frac{3}{2}s_1 + 4s_2 + s_3\right) = \dots = \frac{2}{3} \cdot h^2 \cdot \left(0 \cdot \frac{f_0}{2} + \frac{1}{2} \cdot 2f_{1/2} + 1 \cdot \frac{3}{2}f_1 + 2 \cdot 4f_2 + 3 \cdot f_3\right)$$

Величина  $h$  представља вертикално растојање између водних линија. Прорачун се изводи помоћу табела које се налазе у прилогу на крају упутства.

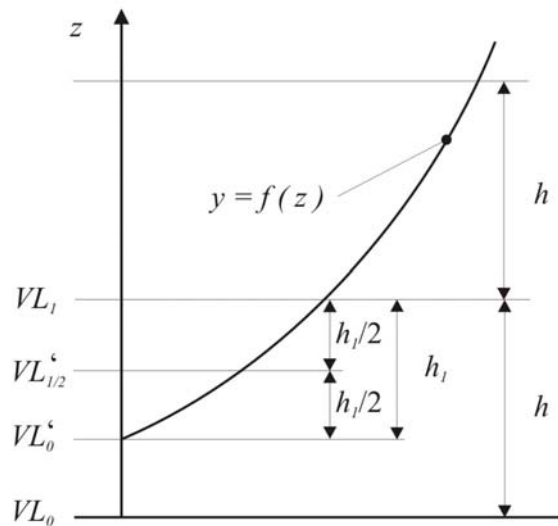


слика 2.6: а) типично ребро глисера б) крмено ребро двопропелерног речног брода

При прорачуну геометријских карактеристика ребара могу се јавити и извесне потешкоће. Нпр. ребра могу бити неуобичајеног облика, тј. садржати неки дисконтинуитет у геометрији, као што је случај са ребрима глисера или са крменим

ребрима двопропелерних бродова. На месту дисконтинуитета обавезно треба увести додатну водну линију, као што је приказано на *слици 2.5 а*).

Такође, ребро не мора почети на теоријској водној линији. Површину и статички момент површине ребра приказаног на *слици 2.7* до газа одређеног водном линијом  $VL_1$  можемо израчунати на следећи начин, користећи помоћне водне линије  $VL'_0$  и  $VL'_{1/2}$ :

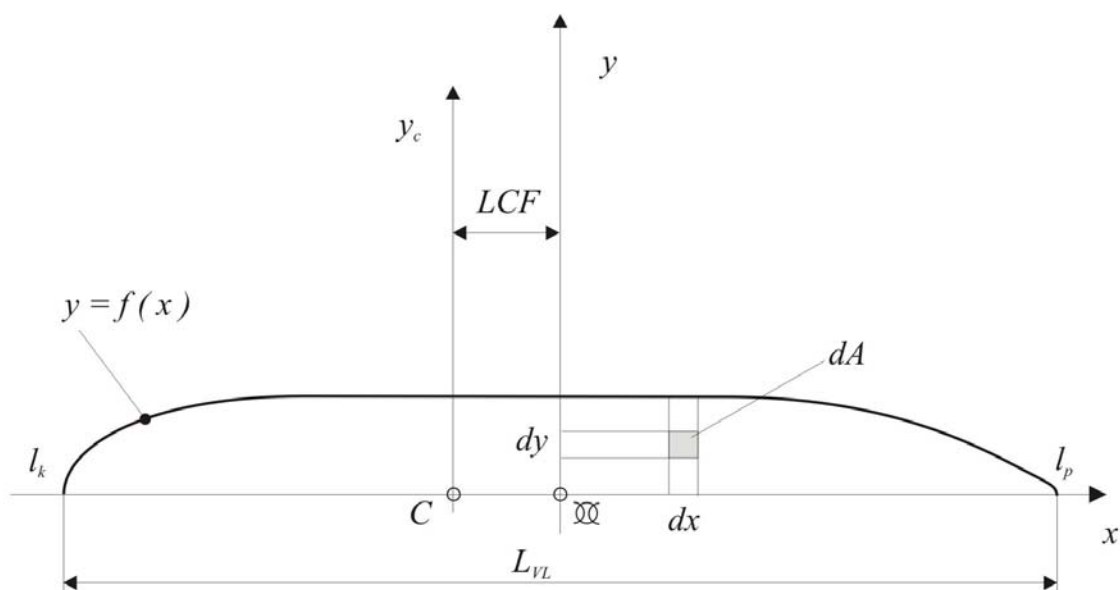


слика 2.7: Ребро које не почиње на теоријској водној линији

$$A_i(VL_1) = \frac{2}{3} \cdot h_1 \cdot \left( \frac{f_0'}{2} + 2f_{1/2}' + \frac{f_1'}{2} \right) = \frac{2}{3} \cdot h \cdot \left( \frac{\kappa_1}{2} \cdot f_0' + 2\kappa_1 \cdot f_{1/2}' + \frac{\kappa_1}{2} \cdot f_1' \right), \quad \kappa_1 = \frac{h_1}{h}$$

$$S_i(VL_1) = \frac{2}{3} \cdot h_1 \cdot \left[ (h - h_1) \cdot \frac{f_0'}{2} + (h - \frac{h_1}{2}) \cdot 2f_{1/2}' + h \cdot \frac{f_1'}{2} \right] = \frac{2}{3} \cdot h^2 \cdot \kappa_1 \cdot \left[ (1 - \kappa_1) \cdot \frac{1}{2} f_0' + (1 - \frac{\kappa_1}{2}) \cdot 2f_{1/2}' + \frac{1}{2} f_1' \right]$$

### 2.2.2 Криве водних линија



слика 2.8: Израчунавање геометријских карактеристика водне линије

За сваку водну линију прорачунавају се следеће геометријске карактеристике:

- површина водне линије

$$A_{VL} = \int_A dA = 2 \int_{l_k}^{l_p} \int_0^{f(x)} dy dx = 2 \int_{L_{VL}} f(x) dx$$

