

# 1. PODACI O SLIČNIM PODMORNICAMA

Podaci o diverzantskim podmornicama „Cosmos“ i „MSV-75“ su prema „Jane's fighting ships“ (1979./80.)

U projektu se najviše koriste podacima za podmornicu „Midget Type 2“ dobivenim u Brodarskom institutu, Zagreb. Taj projekt je sličan zadanom, a podaci za sve 3 podmornice prikazani su u tablici:

Naziv	Vrijeme izgrad. [t]	Vrijeme istisnina [t]	Dimenzije [m]				Brzina [čv.]	Duljina plovidbe []	Naoružanje	Dub. ron. [m]	Posada	Auto-nomija [dana]
			LoA	Lčt	B	T						
„Cosmos“ (Italija)	1974.	↓ 70	23		2		↑ 6 ↓ 8,5	1200 NM pri 6 čv.	2 ronilice za prijev. diverz.	100	13	
„MSV-75“ (Njemačka)	1976.	↓ 75	25		2,5		↓ 8	2900 NM pri 4 čv.		175		14
Midget Type 2	—	↑ 94 ↓ 106	22,3	16,4	2,7	2,3	↓ 7	180 NM pri 4 čv.	4 ronilice za prijev. diverz.	120	10	7

TABLICA 1 - podaci o sličnim podmornicama

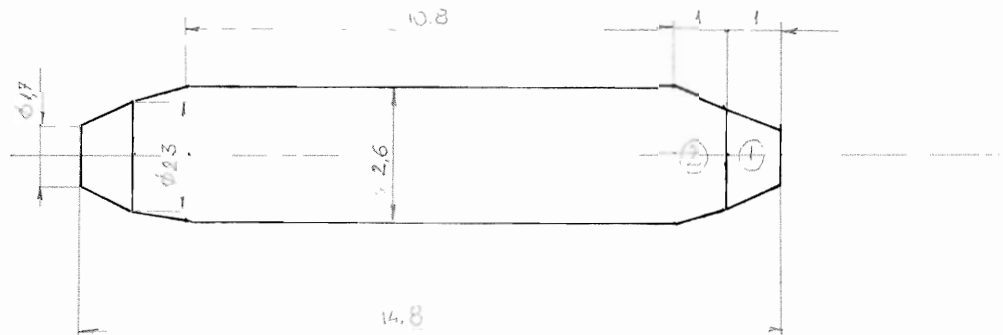
## 2. ODREĐIVANJE GLAVNIH DIMENZIJA

Preliminarno sam nacrtao opći plan podmornice sa kojeg očitavam glavne dimenzije.

### 2.1. ČVRSTI TRUP

Čvrsti trup je cilindričan i simetrično na oba kraja završava krnjim stošcima. Promjer cilindričnog dijela uzimam početno  $B = 2,6$  [m]. Manja širina bi bila bolja zbog otpora, ali je nužna ovalika (2,6 m) zbog funkcionalnosti (smještaj posade i kretanje, smještaj baterija i opreme ...)

Sl. 2.1. ~ skica čvrstog trupa sa dimenzijama u [m]



### 2.2. PRORAČUN VOLUMENA I ISTISNINA

Podmornica ima, za razliku od površinskih brodova, 2 istisnine:  $\uparrow D$  i  $\downarrow D$

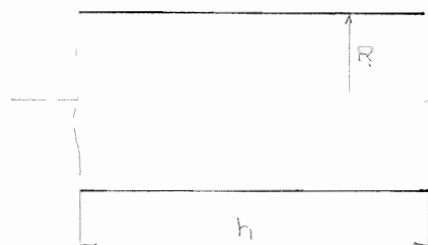
$\uparrow D$  ~ površinska istisnina = istisnina čvrstog trupa + privjesci

$\downarrow D$  ~ podvodna -II- =  $\uparrow D$  + glavni tankovi ronjenja

$D_{rez}$  ~ rezervna -II- =  $\downarrow D - \uparrow D = 9 \div 12\% \cdot \uparrow D$

#### 2.2.1. Volumen i oplošje čvrstog trupa

~ središnji cilindrični dio čvrstog trupa



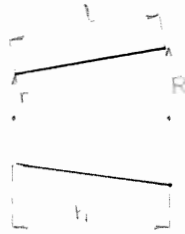
- površina plašta čvrstog trupa ~ cilindrični dio

$$M_1 = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot h = 2 \cdot \pi \cdot 1,3 \cdot 10,8 = 88,22 \text{ [m}^2\text{]}$$

~ volumen cilindričnog dijela

$$V_1 = \pi R^2 \cdot h = \pi \cdot 1,3^2 \cdot 10,8 = 57,34 \text{ [m}^3\text{]}$$

~ konični dio čvrstog trupa (oznaka 2 na skici str. 2)



- površina plašta

$$M_2' = \pi \cdot L \cdot (R + r) = \pi \cdot 1,011 \cdot (1,15 + 1,3) = 7,7 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$R = 2,6/2 = 1,3 \text{ [m]}$$

$$r = 2,3/2 = 1,15 \text{ [m]}$$

$$L = 1,011 \text{ [m]}$$

- volumen

$$V_2' = \frac{1}{3} \pi \cdot h \cdot (R^2 + r^2 + R \cdot r) = 4,72 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$h = 1,0 \text{ [m]}$$

~ na pramcu i na krmi se nalaze po jedan ovakav konični dio pa su njihove zajedničke vrijednosti:

$$\sim \text{površina} \quad M_2 = 2 M_2' = 15,54 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\sim \text{volumen} \quad V_2 = 2 V_2' = 9,44 \text{ [m}^3\text{]}$$

~ konični dio čvrstog trupa (oznaka 1 na skici str. 2)

- površina plašta

$$M_3' = \pi \cdot L \cdot (R + r) = \pi \cdot 1,04 \cdot (1,15 + 0,85) = 6,53 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$R = 1,15 \text{ [m]}$$

$$r = 1,7/2 = 0,85 \text{ [m]}$$

$$L = 1,04 \text{ [m]}$$

~ volum.  $V_3'$

$$V_3' = \frac{1}{3} \pi \cdot h \cdot (R^2 + r^2 + R \cdot r) = 3,165 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$h = 1,0 \text{ [m]}$$

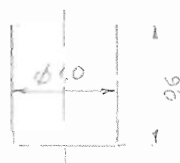
~ ukupne vrijednosti za dva ista dijela (na pramcu i krmi po jedan)

~ površina i volumen

$$M_3 = 2 \cdot M_3' = 13,06 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$V_3 = 2 \cdot V_3' = 6,33 \text{ [m}^3\text{]}$$

~ izlazni toranj



~oplošje toranja

$$M_4 = 2\pi R \cdot h = 2\pi \cdot 0,5 \cdot 0,6 = 1,88 \text{ [m}^2\text{]}$$

~volumen toranja

$$V_4 = R^2 \pi \cdot h = 0,5^2 \cdot \pi \cdot 0,6 = 0,47 \text{ [m}^3\text{]}$$

Zbrajanjem izračunatih veličina dobiju se vrijednosti za cijeli čvrsti trup. Vrijednosti su prikazane u tablici:

TABLICA 2 - volumeni i oplošje čvrstog trupa

~dio podmornice	oplošje $M_i$ [m <sup>2</sup> ]	volumen $V_i$ [m <sup>3</sup> ]
paralelni srednjak (cilindrični dio) $M_1, V_1$	88,22	57,34
konični djelovi na pramcu i krmu (2) $M_2, V_2$	15,54	9,44
konični djelovi na pramcu i krmu (1) $M_3, V_3$	13,06	6,33
izlazni toranj $M_4, V_4$	1,88	0,47
Ukupno $\Sigma$ :	118,1	73,58

Volumen čvrstog trupa služi za izračunavanje istisnine, a površina za izračunavanje težine.

### 2.2.2. Proračun istisnine

$\uparrow D$  ~ površinska istisnina = istisnina privjesaka + istisnina čvrstog trupa  
 $\downarrow D$  ~ podvodna istisnina =  $\uparrow D$  + glavni tankovi ronjenja

#### Površinska istisnina

$$\uparrow D = \uparrow V \cdot \rho$$

$$\uparrow V = V_{\text{čt}} + V_p$$

$$V_{\text{čt}} = 73,58 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$V_p \approx 3,5\% \cdot V_{\text{čt}} = 2,575 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\uparrow V = 76,16 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\uparrow D = 76,16 \cdot 1,026$$

$$\uparrow D = \underline{\underline{78,2 \text{ [t]}}}$$

$\uparrow V$  ~ volumen izronjene podm.

$V_{\text{čt}}$  ~ volumen čvrstog trupa

$V_p$  ~ volumen privjesaka

$\rho$  ~ gustoća mora; kreće se

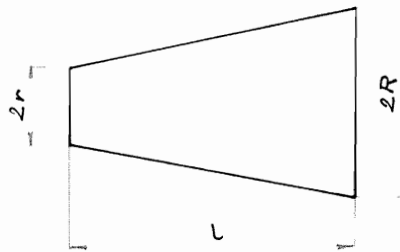
od 1,015 ÷ 1,035 za Jadran

$\rho \sim 1,026 \text{ [t/m}^3\text{]} \sim$  prosječna

vrijednost

## Volumeni glavnih tankova ronjenja

~ krmeni glavni tank



$$V' = \frac{1}{3} \pi \cdot L [R^2 + r^2 + R \cdot r] = 4,3 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$R = 1,07 \text{ [m]}$$

$$r = 0,23 \text{ [m]}$$

$$L = 2,82 \text{ [m]}$$

- volumen  $V'$  treba umanjiti za volume privjesaka koji se nalaze u tanku, a taj se procjenjuje na ~ 15%  $V'$  pa je konačno volumen krmenog glavnog tanka

$$V_k = 4,3 \cdot 0,15 \cdot 4,3 = 3,66 \text{ [m}^3\text{]}$$

~ pramčani glavni tank

- kao formu pramčanog glavnog tanka uzimam formu sa podmornice Midget 2, pa se volumen izračunava numeričkom integracijom.