- статички момент површине водне линије за главно ребро

$$S_y = \int_A x dA = 2 \int_{l_k}^{l_p} \int_0^{f(x)} x dy dx = 2 \int_{L_{VL}} x \cdot f(x) dx$$

- тежиште водне линије

$C(x_C, y_C)$ ,  $y_C = 0$  јер је водна линија симетрична у односу на централну линију  $h$ ,

$$x_C = LCF = \frac{\int x dA}{A_{VL}} = \frac{S_y}{A_{VL}}$$

- попречни момент инерције водне линије

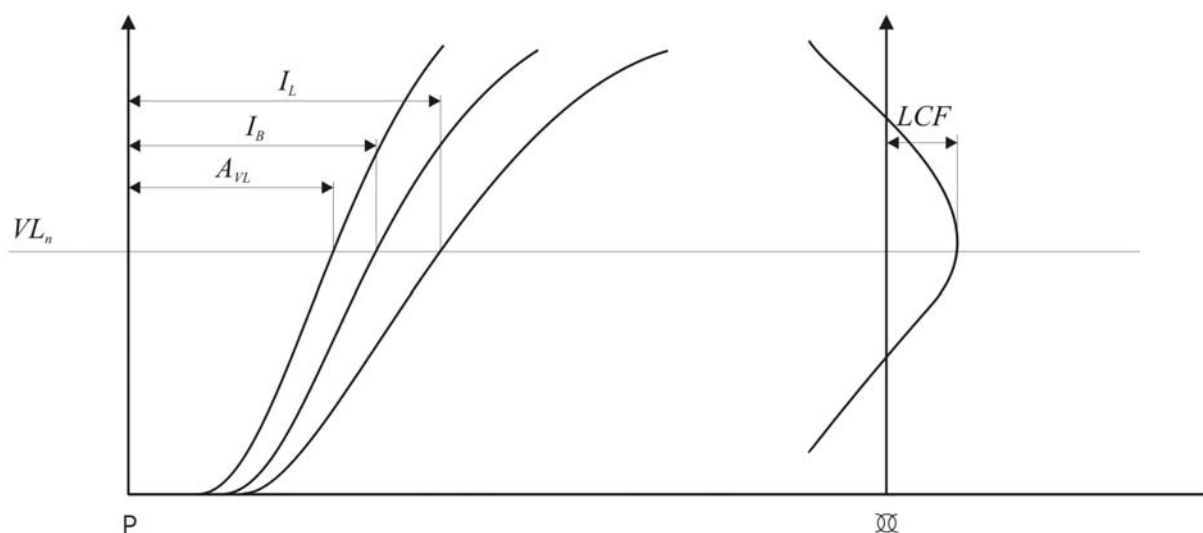
$$I_x = I_B = \int_A y^2 dA = 2 \int_{l_k}^{l_p} \int_0^{f(x)} y^2 dy dx = \frac{2}{3} \int_{L_{VL}} f^3(x) dx$$

- уздужни момент инерције водне линије

$$I_y = \int_A x^2 dA = 2 \int_{l_k}^{l_p} \int_0^{f(x)} x^2 dy dx = 2 \int_{L_{VL}} x^2 f(x) dx$$

- сопствени уздужни момент инерције водне линије

$$I_{y_C} = I_L = I_y - x_C^2 \cdot A_{VL}, \text{ применом Штајнерове теореме.}$$



слика 2.9: Карактеристике водне линије



Из овако одређених карактеристика водних линија проистичу нове четири криве које се уцртавају у дијаграмски лист:

- крива површине водних линија  $A_{VL}(T)$
- крива попречних момената инерције водних линија  $I_B(T)$
- крива сопствених уздужних момената инерције водних линија  $I_L(T)$
- крива положаја тежишта водне линије по дужини  $LCF(T)$

Нумерички, геометријске карактеристике водних линија прорачунавају се на следећи начин:

$$A_{VL} = \frac{2}{3} \cdot d \cdot \left( \frac{1}{2} f_0 + 2f_{\frac{1}{2}} + \frac{3}{2} f_1 + 4f_2 + 2f_3 + \dots + \frac{3}{2} f_9 + 2f_{9\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} f_{10} \right)$$

$$S_y = \frac{2}{3} \cdot d \cdot \left[ (-5d) \cdot \frac{1}{2} f_0 + (-4.5d) \cdot 2f_{\frac{1}{2}} + (-4d) \cdot \frac{3}{2} f_1 + \dots + 4d \cdot \frac{3}{2} f_9 + 4.5d \cdot 2f_{9\frac{1}{2}} + 5d \cdot \frac{1}{2} f_{10} \right] =$$

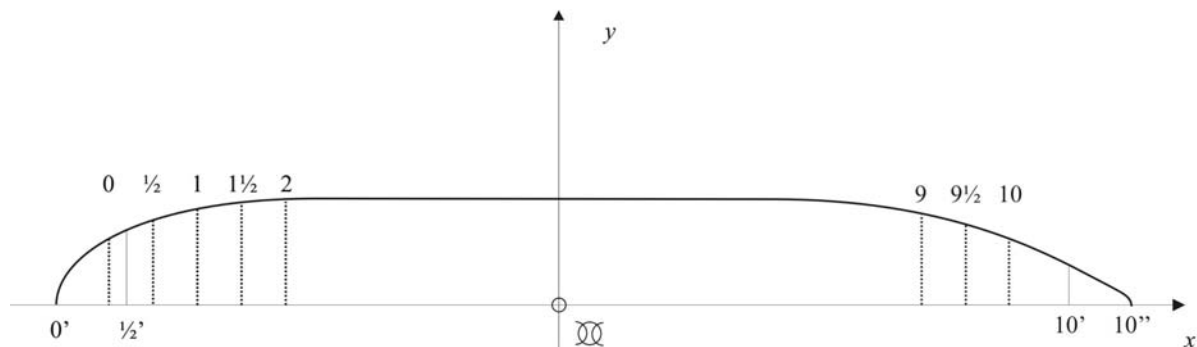
$$= \frac{2}{3} \cdot d^2 \cdot \left[ (-5) \cdot \frac{1}{2} f_0 + (-4.5) \cdot 2f_{\frac{1}{2}} + (-4) \cdot \frac{3}{2} f_1 + \dots + 4 \cdot \frac{3}{2} f_9 + 4.5 \cdot 2f_{9\frac{1}{2}} + 5 \cdot \frac{1}{2} f_{10} \right]$$

$$I_x = \frac{2}{9} \cdot d \cdot \left( \frac{1}{2} f_0^3 + 2f_{\frac{1}{2}}^3 + \frac{3}{2} f_1^3 + 4f_2^3 + 2f_3^3 + \dots + \frac{3}{2} f_9^3 + 2f_{9\frac{1}{2}}^3 + \frac{1}{2} f_{10}^3 \right)$$

$$I_y = \frac{2}{3} \cdot d \cdot \left[ (-5d)^2 \cdot \frac{1}{2} f_0 + (-4.5d)^2 \cdot 2f_{\frac{1}{2}} + (-4d)^2 \cdot \frac{3}{2} f_1 + \dots + (4.5d)^2 \cdot 2f_{9\frac{1}{2}} + (5d)^2 \cdot \frac{1}{2} f_{10} \right] =$$

$$= \frac{2}{3} \cdot d^2 \cdot \left[ (-5)^2 \cdot \frac{1}{2} f_0 + (-4.5)^2 \cdot 2f_{\frac{1}{2}} + (-4)^2 \cdot \frac{3}{2} f_1 + \dots + 4.5^2 \cdot 2f_{9\frac{1}{2}} + 5^2 \cdot \frac{1}{2} f_{10} \right]$$

За прорачун се користе одговарајуће табеле. Невоља је, међутим, у томе што већина водних линија не почиње нити се завршава на местима теоријских ребара (слика 2.9.).



слика 2.10: Типична водна линија

Двоструку вредност осенченог дела површине водне линије на крми (слика 2.10 а) рачунамо на следећи начин:

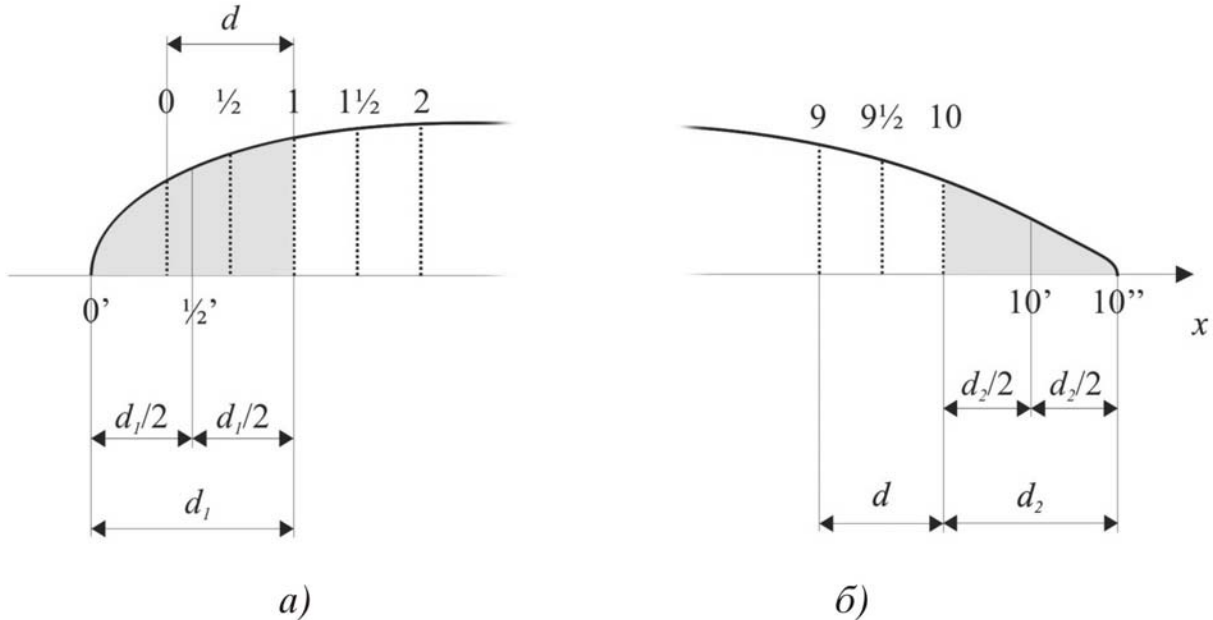
$$A_{VL}(0' \div 1) = \frac{2}{3} \cdot d_1 \cdot \left( \frac{1}{2} f_{0'} + 2f_{\frac{1}{2}'} + \frac{1}{2} f_1 \right)$$

$$A_{VL}(0' \div 1) = \frac{2}{3} \cdot d \cdot \left( \frac{1}{2} \kappa_1 \cdot f_{0'} + 2\kappa_1 \cdot f_{\frac{1}{2}'} + \frac{1}{2} \kappa_1 \cdot f_1 \right), \text{ при чему је } \kappa_1 = \frac{d_1}{d}$$

На прамцу, означени део површине водне линије који се налази изван подручја ограниченог перпендикуларима (слика 2.10 б) можемо да рачунамо на следећи начин:

$$A_{VL}(10 \div 10'') = \frac{2}{3} \cdot d_2 \cdot \left( \frac{1}{2} f_{10} + 2f_{10'} + \frac{1}{2} f_{10''} \right)$$

$$A_{VL}(10 \div 10'') = \frac{2}{3} \cdot d \cdot \left( \frac{1}{2} \kappa_2 \cdot f_{10} + 2\kappa_2 \cdot f_{10'} + \frac{1}{2} \kappa_2 \cdot f_{10''} \right), \text{ при чему је } \kappa_2 = \frac{d_2}{d}$$