- poprečni presjeci pramca su približno elipse pa im tako računam površinu

$$A = a \cdot b \cdot \pi$$

a ~ horizontalna poluos elipse

b ~ vertikalna -||- -||-

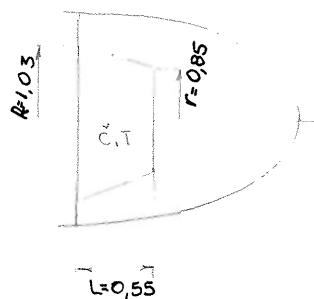
- rezultate prikazujem u tablici

TABLICA 3 ~ volumen pramčanog tanka

	a	b	A	SK	A · SK
0	0	0	0	0,5	0
0,55	0,73	0,73	1,663	2	3,325
1,10	0,985	1,025	3,172	1	3,172
1,65	1,025	1,24	4,383	2	8,675
2,20	1,21	1,38	5,246	0,5	5,246
					$\Sigma = 20,51$

$$V' = \frac{2}{3} d \Sigma A \cdot SK = \frac{2}{3} \cdot 0,55 \cdot 20,51 = 7,52 \text{ [m}^3\text{]}$$

~od tog volumena ( $V'$ ) treba oduzeti volumen dijela čvrstog trupa koji zalazi u tank, te volumen privjesaka u tanku, koji se, kao i za krmni tank, procjenjuje na  $\sim 15\%$ .



$$V_{\text{Č.T.}} = \frac{1}{3} \pi \cdot L [R^2 + r^2 + R \cdot r] = \frac{1}{3} \pi \cdot 0,55 \cdot [1,03^2 + 0,85^2 + 0,85 \cdot 1,03]$$

$$V_{\text{Č.T.}} = 1,53 \text{ [m}^3\text{]}$$

-volumen pramčanog gl. tank iznosi

$$V_p = V' - V_{\text{Č.T.}} - 0,15 V' = 7,52 - 1,53 - 0,15 \cdot 7,52$$

$$V_p = 4,86 \text{ [m}^3\text{]}$$

### Podvodna istisnina

$$\downarrow D = \uparrow D + (\text{volumen glavnih tankova}) \cdot \rho$$

$$\uparrow D = 78,2 \text{ [t]}$$

$$\rho = 1,026 \text{ [t/m}^3\text{]}$$

$$\text{vol. gl. tankova} = V_p + V_k = 4,86 + 3,66 = 8,52 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\downarrow D = 78,2 + 8,52 \cdot 1,026 = 87 \text{ [t]}$$

### Rezervna istisnina

$$D_{\text{rez}} = \downarrow D - \uparrow D = 87 - 78,2 = 8,8 \text{ [t]}$$

Preporuka je da  $D_{\text{rez}}$  bude  $9 \div 12\%$   $\uparrow D$

$D_{\text{rez}} = 11,2\%$   $\uparrow D$  što je unutar preporučene vrijednosti

### 2.3. KONAČNE DIMENZIJE

čvrsti trup:  $L_{\text{ČT}} = 14,8 \text{ [m]}$   
 $B = 2,6 \text{ [m]}$

~duljina od pramca do početka glavine vijka:  $L' = 19,5 \text{ [m]}$

istisnine :  $\uparrow D = 78,2 \text{ [t]}$

$$\downarrow D = 87 \text{ [t]}$$

$$D_{\text{rez}} = 8,8 \text{ [t]} = 11,2\% \uparrow D$$

~duljina preko svega:  $L_{0A} \approx 19,7 \text{ [m]}$

~omjer  $L/B$  = 7,58

### 3. PRELIMINARNI PRORAČUN ČVRSTOĆE

Proračun čvrstoće proveo sam pomoću priručnika:

„Čvrstoća podmornice - priručnik za projektante“, B.I. Zagreb

#### 3.1. Računski pritisak

##### 3.1.1. Definicija dubine

Računska dubina ( $h_r$ ) je dubina na kojoj se ČT teoretski nalazi u kritičnom stanju (dolazi do plastičnih deformacija i izvijanja). Stvarna dubina sloma uvijek je manja od  $h_r$ , zbog nepoznanica u proračunu, grešaka u izradi i materijalu...

Maksimalna (granična) dubina ( $h_m$ ) je dubina na koju podmornica zaronjava ograničeni broj puta.

Radna dubina ( $h$ ) je dubina na koju podmornica zaronjava neograničeni broj puta. (10 ÷ 30% manja od granične)

Radna i maksimalna dubina ovise o stanju ČT (korozija, odstupanje od forme, oštećenja...) te se u toku eksploatacije smanjuju.

##### 3.1.2. Računski pritisak, $p$

$$p = 0,1 \cdot h_r \cdot \gamma = k \cdot (0,1 \cdot h_m \cdot \gamma + \Delta p) \quad , \quad [\text{at}]$$

$$h_m = 120 \text{ [m]} \quad (\text{zadano})$$

$\gamma$  = srednja specifična težina mora = 1,029 [kp/dm<sup>3</sup>] ~ ovaj podatak vrijedi za Jadransko more do 350 [m] dubine

$k$  ~ koeficijent sigurnosti

- preporučuju se vrijednosti  $k \geq 1,5$  (do 2 kod današnjih podmornica)  
- uzimam za  $k = 1,6$

$\Delta p$  = rezerva obzirom na moguće propadanje ili dolazak na maksimalnu dubinu s trimom. Određuje se procjenom.  
 $\Delta p = 1,7 \text{ [at]}$  (priložena je tablica prototipova na osnovu koje sam odabrao vrijednost  $\Delta p$ )

Ukupni koeficijent sigurnosti određuje se prema izrazu

$$k_u = p / (0,1 \cdot h_m \cdot \gamma) = h_r / h_m = 1,82 \rightarrow h_r = 218,4 \text{ [m]}$$

$$p = 1,6 \cdot (0,1 \cdot 120 \cdot 1,029 + 1,7) = 22,48 \text{ [atm]} \rightarrow p = 2,2 \text{ [MPa]}$$

### 3.2. KRITERIJI DIMENZIONIRANJA

Odnosi kritičnih pritisaka i računskog pritiska:

$$P \leq P_{ko} < P_{kr} < P_{kp}$$

- $P_{ko}$  ~ kritični pritisak izvijanja oplata između rebara
- $P_{kr}$  ~            "-            "-            izvijanja rebara
- $P_{kp}$  ~            "-            "-            "-            odsjeka između 2 pregrade

Karakteristična naprezanja u cilindričnom dijelu čit uz računski pritisak moraju zadovoljiti ove kriterije:

$$\sigma_{\phi_0} \leq \sigma_t \cdot 0,8$$

$$\sigma_x \leq \sigma_t$$

$$\sigma_r \leq (0,35 \div 0,5) \sigma_t$$

$$\sigma_{r.uk.} \leq \sigma_t$$

$\sigma_{\phi_0}$  ~ opći dio naprezanja u cirkularnom smjeru u oplati na sredini razmaka rebara

$\sigma_x$  ~ ukupno naprezanje u uzdužnom smjeru na unutarnjim vlaknima oplata uz rebro

$\sigma_r$  ~ naprezanje (srednje) u rebro

$\sigma_{r.uk.}$  ~ ukupno naprezanje u rebro koje uključuje i naprezanje uzrokovano savijanjem uslijed odstupanja rebra od pravilne kružne forme

$\sigma_t$  ~ granica razvlačenja čelika

- za materijal odabirem čelik HY60 nionical  
sa  $\sigma_t = 550$  [MPa] (čelik za podmornice)

Preporučeni odnosi računskog i kritičnih pritisaka jesu:

$$P_{ko} \geq 1,1 P$$

$$P_{kr} \geq 1,3 P$$

$$P_{kp} \geq 1,4 P$$



### 3.3. POSTUPAK ODREĐIVANJA OSNOVNIH DIMENZIJA

#### Debljina oplata, t

$$t = r/100 = 1300/100 = 13 \text{ mm} \quad , \text{ ili po formuli}$$

$$t \geq B_{\phi_0} \frac{P \cdot r}{0,85 t} \geq 1,0 \cdot \frac{2,2 \cdot 10^6 \cdot 1,3}{0,8 \cdot 550 \cdot 10^6} \geq 0,0065 \text{ m} \geq 6,5 \text{ mm}$$

$$B_{\phi_0} = 0,9 \div 1,0 \text{ u prvom približenju}$$

$$B_{\phi_0} = 1,0$$

Odabirem:  $t = 13 \text{ [mm]}$

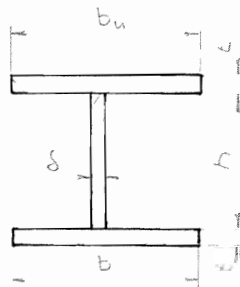
#### Razmak rebara, l

Odabirem  $l = 400 \text{ [mm]}$  (kao i za podmornicu Midget 2)

Ulazni parametri za očitavanje vrijednosti iz dijagrama, u i  $\lambda$ .