слика 2.11: Нумеричка интеграција типичне водне линије

Према томе, површина ове водне линије може се израчунати на следећи начин:

$$A_{VL} = \frac{2}{3} \cdot d \cdot \left[ \frac{1}{2} \kappa_1 \cdot f_0 + 2\kappa_1 \cdot f_{1/2} + \frac{1}{2} (\kappa_1 + 1) \cdot f_1 + 2f_{1 1/2} + \frac{3}{2} f_2 + 4f_3 + 2f_4 + 4f_5 + 2f_6 + 4f_7 + \frac{3}{2} f_8 + 2f_{8 1/2} + f_9 + 2f_{9 1/2} + \frac{1}{2} (1 + \kappa_2) \cdot f_{10} + 2\kappa_2 \cdot f_{10'} + \frac{1}{2} \kappa_2 \cdot f_{10''} \right]$$

### 2.2.3 Криве истиснућа

Основна је крива истиснућа, која прати промену истиснућа са променом газа:

$$V = \int_V dV = 2 \int_{l_k}^{l_p} \int_0^T \int_0^T f(x, z) dx dy dz = 2 \int_{l_k}^{l_p} \int_0^T f(x, z) dx dz$$

Истиснуће је могуће одредити на два начина, "преко ребара" и "преко водних линија" и у изради дијаграмског листа користе се оба. Теоријски, резултат би требало да буде исти, јер је разлика између ова два поступка само у редоследу потеза. Практично, међутим, постоји мала разлика између одређених истиснућа. Касније ће бити речи о пореклу ове грешке и њеној дозвољеној вредности.

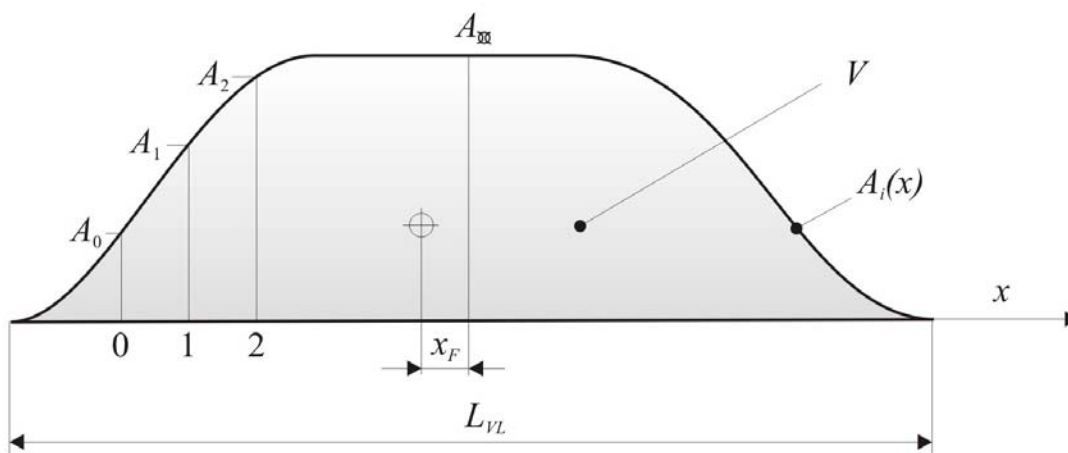
- одређивање истиснућа "преко ребара"

$$V = \int_{L_{VL}} \left[ 2 \int_0^T f(z) dz \right] dx = \int_{L_{VL}} A_i(x) dx$$

- одређивање истиснућа "преко водних линија"

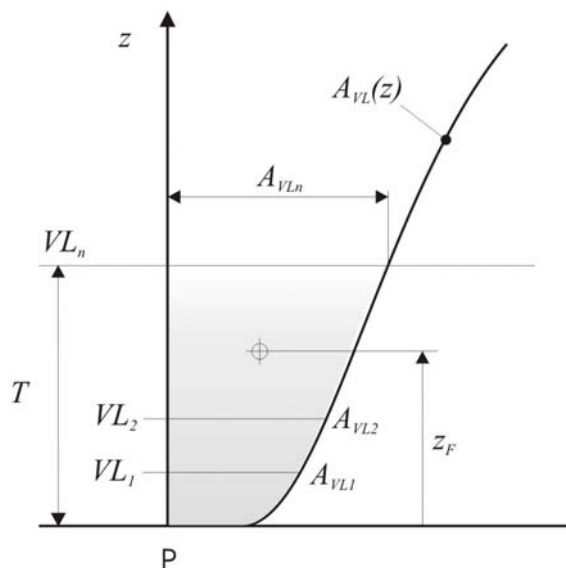
$$V = \int_0^T \left[ 2 \int_{L_{VL}} f(x) dx \right] dz = \int_0^T A_{VL}(z) dz$$

Може се рећи да се истиснуће "преко ребара" одређује интеграцијом **ареале ребара** – криве површине ребара до одређене водне линије. Површина испод ареале ребара представља истиснуће брода.



слика 2.12: Ареала ребара

Аналогно, истиснуће "преко водних линија" одређује се интеграцијом **ареале водних линија**.



слика 2.13: Ареала водних линија

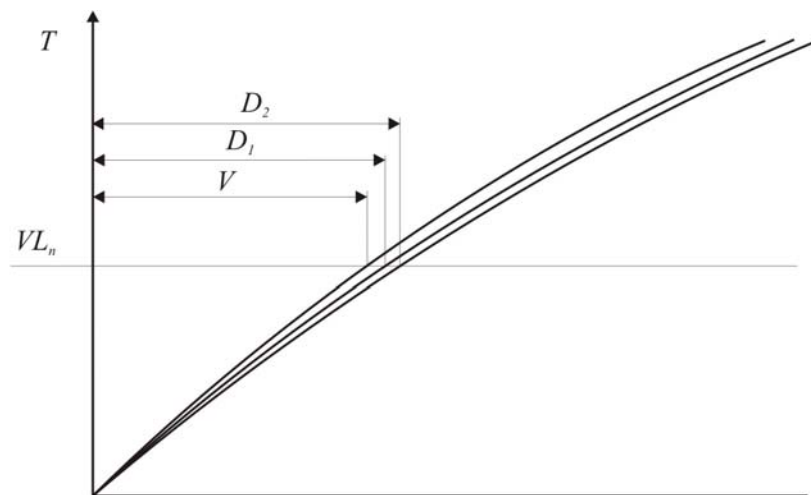
Осим криве истиснућа  $V(T)$  на дијаграмском листу се приказују и криве депласмана брода  $D$  у слаткој и морској води. Депласман се одређује на следећи начин:

$$D = \rho \cdot c \cdot V$$

$$\rho = 1 \frac{t}{m^3} \text{ – густина слатке воде}$$

$$\rho = 1.025 \frac{t}{m^3} \text{ – густина морске воде}$$

Ово су стандардне вредности густина које могу да варирају у зависности од чистоће река, односно од географског положаја мора, годишњег доба, итд. При израчунавању депласмана треба узети у обзир да оплата брода има извесну дебљину, што повећава истиснуће "ољуштеног" брода, тј. брода без оплате, одређено узимањем димензија са плана бродских линија. Корекција се узима у обзир фактором изданака  $c$  који за челичне, заварене бродове износи  $c = 1.006$ .



слика 2.14: Криве истиснућа

Осим истиснућа, треба одредити и положај његовог тежишта  $F(x_F, y_F, z_F)$ .

$$x_F = \frac{\int x dV}{V} = \frac{S_{yz}}{V} \text{ – положај тежишта истиснућа по дужини брода;}$$

$y_F = 0$  – положај тежишта истиснућа по ширини; брод је симетричан у односу на  $h$ ;

$$z_F = \frac{\int z dV}{V} = \frac{S_{xy}}{V} \text{ – положај тежишта истиснућа по висини брода.}$$

Као и истиснуће, и статичке моменте запремине, односно положаје тежишта истиснућа могуће је одредити на два начина: "преко ребара" и "преко водних линија".

- одређивање положаја тежишта истиснућа "преко ребара"

$$S_{xy} = \int_V z dV = 2 \int_{l_k}^{l_p} \int_0^T \int_0^{f(x,z)} z dx dy dz = \int_{L_{VL}} \left[ 2 \int_0^T z \cdot f(z) dz \right] dx = \int_{L_{VL}} S_i(x) dx \Rightarrow z_F = \frac{\int_{L_{VL}} S_i(x) dx}{\int_{L_{VL}} A_i(x) dx}$$

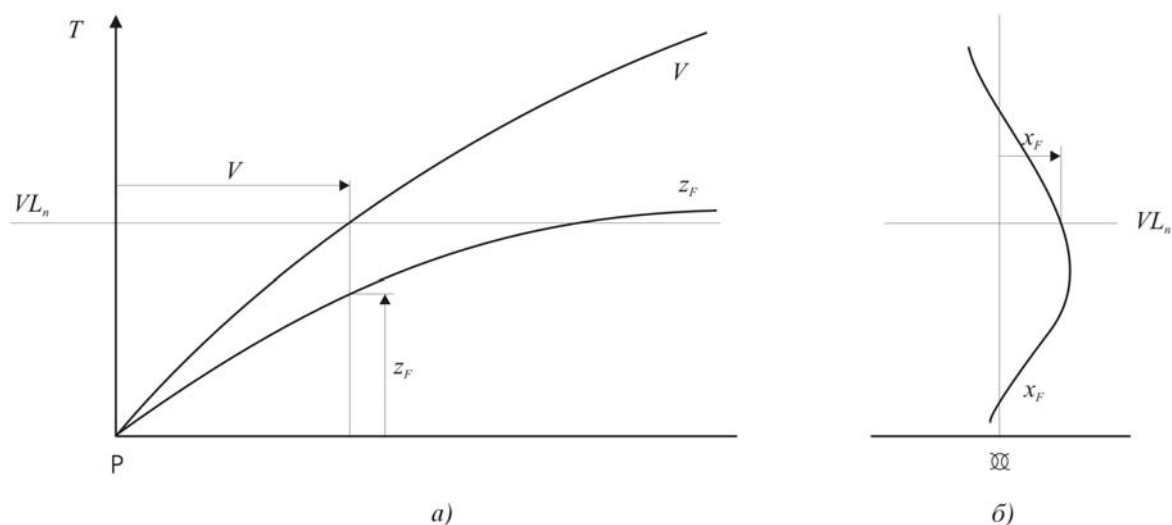
$$S_{yz} = \int_V x dV = 2 \int_{l_k}^{l_p} \int_0^T \int_0^{f(x,z)} x dx dy dz = \int_{L_{VL}} x \cdot \left[ 2 \int_0^T f(z) dz \right] dx = \int_{L_{VL}} x \cdot A_i(x) dx \Rightarrow x_F = \frac{\int_{L_{VL}} x \cdot A_i(x) dx}{\int_{L_{VL}} A_i(x) dx}$$

- одређивање положаја тежишта истиснућа "преко водних линија"