$$u = \frac{0,643 \cdot l}{\sqrt{r \cdot t}} = \frac{0,643 \cdot 400}{\sqrt{1300 \cdot 13}} = 1,978$$

#### Dimenzije rebara



$$b_u \sim \text{unosiva širina} = l = 400 \text{ [mm]}$$

$$t = 13 \text{ [mm]}$$

$$\delta \geq 0,5 t \geq 6,5$$

$$\delta = 10 \text{ [mm]}$$

$$h = (10 \div 25) \delta$$

$$h = 12 \delta = 120 \text{ [mm]}$$

$$b \approx h/3 = 40 \text{ [mm]}$$

$$\lambda = \frac{l \cdot t}{F} = \frac{400 \cdot 13}{1720} = 3,023$$

$F \sim$  površina presjeka rebra

$$F = (t \cdot b) + (h \cdot \delta) = 1720 \text{ [mm}^2\text{]}$$

### 3.4. PROVJERA STABILNOSTI

#### 3.4.1. Izvijanje oplata između rebara

Teoretski (Eulerov) kritični pritisak izvijanja

$$P_{k_0}' = E \left( \frac{t}{r} \right)^2 \cdot B_k$$

$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ (N/mm}^2\text{)} \sim$  modul elastičnosti za čelik

$B_k = f(u, \lambda) \sim$  vadi se iz dijagrama u priručniku

$$t = 13 \text{ [mm]}$$

$$r = 1300 \text{ [mm]}$$

$$\sim \text{za } u > 1,1 \text{ vrijedi } B_k = \frac{0,5909}{u - 0,4890} = 0,377$$

$$P_{k0} = n_1 \cdot n_2 \cdot P_{k0}'$$

$$n_1 = 0,4 \div 0,8 \rightarrow \text{Odabirem: } n_1 = 0,6$$

$$n_2 = f(\sigma_{k0}' / \sigma_t)$$

$$\sigma_{k0}' = n_1 \cdot B_{k0} \cdot \frac{P_{k0}' \cdot r}{t} = 465,84 \text{ [MPa]}$$

$$P_{k0}' = 2,1 \cdot 10^5 \cdot (13/1300)^2 \cdot 0,377 = 7,917 \text{ [MPa]} \rightarrow 7,76 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{k0}' / \sigma_t = 0,85 \rightarrow n_2 = 0,855$$

$$P_{k0} = 0,6 \cdot 0,855 \cdot 7,76 = 3,98 \text{ [MPa]}$$

$$1,1p = 2,42 \text{ [MPa]}$$

$$P_{k0} \geq 1,1p \quad \sim \text{uvjet je zadovoljen}$$

### 3.4.2. Izvijanje rebra

Föpplova formula za kritični tlak

$$P_{kr}' = \frac{3 \cdot E \cdot J}{r^3 \cdot L}$$

J ~ moment inercije rebra u koji je uključena i sunosiva širina oplata jednaka razmaku rebara

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12} + 2 \cdot \left[ \frac{b \cdot t^3}{12} + \left( \frac{h}{2} + \frac{t}{2} \right)^2 \cdot b \cdot t \right] = 6,1 \text{ [MPa]}$$

$$P_{kr}' = \frac{3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 6,1}{1,3^2 \cdot 0,4} = 5,7 \text{ [MPa]}$$

$$P_{kr} = n_1 \cdot n_2 \cdot P_{kr}'$$

$$n_1 = 0,6 \quad (\text{iz 3.4.1.})$$

$$n_2 = f(\sigma_{kr}' / \sigma_t)$$

$$\sigma_{kr}' = n_1 \cdot B_r \cdot \frac{P_{kr}' \cdot r}{t} = 0,6 \cdot 0,523 \cdot \frac{5,7 \cdot 1,3}{0,013} = 178,9 \text{ (MPa)}$$

$$B_r = f(u, \lambda) \rightarrow \text{iz dijagrama}$$

$$B_r = 0,523$$

$$\sigma_{kr}' / \sigma_t = 0,33 \rightarrow n_2 = 1,0$$

$$P_{kr} = 0,6 \cdot 1,0 \cdot 5,7 = 3,42 \text{ [MPa]}$$

$$1,3p = 2,86 \text{ [MPa]}$$

$$P_{kr} \geq 1,3p \quad \sim \text{uvjet je zadovoljen}$$

### 3.4.3. Kontrola naprezanja

$$\sigma_{f_0} = B_{f_0} \cdot \frac{P \cdot r}{t} = 0,948 \cdot \frac{2,2 \cdot 1,3}{0,013} = 208,56 \text{ [MPa]}$$

$$B_{f_0} = f(u, \lambda) = 0,948 \text{ (iz dijagrama)}$$

$$\sigma_{f_0} \leq 0,8 \cdot \sigma_t, \quad \sigma_t = 550 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{f_0} = 208,56 \leq 440 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_x = B_x \cdot \frac{P \cdot r}{t} = 368,5 \text{ [MPa]}$$

$$B_x = f(u, \lambda) = 1,675$$

$$\sigma_x \leq \sigma_t$$

$$\sigma_r = B_r \cdot \frac{P \cdot r}{t} = 0,523 \cdot \frac{2,2 \cdot 1,3}{0,013} = 115,1 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_r \leq (0,35 + 0,5) \sigma_t$$

$$\sigma_r = 115,1 \leq (192,5 + 275) \text{ [MPa]}$$

Usvojene dimenzije rebara i debljina oplata zadovoljavaju sve kriterije.

## 4. PRORAČUN OTPORA

### 4.1. OTPOR U PODVODNOJ VOŽNJI

#### Snaga otpora

$$P_e' = R_T \cdot v \quad [\text{kW}]$$

~ snaga otpora  $P_e'$  se korigira na slijedeći način

- a) dodatak zbog otpora mosta ~ 30 %
  - b) -||-                    -||-                    krmnog križa ~ 20 %
  - c) otpor privjesaka ~ 12 ÷ 13 %
- ~ svi postoci su postoci otpora golog trupa

$R_T$  ~ sila otpora [kN]

$v$  ~ brzina podmornice [m/s]

#### Sila otpora

$$R_T = 0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S \cdot C_T$$

$$\rho = 1,026 \quad [\text{t/m}^3]$$

$S$  ~ oplakana površina zaronjene podmornice [m<sup>2</sup>]

$v$  ~ brzina [m/s]

$C_T$  ~ koeficijent ukupnog (total-t) otpora

- koeficijent  $C_T$  se proračunava sljedećim postupkom

$$C_T = C_F + C_R$$

$C_F$  ~ otpor trenja

$C_R$  ~ preostali otpor

$$C_F = \frac{0,075}{(\log R_n - 2)^2} \quad (\text{ITTC-57 formula})$$

$R_n$  ~ Reynoldsov broj

$$R_n = \frac{v \cdot L}{\nu}$$

$$\nu = 1,1307 \cdot 10^{-6} \quad [\text{m}^2/\text{s}]$$

$$L = L_{0A} \sim 19,5 \quad [\text{m}]$$

$$v \sim [\text{m/s}]$$

$$C_R = C_{R'} + \Delta C_0$$

$$C_{R'} = 47,5 \cdot 10^{-3} \frac{f - L_x'}{(1 - L_x')^2 (L/B)^2} + \epsilon \cdot L_x' \quad \sim \text{otpor forme (koeficijent)}$$

$\Delta C_0$  ~ korekcija otpora forme

$$\Delta C_0 = \Delta C_F + \Delta C_1 + \Delta C_2 = 0,9 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta C_F \approx 0,3 \cdot 10^{-3} \quad \sim \text{dodatak na hrapavost}$$

$$\Delta C_1 \approx 0,3 \cdot 10^{-3} \quad \sim \text{otvori}$$

$$\Delta C_2 \approx 0,3 \cdot 10^{-3} \quad \sim \text{sitni detalji}$$

$$f = \frac{\downarrow V}{L_{0A} \cdot A_M} = 0,638 \quad , \quad \epsilon = 1,8 \cdot 10^{-3}$$

$$\downarrow V = 1V + V_{gl. \text{ tankova}} = 76,16 + 3,66 + 4,86 = 84,68 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$L_{0A} = 19,7 \text{ [m]}$$

$$A_M = 6,74 \text{ [m}^2\text{]} \sim \text{pop. presjek po sredni podmornice (sa nacrtu)}$$

$$L_x' = \frac{L_x}{L_{0A}} = \frac{8}{19,7} = 0,406$$

$$L_x = 8,0 \text{ [m]} \sim \text{duljina paralelnog srednjaka}$$

$$C_R' = 1,272 \cdot 10^{-3}$$

$$C_R = C_R' + \Delta C_{R_0}$$

$$C_R = 2,172 \cdot 10^{-3}$$

### Proračun oplakane površine

Oplakanu površinu podijelio sam na 3 dijela zbog preciznijeg proračuna.