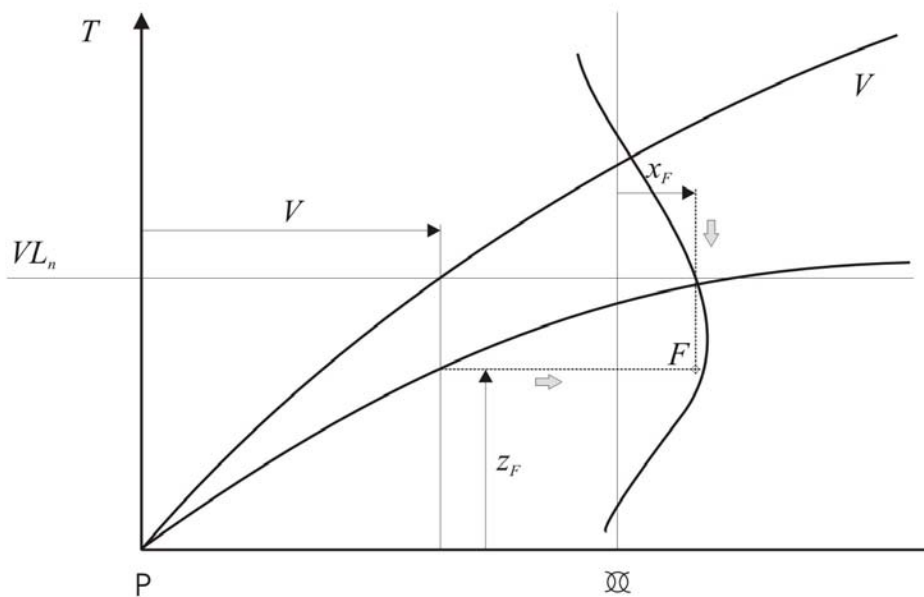
$$S_{xy} = \int_V z dV = 2 \int_{l_k}^{l_p} \int_0^T \int_0^{f(x,z)} z dx dy dz = \int_0^T z \left[ 2 \int_{L_{VL}} f(x) dx \right] dz = \int_0^T z \cdot A_{VL}(z) dz \Rightarrow z_F = \frac{\int_0^T z \cdot A_{VL}(z) dz}{\int_0^T A_{VL}(z) dz}$$

$$S_{yz} = \int_V x dV = 2 \int_{l_k}^{l_p} \int_0^T \int_0^{f(x,z)} x dx dy dz = \int_0^T \left[ 2 \int_{L_{VL}} x \cdot f(x) dx \right] dz = \int_0^T S_y dz = \int_0^T LCF \cdot A_{VL}(z) dz \Rightarrow x_F = \frac{\int_0^T LCF \cdot A_{VL}(z) dz}{\int_0^T A_{VL}(z) dz}$$

Цртају се три криве: крива положаја тежишта истиснућа по висини брода  $z_F$  ( $\overline{FK}, VCB$ ), крива положаја тежишта истиснућа по дужини брода  $x_F$  ( $F_G, LCB$ ) и крива стварног положаја тежишта истиснућа  $F$ .



слика 2.15: Конструкција кривих положаја тежишта истиснућа: а) по висини, б) по дужини



слика 2.16: Конструкција криве стварног положаја тежишта истиснућа (F-криве)

Криве истиснућа се прорачунавају Симпсоновим I правилем нумеричке интеграције:

- "преко ребара"

$$V = \frac{d}{3} \cdot \left( \frac{1}{2} A_0 + 2A_{1/2} + \frac{3}{2} A_1 + 4A_2 + 2A_3 + \dots + \frac{3}{2} A_9 + 2A_{9/2} + \frac{1}{2} A_{10} \right)$$

$$S_{yz} = \frac{d^2}{3} \cdot \left[ (-5) \cdot \frac{1}{2} A_0 + (-4.5) \cdot 2A_{1/2} + (-4) \cdot \frac{3}{2} A_1 + \dots + 4 \cdot \frac{3}{2} A_9 + 4.5 \cdot 2A_{9/2} + 5 \cdot \frac{1}{2} A_{10} \right]$$

$$S_{xy} = \frac{d}{3} \cdot \left( \frac{1}{2} S_0 + 2S_{1/2} + \frac{3}{2} S_1 + \dots + \frac{3}{2} S_9 + 2S_{9/2} + \frac{1}{2} S_{10} \right)$$

Треба приметити да је приказан прорачун истиснућа и статичких момената запремине брода чија ареала ребара почиње на крменом Г а завршава се на прамчаном перпендикулару ј. То обично није тако, па треба применити поступак који је описан на примеру водне линије чији су завршеци ван места теоријских ребара. Тиме узимамо у обзир и оне делове брода који се налазе ван перпендикулара а чине део истиснућа.

- "преко водних линија"

$$V = \frac{h}{3} \cdot \left( \frac{1}{2} A_{VL0} + 2A_{VL1/2} + \frac{3}{2} A_{VL1} + 4A_{VL2} + \dots \right)$$

$$S_{yz} = \frac{h}{3} \cdot \left( \frac{1}{2} S_{y_0} + 2S_{y_{1/2}} + \frac{3}{2} S_{y_1} + 4S_{y_2} + \dots \right)$$

$$\begin{aligned} S_{xy} &= \frac{h}{3} \cdot \left( 0 \cdot h \cdot \frac{1}{2} A_{VL0} + \frac{h}{2} \cdot 2A_{VL1/2} + 1 \cdot h \cdot \frac{3}{2} A_{VL1} + 2 \cdot h \cdot 4A_{VL2} + \dots \right) = \\ &= \frac{h^2}{3} \cdot \left( 0 \cdot \frac{1}{2} A_{VL0} + \frac{1}{2} \cdot 2A_{VL1/2} + 1 \cdot \frac{3}{2} A_{VL1} + 2 \cdot 4A_{VL2} + \dots \right) \end{aligned}$$

## 2.2.4 Остале криве

Дијаграмски лист садржи и информације о још неким карактеристикама брода.

- Коefицијенти бродског облика

$$\delta = C_B = \frac{V}{L \cdot B \cdot T} \text{ – коefицијент пуноће истиснућа (блок коefицијент);}$$

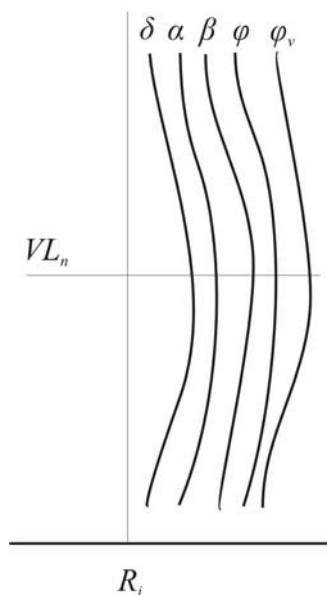
$$\alpha = C_{VL} = \frac{A_{VL}}{L \cdot B} \text{ – коefицијент пуноће водне линије;}$$

$$\beta_g = C_g = \frac{A_g}{B \cdot T} \text{ – коefицијент пуноће главног ребра;}$$

$$\varphi = C_p = \frac{V}{A_g \cdot T} \text{ – призматични коefицијент (коefицијент финоће облика);}$$

$$\varphi_v = C_{pv} = \frac{V}{A_{VLV} \cdot T} \text{ – вертикални призматични коefицијент.}$$

Криве коefицијената бродског облика уцртавају се у одговарајућој размери, у односу на неко од ребара, тамо где има довољно слободног простора.

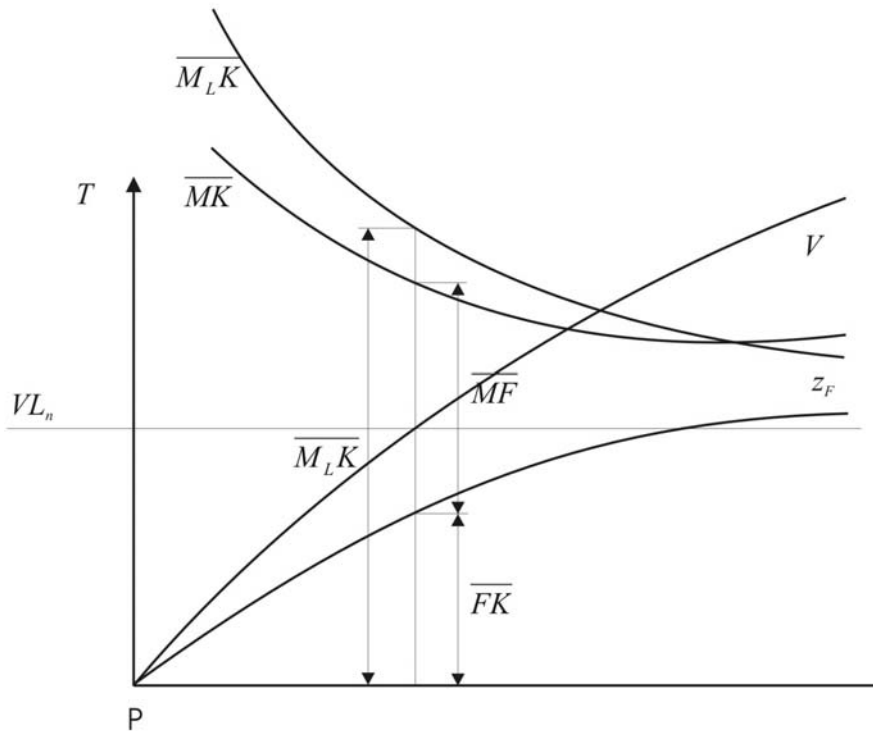


слика 2.17: Криве коefицијената бродске форме

- Метацентарски радијуси

$$\overline{MF} = \frac{I_B}{V} \text{ – попречни метацентарски радијус;}$$

$$\overline{M_L F} = \frac{I_L}{V} \text{ – уздужни метацентарски радијус.}$$



слика 2.18: Криве метацентарских радијуса

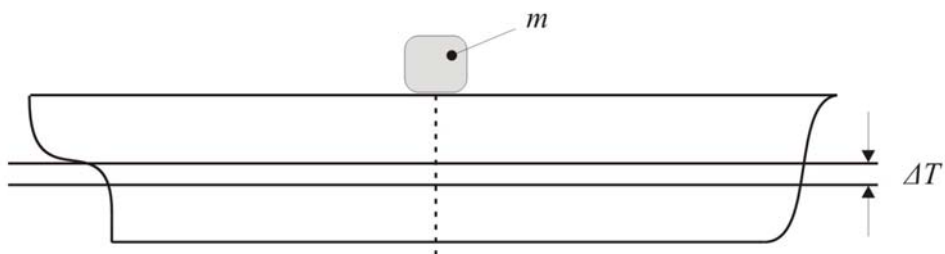
Вредности  $\overline{MF}$  и  $\overline{FK}$  се уцртавају у истој размери, а то је размера дијаграмског листа по висини.

- Јединична носивост

Типично "капетанска" крива. Јединична носивост  $q$  представља масу терета која при централном утовару/истовару, повећава/смањује газ брода за 1 cm.

$$q = 0.01 \cdot \rho \cdot c \cdot A_{VL}$$

У дијаграмски лист се уноси јединична носивост брода у слаткој ( $q_1$ ) и морској води ( $q_2$ ).  $c$  је од раније познати фактор изданака.