### Pramčani dio, $S_p$

- presjeci na pramcu su približno elipse (forma sa Midget 2 podm.)
- površina se računa numeričkom integracijom, a proračun je prikazan u tablici

TABLICA 4 - površina oplake pramca

L	a	b	$\sigma$	SK	$\sigma \cdot SK$
0	0	0	0	0,5	0
1,15	1,0	1,05	6,441	2	12,882
2,3	1,225	1,4	8,26	1	8,26
3,45	1,28	1,55	8,911	2	17,822
4,6	1,3	1,6	9,484	0,5	4,742
					$\Sigma = 43,706$

a, b ~ poluosi elipse [m]

d = 1,15 [m]

$\sigma$  ~ opseg oelipse [m]

$$\sigma = \pi \left[ 1,5(a+b) - \sqrt{a \cdot b} \right]$$

$$S_p = \frac{2}{3} d \Sigma(\sigma \cdot SK) = 33,51 \text{ [m}^2\text{]}$$

## Paralelni srednjak, $S_s$

- proteže se u duljini od 8 metara  $\sim L_x = 8 \text{ m}$
- opseg se očita sa poprečnog presjeka sredine (na nacrtu),  $\sigma$

$$\sigma = 9,484 \text{ [m]}$$

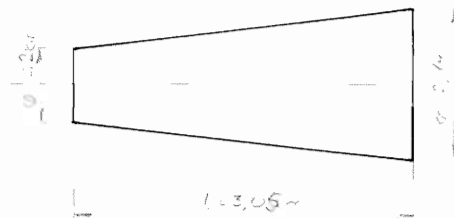
- površina

$$S_s = L_x \cdot \sigma = 8 \cdot 9,484 = 75,87 \text{ [m}^2\text{]}$$

## Krmeni dio, $S_k$

Sastoji se iz 2 dijela; Konusa krmenog glavnog tanka čije se oplošje matematički lako definira i izračuna i dijela od prednje pregrade tanka do paralelnog srednjaka koji je potrebno izračunati putem numeričke integracije.

- konus krmenog glavnog tanka ronjenja



sl.

~krmeni gl. tank

~oplošje krnjeg stošca računa se po formuli:

$$A' = \pi L (R+r)$$

$$A' = \pi \cdot 3,05 \cdot (1,07 + 0,14)$$

$$A' = 11,54 \text{ [m}^2\text{]}$$

~površina dijela krme od pregrade tanka ( $\phi 2,14$ ) do paralelnog srednjaka izračunata je pomoću numeričke integracije. Rezultati su u tablici.  
(opseg prvog presjeka je kružni, a zadnjeg kao i paralelni srednjak ostali presjeci su približno elipse)

~površina se dobije iz

$$A'' = \frac{2}{3} d \sum \sigma \cdot s_k$$

$$d = 0,975 \text{ [m]}$$

~a, b - poluosi elipse

$$\sim \sigma = \pi [1,5(a+b) - \sqrt{a \cdot b}] \text{ -opseg elipse}$$

TABLICA 5 - površina oplata krmenog dijela

a	b	$\sigma$	SK	$\sigma \cdot SK$
/	/	6,6	0,5	3,3
1,225	1,3	7,934	2	15,868
1,3	1,45	8,65	1	8,65
1,3	1,55	8,971	2	17,94
/	/	9,484	0,5	4,742
				$\Sigma = 50,5$

$$A'' = \frac{2}{3} \cdot 0,975 \cdot 50,5 = 32,825 \text{ [m}^2\text{]}$$

Ukupno oplošje krmenog dijela iznosi

$$S_k = A' + A'' = 11,54 + 32,825$$

$$S_k = 44,36 \text{ [m}^2\text{]}$$

Oplakana površina trupa, S, iznosi:

$$S = S_p + S_s + S_k$$

$$S = 33,51 + 75,87 + 44,36$$

$$S = 153,74 \text{ [m}^2\text{]}$$

Brzina (podvodna)

$$v \text{ [čv]} \cdot 0,5144 = v \text{ [m/s]}$$

Korigirana snaga otpora,  $P_{e(kor)}$

$$P_{e(kor)} = 1,63 P_e'$$

~ iznos korekcije dao sam na početku proračuna otpora (točka 4.) i to posebno za most, krmeni križ i privjeske

Rezultati proračuna otpora prikazani su u tablici 6, koja slijedi.

Dijagram  $P_{e(kor)} - v$ , prikazao sam u sklopu točke 7.

TABLICA 6 ~ proračun otpora

$v$ [čv.]	$v$ [m/s]	$R_n \cdot 10^7$	$C_R \cdot 10^{-3}$	$C_F \cdot 10^{-3}$	$C_T \cdot 10^{-3}$	$R_T$ [kN]	$P_e$ [kW]	$P_{e_{korn}}$ [kW]
1	0,5144	0,851	2,172	3,086	5,26	0,11	0,06	0,09
2	1,0288	1,685	"	2,745	4,917	0,411	0,422	0,69
3	1,543	2,53	"	2,569	4,741	0,89	1,374	2,24
4	2,057	3,37	"	2,454	4,626	1,544	3,176	5,18
5	2,572	4,21	"	2,371	4,543	2,37	6,096	9,94
6	3,086	5,054	"	2,305	4,477	3,36	10,38	16,92
7	3,60	5,896	"	2,252	4,424	4,52	16,28	26,54
8	4,115	6,74	"	2,202	4,374	5,84	24,03	39,17
9	4,63	7,583	"	2,169	4,341	7,34	33,98	55,4
10	5,144	8,424	"	2,136	4,308	8,99	46,25	75,39
11	5,66	9,36	2,172	2,103	4,275	10,802	61,14	99,66
14	7,202	11,91	"	2,031	4,203	17,19	123,83	201,5



## 4.2. OTPOR U POVRŠINSKOJ VOŽNJI

Proračun se provodi jednako kao za točku 4.1.

$$P_e' = R_T \cdot v \quad [\text{kW}]$$

$$P_{e(\text{kor})} = 1,3 \cdot P_e'$$

Korekcija zbog: a) otpora krmenog križa  $\sim 20\%$   
b) otpora privjesaka  $\sim 10\%$

$$R_T = 0,5 \cdot g \cdot v^2 \cdot S \cdot C_T$$

$$C_T = C_F + C_R$$

$C_F \sim$  isti kao u 4.1.

$$C_R = C_R' + \Delta C_0$$

$$\Delta C_0 = 0,9 \cdot 10^{-3} \quad (\text{prema 4.1.})$$

$C_R' = 1,8 \cdot 10^{-3}$  (prema formuli u 4.1.)  $\sim$  jedinica promijena u formuli je vrijednost  $\varphi$

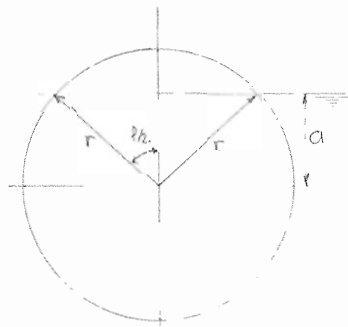
$$\varphi = \frac{V}{L_{0a} \cdot A_M} = 0,784$$

$V = 77,19 \text{ [m}^3\text{]}$   $\sim$  prema tablici 14. (točka 12.)  $\sim$  volumen podvodne forme

$A_M = 5,0 \text{ [m}^2\text{]}$   $\sim$  prema tablici 14.  $\sim$  površina uronjenog dijela rebra  
na gasu  $T = 2,33 \text{ [m]}$

$$L_{0a} = 19,7 \text{ [m]}$$

### Proračun oplakane površine



$\sim$  gas:  $T = 2,33 \text{ [m]}$  (prema 12.2.2. b)

$\sim$  svi presjeci se pretpostavljaju kružni

$\sim$  opseg uronjenog dijela rebra

$$\sigma = 2r\bar{\Pi} - r\hat{\varphi}, \quad [\text{m}]$$

$$\arccos \varphi = a/r$$

$a \sim$  se očitava s nacrtu

Trup sam podijelio na 3 dijela:

a) paralelni srednjak duljine  $8 \text{ [m]}$

$$a = 0,3 \text{ [m]}$$

$$r = 1,3 \text{ [m]}$$

$$\sigma = 2r\bar{\Pi} - r\hat{\varphi} = \arccos(a/r) \cdot 2r = 6,462 \text{ [m]}$$

$$A_{ps} = L \cdot \sigma = 8 \cdot \sigma = 51,7 \text{ [m}^2\text{]}$$

b) pramčani dio ~ računa se num. integracijom

TABLICA 6a)

L [m]	r [m]	a [m]	$\sigma$ [m]	sK	$\sigma \cdot sK$
0	/	/	/	0,5	/
1,15	0,91	/	5,72	2	11,44
2,3	1,14	1,03	6,153	1	6,153
3,45	1,3	1,03	6,462	2	12,924
4,6	1,3	1,03	6,462	0,5	3,231

$$\Sigma = 33,75$$

$$A_{pd} = \frac{2}{3}d \cdot \Sigma = \frac{2}{3} \cdot 1,15 \cdot 33,75 = 35,15 \text{ [m}^2\text{]}$$

c) krmeni dio

TABLICA 6b)

L [m]	r [m]	a [m]	$\sigma$ [m]	sK	$\sigma \cdot sK$
0	/	/	/	0,5	/
1,775	0,62	/	3,9	2	7,8
3,55	0,95	/	5,97	1	5,97
5,325	1,28	1,01	6,35	2	12,7
7,1	1,3	1,03	6,462	0,5	3,231

$$\Sigma = 29,701$$

$$A_k = \frac{2}{3}d \Sigma = \frac{2}{3} \cdot 1,775 \cdot 29,701 = 25,87 \text{ [m}^2\text{]}$$

Ukupna oplakana površina :  $S = \Sigma A = 112,72 \text{ [m}^2\text{]}$

TABLICA 6c) ~ otpor u površinskoj vožnji

$v$ [év.]	$v$ [m/s]	$R_n \cdot 10^7$	$C_F \cdot 10^{-3}$	$C_R \cdot 10^{-3}$	$C_T \cdot 10^{-3}$	$R_T$ [N]	$P_C$ [kW]	$P_{e(kor)}$ [kW]
1	0,5144	kao u tablici 6	kao u tablici 6	4,8	4,886	0,074	0,038	0,050
2	1,029	"	"	"	4,545	0,28	0,29	0,372
3	1,543	"	"	"	4,369	0,601	0,93	1,11
4	2,057	"	"	"	4,254	1,04	2,14	2,8
5	2,572	"	"	"	4,171	1,6	4,1	5,33
6	3,086	"	"	"	4,105	2,26	7,0	9,1
7	3,60	"	"	"	4,052	3,04	10,95	14,21
8	4,115	"	"	"	4,002	3,92	16,13	21,0
9	4,63	"	"	"	3,969	4,92	22,8	29,6
10	5,144	"	"	"	3,936	6,022	31,0	40,3
11	5,66	"	"	"	3,903	7,23	40,92	53,2
14	7,202	"	"	"	3,831	11,5	82,6	107,6

## 5. PROPULZIJA U PODVODNOJ VOŽNJI

Proračun vijka daje proizvođač. Vijak treba biti malošumnih karakteristika (zujanje i kavitacija što manji). Broj krila vijka je najčešće 5 ili 7, a materijal je SONOSTON.

Podaci o stupnjevima djelovanja vijka, trupa..., za podmornice dimenzija i namjene kao u zadatku su pretpostavljeni za preliminarni proračun propulzije u podvodnoj vožnji. Vrijednosti koeficijenata i stupnjeva korisnosti dobio sam u BI, Zagreb.

Stupanj djelovanja vijka u slobodnoj vožnji	$\eta_o = 0,55$
Stupanj -"- trupa	$\eta_H = 1,35$
Koeficijent smanjenog poriva	$t = 0,11$
Koeficijent sustrujanja	$w = 0,34$
Stupanj djelovanja osovine	$\eta_s = 0,97$
Stupanj -"- el. motora	$\eta_M = 0,92$
Gubici u mreži	$\eta_v = 0,90$
Koeficijent prijelaza	$\eta_e = 1,00$

Snaga motora (kočena - na spojci stroja)

$$P_B = \frac{P_{e(kor)}}{\eta_o \cdot \eta_H \cdot \eta_s \cdot \eta_e} = \frac{P_{e(kor)}}{0,7202}, [kW]$$

Snaga iz baterije za propulziju

$$P_M = \frac{P_B}{\eta_M \cdot \eta_v} = \frac{P_B}{0,828}, [kW]$$

Ukupna snaga baterije (stvarna snaga)

$$P_U = P_M + P_{vp}$$

$P_{vp}$  ~ snaga vlastite potrošnje (procjenjuje se)

$$P_{vp} = 7 [kW]$$

$$P_U = P_M + 7 [kW]$$

Podaci za izradu prognoznog dijagrama su u tablici 7.

TABLICA 7 ~ prognozni dijagram ( $\eta_0 = 0,55$ )

$v$ [čv.]	$P_e$ [kW]	$P_B$ [kW]	$P_M$ [kW]	$P_u$ [kW]
1	0,09	0,125	0,151	7,151
2	0,69	0,96	1,159	8,159
3	2,24	3,11	3,76	10,76
4	5,176	7,19	8,68	15,68
5	9,94	13,8	16,7	23,7
6	16,92	23,5	28,4	35,4
7	26,54	36,9	44,6	51,6
8	39,17	54,4	65,7	72,7
9	55,4	76,9	92,9	99,9
10	75,39	104,7	126,5	133,5
11	99,66	138,4	167,15	174,15

Dijagram je prikazan u točki 7.

Stupanj djelovanja vijka u slobodnoj vožnji uzeo sam  $\eta_0 = 0,55$  prema preporuci iz Bl. Zbog uvida u promjene koje nastaju promjenom  $\eta_0$  napravio sam proračun za  $\eta_0 = 0,52$  i  $0,58$  unutar kojih vrijednosti bi se trebala naći i stvarna veličina  $\eta_0$ .

Variranjem vrijednosti  $\eta_0$  dobio sam različite rezultate proračuna propulzije koje sam prikazao u tablicama 7.a) i 7.b.) koje slijede. Rezultati iz tablica prikazani su i u dijagramima  $v - P_e, P_M, P_u, P_B$  u točki 7.

Promjenom  $\eta_0$  mijenja se i potrebna snaga baterija za propulziju, a time njihova težina i dimenzije članaka baterije. To rezultira i izmjenama u računu centracije koji sam napravio za sva 3 stanja u točki 10.

Proračun za  $\eta_0 = 0,52$  i  $0,58$  je isti kao i za  $\eta_0 = 0,55$  pa nije posebno prikazivan već su samo napisani konačni rezultati. Također i proračun težine baterije je isti kao za  $\eta_0 = 0,55$  (uz izmijenjene podatke o potrebnoj snazi) pa nije posebno napisan već su dani samo konačni rezultati uz tablice 7a i 7b. Ostale promjene težina i težišta koje su posljedica promjene karakteristika propulzije napisane su u točki 10., računu centracije.

TABLICA 7a ~ prognozni dijagram ( $\eta_0 = 0,52$ )

$v$ [čv.]	$P_{e(kor)}$	$P_B$ [kW]	$P_M$ [kW]	$P_u$ [kW]
1	0,09	0,132	0,16	7,16
2	0,69	1,013	1,22	8,22
3	2,24	3,29	3,97	10,97
4	5,176	7,6	9,2	16,2
5	9,94	14,6	17,6	24,6
6	16,92	24,8	30	37
7	26,54	39,0	47,1	54,1
8	39,17	57,5	69,5	76,5
9	55,4	81,4	98,3	105,3
10	75,39	110,7	133,7	140,7
11	99,66	146,4	176,7	183,7

Masa baterija (proračun prema točki 7.)

$$m = P_{BAT} / P_{spec} = 21,3 / 1,42 = 15,0 \text{ [t]}$$

TABLICA 7b ~ prognozni dijagram ( $\eta_0 = 0,58$ )

$v$ [čv.]	$P_{e(kor)}$	$P_B$ [kW]	$P_M$ [kW]	$P_u$ [kW]
1	0,09	0,12	0,14	7,14
2	0,69	0,9	1,1	10,1
3	2,24	2,9	3,6	16,6
4	5,176	6,8	8,2	15,2
5	9,94	13,1	15,8	22,8
6	16,92	22,3	26,9	33,9
7	26,54	34,9	42,2	49,2
8	39,17	51,6	62,3	69,3
9	55,4	72,9	88,1	95,1
10	75,39	99,3	119,9	126,9
11	99,66	131,2	158,5	165,5

Masa baterija:  $m = 20,03 / 1,42 = 14,1 \text{ [t]}$

## 7. BATERIJA

Masa baterije se preporuča između 15 ÷ 22 % T.D.

Broj akujama : 2

Broj baterija : 2

Napon baterije :  $U = n_{\text{čl}} \cdot V_i$   
 $n_{\text{čl}} \sim$  broj članaka  
 $V_i = 2,04 \text{ [V]} \sim$  napon jednog članka

Odabirem  $8 \times 8 = 64$  članka u jednoj bateriji pa je napon jedne baterije:

$$U_1 = (8 \times 8) \times 2,04 = 130,56 \text{ [V]}$$

Odnosno, napon 2 baterije spojene serijski iznosi

$$U = 2 \cdot U_1 = 261 \text{ [V]}$$

### Režim pražnjenja baterije

(podaci  $h$  - specifična energija dobiveni su u BI, Zagreb)

~ specifična energija,  $E_{\text{spec}}, \text{[Wh/kg]} = P_{\text{spec}} \cdot h$   
 $h \sim$  vrijeme pražnjenja, [sati]

~ specifična snaga,  $P_{\text{spec}}, \text{[W/kg]}$

~ snaga baterije,  $P_{\text{BAT}} = P_{\text{spec}} \cdot m, \text{[kW]}$

$m \sim$  masa baterije, [kg]

~  $P_u = 95\% \cdot P_{\text{BAT}} \sim$  snaga baterije (gubici odbijeni), [kW]

~  $P = 80\% \cdot P_u \sim$  stvarna snaga baterije, [kW]

Po projektnom zahtjevu podmornica treba preći 120 NM pri brzini od 4 čv. Za to je potrebno 30 sati rada baterije. Snaga koja se pri tome ukupno troši je 15,68 [kW] (vidi tablicu 7.). Ta snaga je stvarna snaga baterije  $P$ . Iz toga slijedi prema gornjim izrazima