слика 2.19: Центрични утовар



- Јединични трим и јединични момент трима

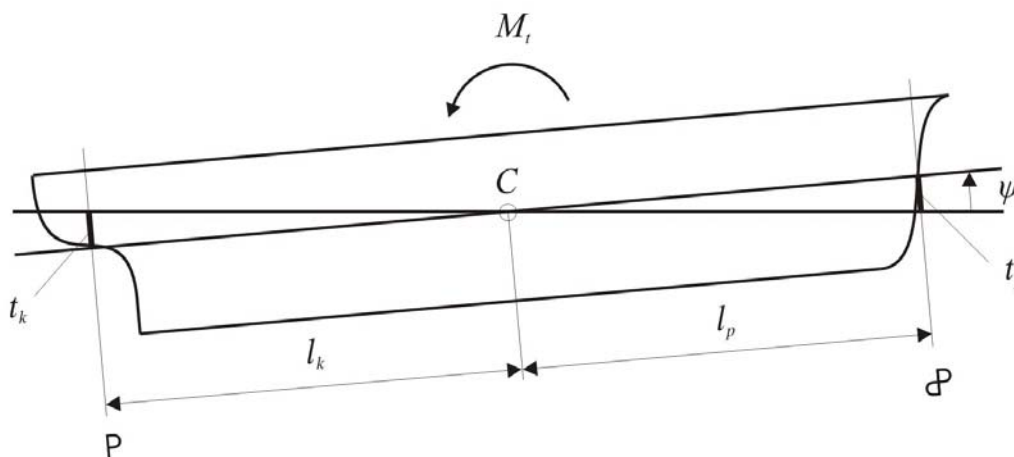
$\psi$  – угао трима

$t = \frac{L}{\rho \cdot g \cdot I_L}$  – укупни јединични трим

$t = t_k + t_p$

$t_k = \frac{l_k}{\rho \cdot g \cdot I_L}$  – јединични крмени трим

$t_p = \frac{l_p}{\rho \cdot g \cdot I_L}$  – јединични прамчани трим



слика 2.20: Угао трима, прамчани и крмени трим

Јединичним моментом трима називамо момент који ствара трим од 1 m. Обрнуто, јединичним тримом сматрамо трим који изазива момент од 1 MNm.

### 2.3 Провера дијаграмског листа

Истиснуће и положај његовог тежишта рачунају се на два начина (преко ребара и преко водних линија) и резултати добијени применом ова два поступка требало би да буду исти. Међутим, резултати се разликују па се постављају два питања: због чега се јавља ова разлика и колика је разлика дозвољена?

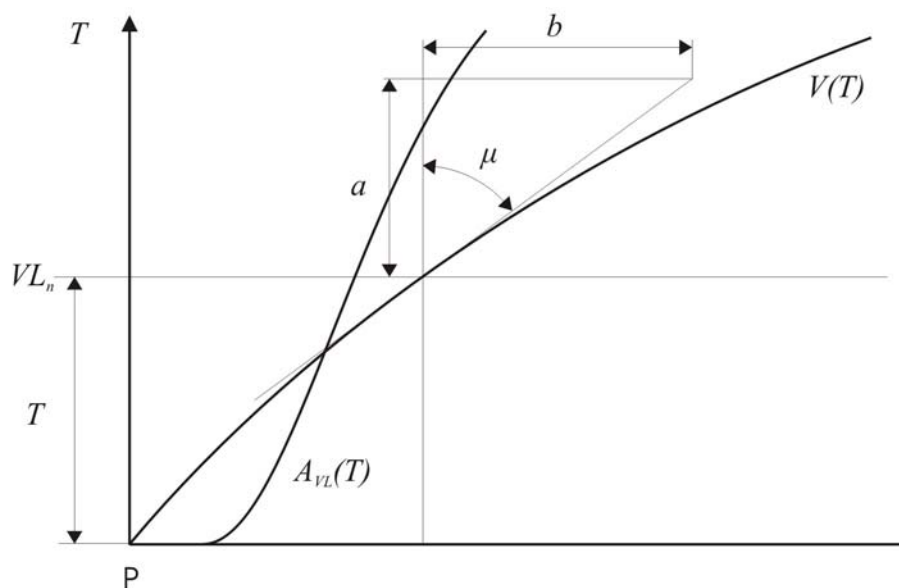
Разлика у излазним величинама можда бити последица **грешака у рачуну** – које је могуће елиминисати – али и **грешака у читању** и **грешака у методу**, које су неизбежне. Грешке у методу се могу смањити коришћењем већег броја ребара и водних линија у прорачуну (тачнијом апроксимацијом елемената бродске форме). Тако, међутим, прорачун постаје сложенији и обимнији.

Величина дозвољене грешке зависи од "озбиљности" прорачуна (предпројекат, уговорни пројекат, школски задатак). У овом пројектном задатку, провераваће се истиснуће и положај тежишта истиснућа по висини, при чему су дозвољене следеће разлике:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{V_R - V_{VL}}{V_R} < (0.001 \div 0.005)$$

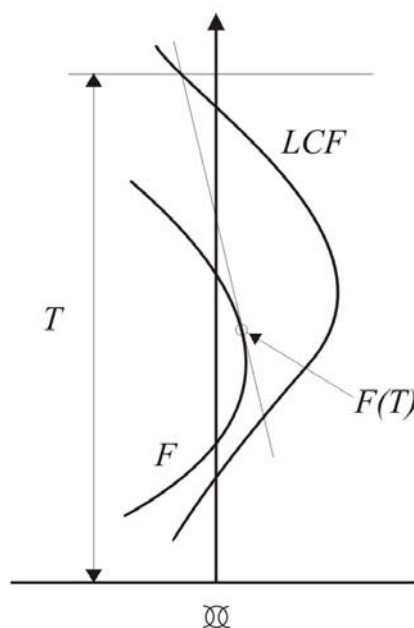
$$\Delta z_F = z_{F(\text{преко ребара})} - z_{F(\text{преко водних линија})} < 1 \text{ cm}$$

Осим рачунске, могућа је и (груба) графичка провера дијаграмског листа. Наиме, између појединих кривих важе следеће релације:



слика 2.21: Провера дијаграмског листа: однос криве истиснућа и ареале водних линија

$$\frac{dV(T)}{dT} = \operatorname{tg} \mu = A_{VL}(T) \quad \operatorname{tg} \mu = \frac{b}{a}, \text{ при чему треба пазити на размеру.}$$



слика 2.22: Провера дијаграмског листа преко кривих тежишта водне линије и стварног положаја тежишта истиснућа

Слика 2.22 илуструје графичку проверу дијаграмског листа применом теореме по којој тангенте на криву стварних положаја тежишта истиснућа морају пролазити кроз тежишта одговарајућих водних линија.