$$P_u = 1,25 P$$

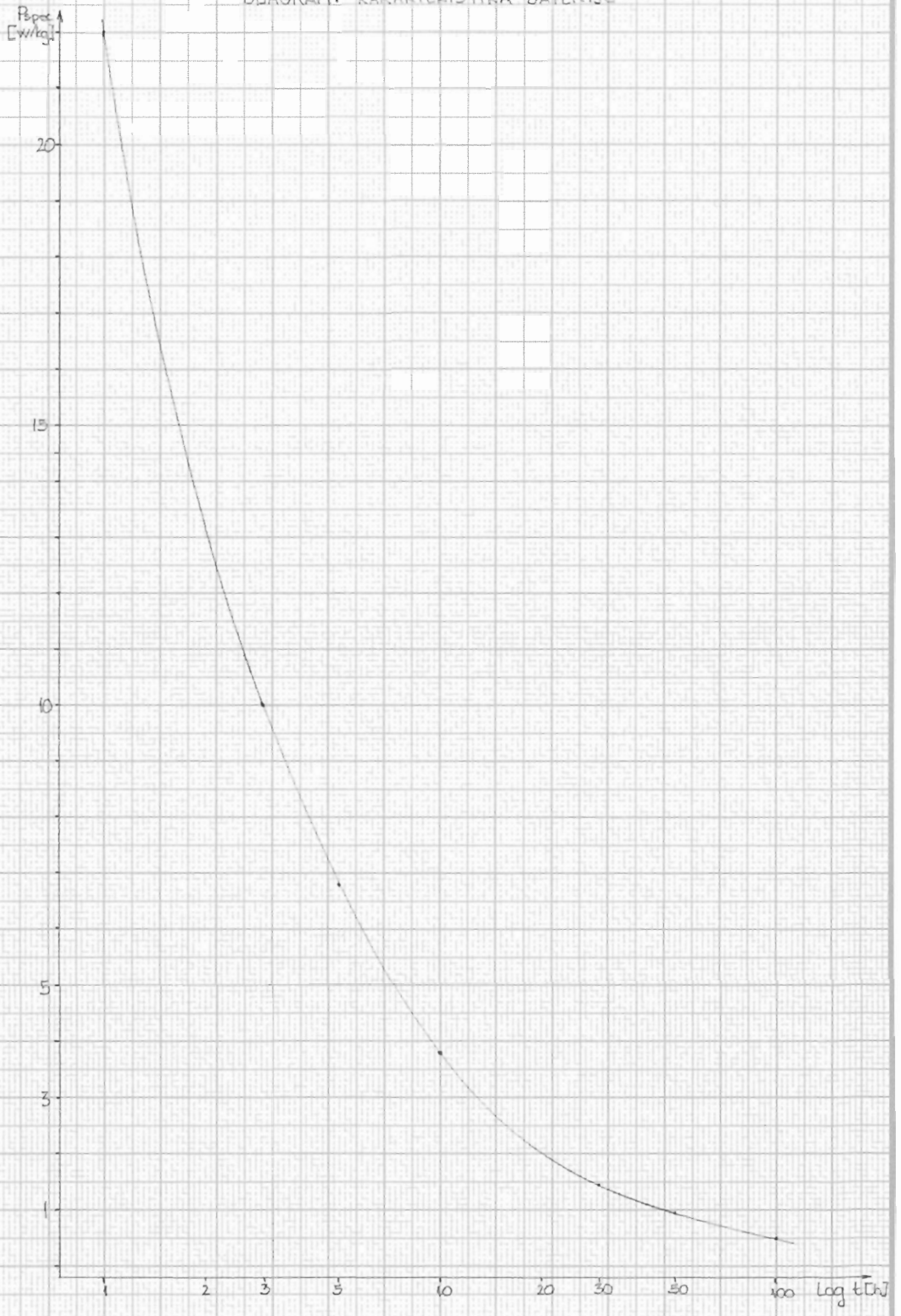
$$P_u = 1,25 \cdot 15,68 = 19,6 \text{ [kW]}$$

$$P_{\text{BAT}} = 1,053 \cdot 19,6 = 20,64 \text{ [kW]}$$

Za 30-satni režim pražnjenja baterije specifična energija,  $E_{\text{spec}}$  iznosi (prema tablici 8.)

$$E_{\text{spec}} = 42,5 \text{ [Wh/kg]}$$

DIAGRAM: KARAKTERISTIKA BATERIJE





Dalje je specifična snaga za 30-satni režim pražnjenja baterije:

$$P_{\text{spec}} = E_{\text{spec}} / t$$

$$P_{\text{spec}} = 42,5 / 30 = 1,42 \text{ [W/kg]}$$

Masa baterije se može izračunati iz prije navedene formule:

$$P_{\text{BAT}} = m \cdot P_{\text{spec}}$$

$$m = P_{\text{BAT}} / P_{\text{spec}}$$

$$m = 20,64 / 1,42$$

$$\underline{m = 14,54 \text{ [t]}}$$

Sada se uz poznatu masu mogu dobiti  $P_{\text{BAT}}$ ,  $P_u$  i  $P$  za ostale režime pražnjenja. Rezultati su u tablici 8.

TABLICA 8 ~ režim pražnjenja baterije i pripadne snage

Režim pražnjenja [h]	$E_{\text{spec}}$ [Wh/kg]	$P_{\text{spec}}$ [W/kg]	$P_{\text{BAT}}$ [kW]	$P_u = 0,95 P_{\text{BAT}}$ [kW]	$P = 80\% P_u$ [kW]
100	50	0,5	7,27	6,91	5,53
50	47	0,94	13,67	12,98	10,39
30	42,5	1,42	20,64	19,6	15,68
10	38	3,8	55,3	52,5	42,0
5	34	6,8	98,9	93,9	75,14
3	30	10	145,4	138,1	110,5
1	22	22	319,9	303,9	243,1

### 7.1. Dimenzije članka baterije

Specifična masa baterije (podatak iz BI)

$$\rho \sim 3 \text{ (kg/dm}^3\text{)}$$

Volumen baterija:

$$V = m / \rho = 4847 \text{ [dm}^3\text{]}$$

Volumen jedne baterije:

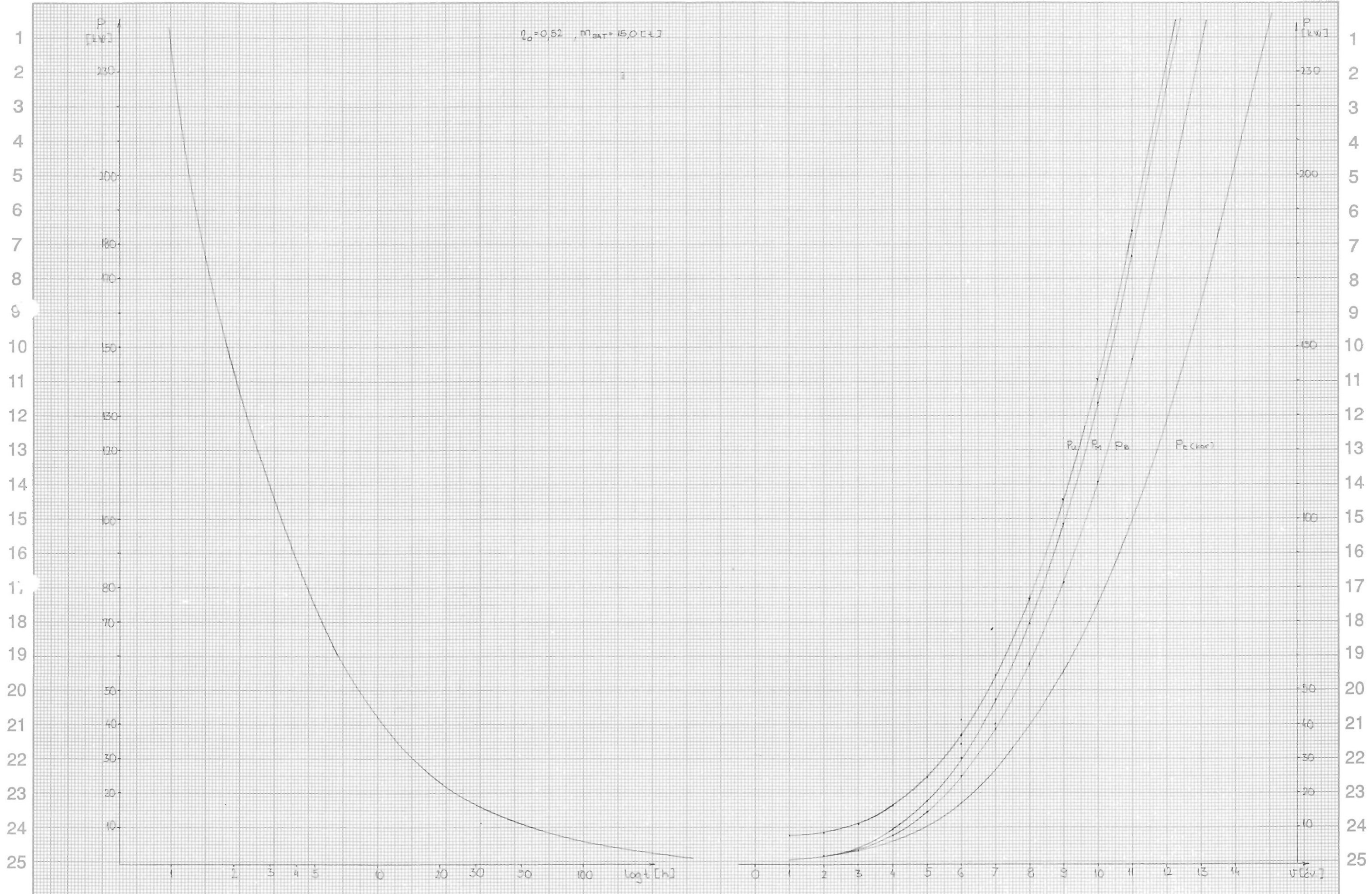
$$V_{1,2} = V / 2 = 2423,5 \text{ [dm}^3\text{]}$$

Volumen jednog članka:

$$V_{\text{čl.}} = V_{1,2} / n_{\text{čl.}} = 2423,5 / 64 = 37,87 \text{ [dm}^3\text{]}$$

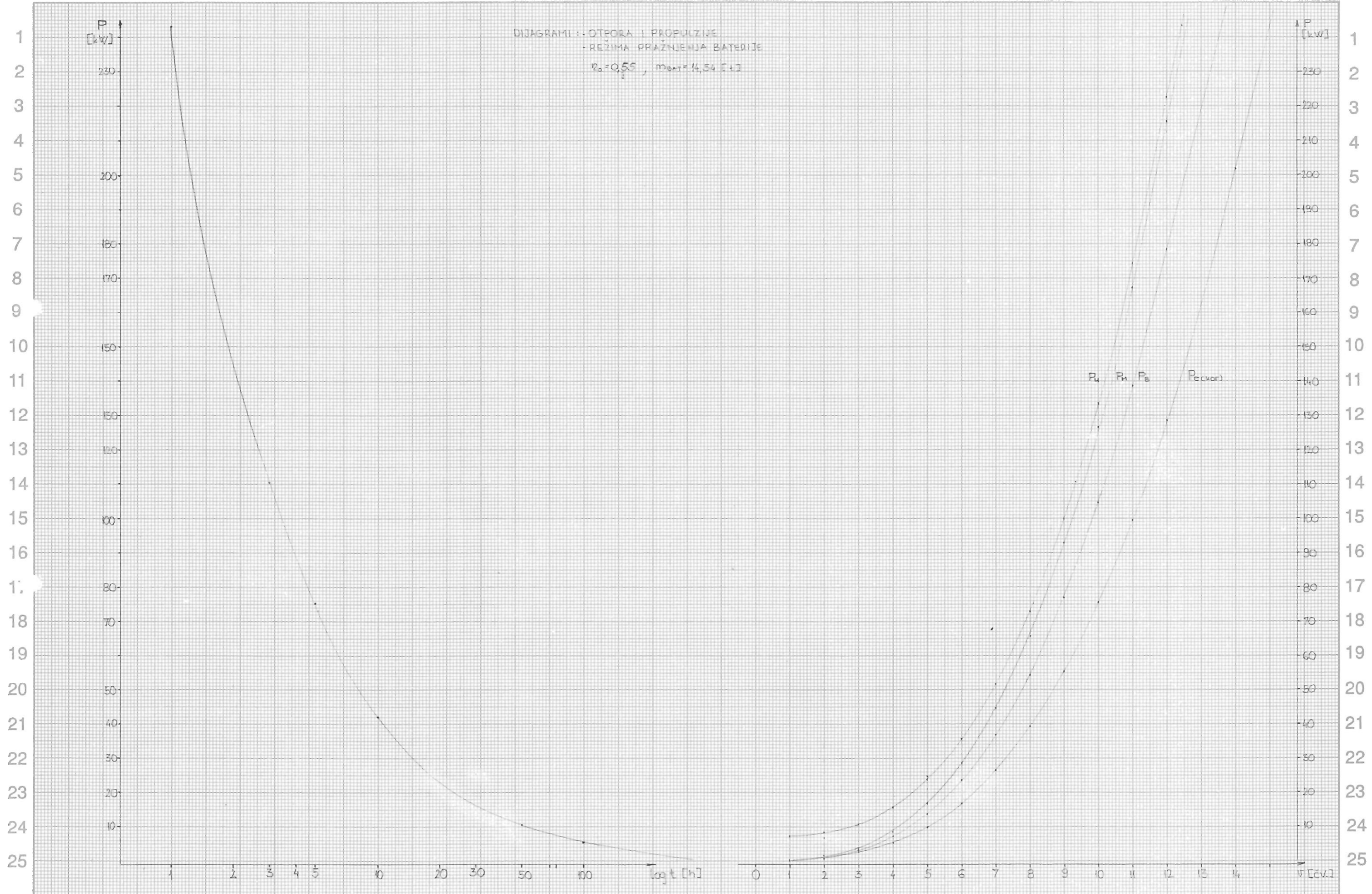
~ iz tog podatka mogu se odrediti dimenzije članka (ovisno o smještaju u trup)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37



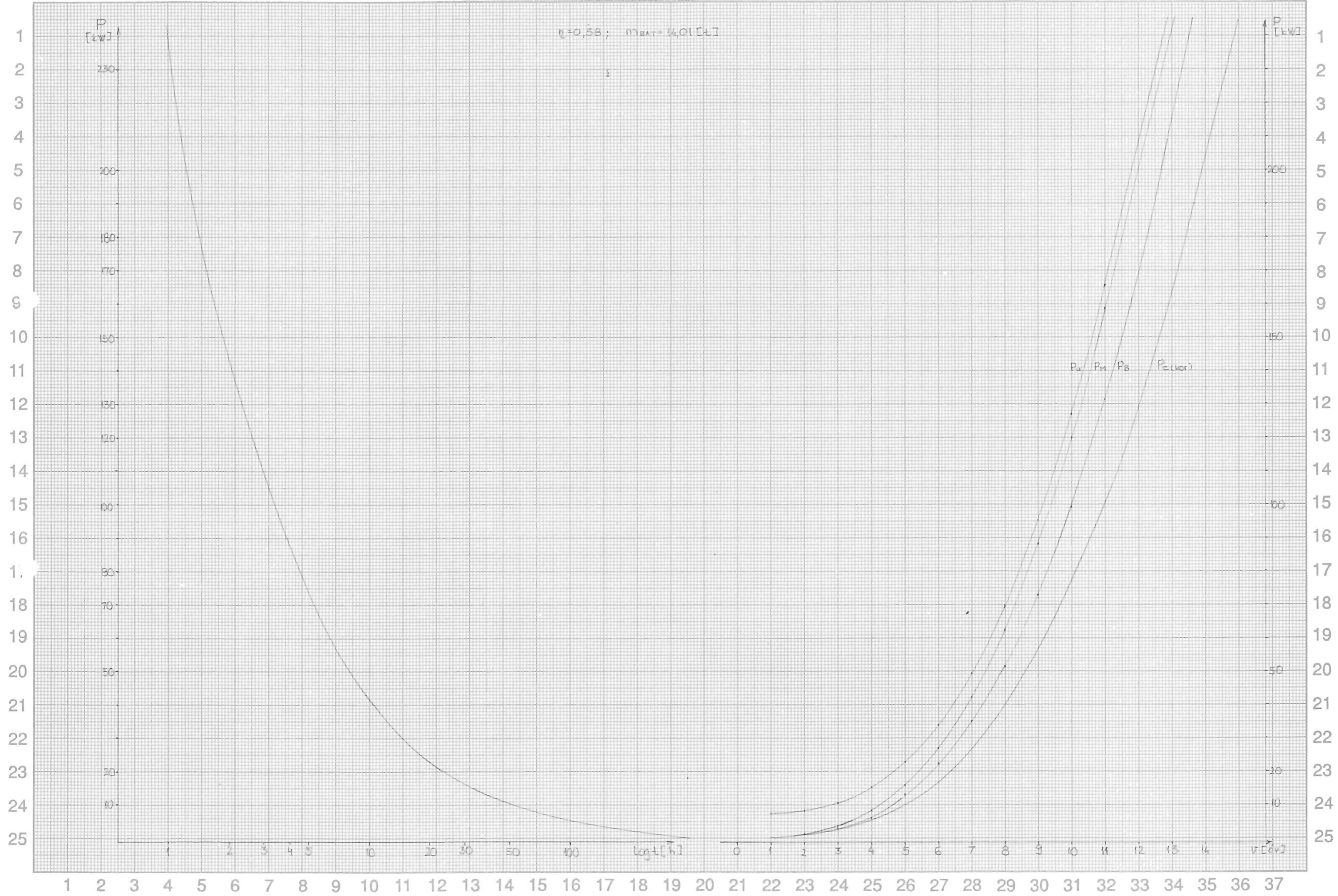
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37



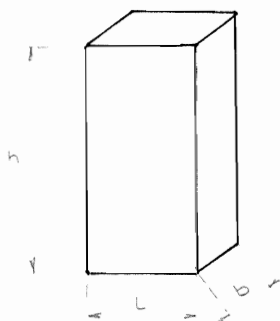
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37

## Dimenzije članka



~zbog pogodnog smještaja u trup odabrao sam dimenzije:

$$\begin{aligned}L &= 0,2 \text{ [m]} \\b &= 3,4 \text{ [dm]} \\h &= 5,57 \text{ [dm]}\end{aligned}$$

## 7.2. Duljina podvodne plovidbe

Duljina plovljenja

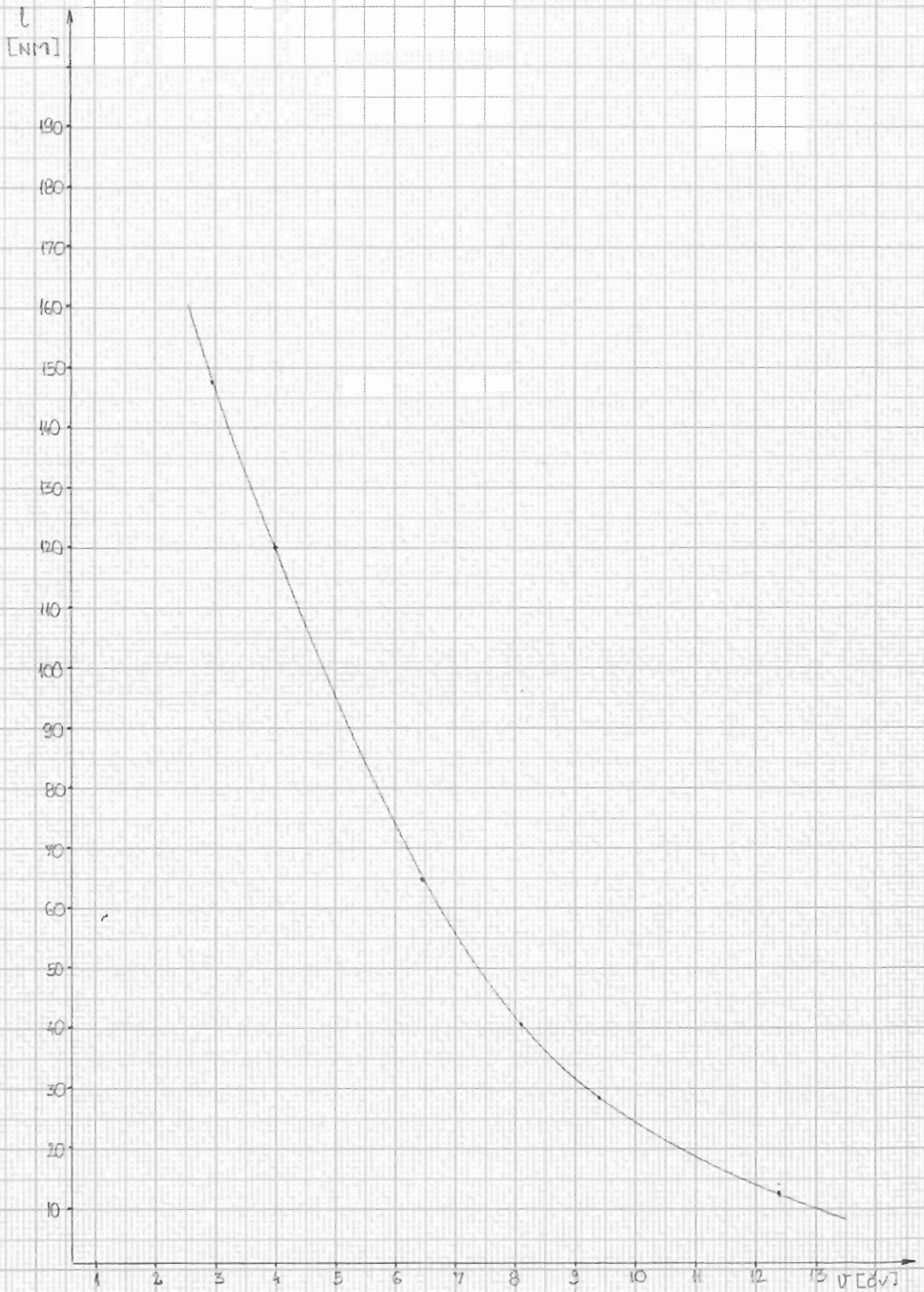
$$\begin{aligned}L &= v \cdot t \text{ , [NM]} \\v &[\text{čv.}] \\t &[\text{sati}]\end{aligned}$$

Proračun duljine plovidbe za određeni režim pražnjenja baterija prikazan je u tablici 9.

TABLICA 9 ~ duljina plovidbe ↓

režim pražnjenja [h]	P [kW] (st. sn. bater.)	v [čv.]	L [NM]
100	5,53		
50	10,39	2,95	147,5
30	15,68	4	120
10	42,0	6,43	64,30
5	75,14	8,1	40,5
3	110,5	9,4	28,2
1	243,1	12,4	12,4

DIJAGRAM DULJINE PODVODNE PLOVIDBE



### 7.3. Zaključak o karakteristikama baterije

Baterije omogućavaju plovidbu pod vodom u duljini od 120 NM pri brzini od 4 čvora kako je i traženo projektnim zahtjevom.

Maksimalna brzina od 8 čv. postiže se u trajanju od ~5 [sati] što omogućuje duljinu plovidbe od ~40 [NM].

Baterije se pune u Luci, jer podmornica nije opremljena dizel-motorni generatorom.

Baterija se sastoji iz 2 dijela svaki sa po 64 članka (8×8). Ukupni napon je ~260 [V].

Masa baterije  $m = 14540$  [kg], što je 18,6%  $\uparrow D$ , (preporuka 15÷22%  $\uparrow D$ ).

## 8. POGON PODMORNICE

### 8.1. Izbor elektromotora

Iz dijagrama otpora očita se potrebna snaga motora  $P_B$  za vožnju brzinom od 8 čv. (~maksimalna brzina po projektnom zahtjevu).

$$\sim \text{očitano je } P_B = 54,4 \text{ [kW]}$$

Odabrani motor je istosmjerni elektromotor snage  $P = 55 \text{ [kW]}$

### Masa elektromotora, M

$$m = 18 \text{ [kg/kW]} \sim \text{specifična masa}$$

$$M = m \cdot P = 18 \cdot 55 = 990 \text{ [kg]}$$

Za pogon u podvodnoj i površinskoj vožnji koristi se odabrani elektromotor. Energijom se napaja iz baterija preko električne mreže na podmornici.

## 9. KAPACITETI TANKOVA

### 9.1. Glavni tankovi ronjenja

Volumen ovih tankova proračunat je prije (točka 2.)

$$\sim \text{pramčani glavni tank} \quad V_{PGT} = 4,86 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\sim \text{krmeni glavni tank} \quad V_{KGT} = 3,66 \text{ [m}^3\text{]}$$

### 9.2. Trim tankovi

Volumen trim tankova procjenjuje se na ~0,5%  $\uparrow D$ .

$$\text{Pramčani trim tank} \quad V_{PTT} \cong 0,5\% \uparrow D \cong 0,41 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\text{Krmeni trim tank} \quad V_{KTT} \cong 0,5\% \uparrow D = 0,41 \text{ [m}^3\text{]}$$



### 9.3. Regler tank

Regler ima funkciju uravnoteženja promjene masa.

#### Uravnoteženje promjene gustoće mora

$$\rho = 1,015 \div 1,035 \text{ [t/m}^3\text{]} ; \text{ normalno stanje } \rho = 1,026 \text{ [t/m}^3\text{]}$$

$$\Delta V_1 = \Delta \rho \cdot \uparrow D = (1,026 - 1,015) \cdot 78,2 = 0,861 \text{ [m}^3\text{]}$$

#### Kontrakcija trupa

$$\Delta V_2 \approx 0,25\% \cdot \uparrow D$$

$$\Delta V_2 \approx 0,25\% \cdot 78,2 = 0,2 \text{ [m}^3\text{]}$$

#### Minimalno punjenje reglera

$$\Delta V_3 \approx 0,5 \text{ [m}^3\text{]}$$

#### Ukupni volumen reglera

$$V_R = \sum \Delta V_i = 1,56 \text{ [m}^3\text{]}$$

### 9.4. Nadomjesni tankovi

Raspoređuju se po slobodnim prostorima, a služe za kompenzaciju utrošenih masa (voda, hrana, regenerativna tvar, zrak...)

#### Kompenzacija težine 2 mine (koje se nose umjesto ronilica)

$$\Delta V_1 = 2 \cdot 0,5 \text{ t} = 1,0 \text{ [t]} / 1,026 \approx 1 \text{ [m}^3\text{]}$$

Višak težine nad uzgonom svake mine je 0,5 [t]

#### Kompenzacija iskrcaja diverzanata s opremom

$$\Delta V_2 = 4 \cdot 0,1 \text{ t} = 0,4 \text{ [t]} / 1,026 \approx 0,4 \text{ [m}^3\text{]}$$

(u opremu se računaju i mine priljepci)

#### Utrošene zalihe hrane i vode i reg. tvari

$$\Delta V_3 = 1,1 \text{ [t]} \approx 1,1 \text{ [m}^3\text{]}$$

(proračun zaliha u točki 9.6.)

#### Ukupni volumen nadomjesnih tankova

$$V_{NT} = \sum \Delta V_i = 2,5 \text{ [m}^3\text{]}$$

### 3.5. Tank pitke vode

Potrošnja vode je  $\sim 6$  [L] po čovjeku na dan. (Posada 10 ljudi, za 7 dana).

$$G = 6 \cdot 7 \cdot 10 = 420 \text{ [L]} = 0,42 \text{ [t]}$$

$$\Delta V = 0,42 / 1,026 = 0,41 \text{ [m}^3\text{]}$$

### 3.6. Zalihe

#### 3.6.1. Hrana

$\sim 3$  kg / (čovjeku dnevno)

$$G_1 = 10 \text{ ljudi} \cdot 7 \text{ dana} \cdot 3 = 0,21 \text{ [t]}$$

#### 3.6.2. Voda

$\sim 6$  L / (čovjeku dnevno)

$$G_2 = 10 \cdot 7 \cdot 6 = 0,42 \text{ [t]}$$

#### 3.6.3. Regenerativna tvar za apsorpciju CO<sub>2</sub>

$\sim 6$  kg / (čovjeku dnevno)

$$G_3 = 10 \cdot 7 \cdot 6 = 0,42 \text{ [t]}$$

#### Ukupna masa zaliha

$$G_z = \sum G_i$$

$$G_z = 1,05 \text{ [t]}$$

### 3.7. Spasilačka oprema

$\sim 35$  kg / čovjeku

$$G_s = 10 \cdot 35 = 0,35 \text{ [t]}$$

## 10. RAČUN CENTRACIJE

### 10.1. Procjena težina i udaljenosti težišta od referentne točke

Za referentnu poziciju odabrao sam stražnju pregradu krmenog glavnog tanka ronjenja.

#### 10.1.1. Čvrsti trup

Težina čvrstog trupa (~ 20% TD)

##### a) Oplata čvrstog trupa

~ debljina oplata  $t = 13$  [mm] (~ iz proračuna čvrstoće)

~ površine čT  $A = 118,1$  [m<sup>2</sup>] (prema 2.2.1.)

$$G_0 = \rho_c \cdot t \cdot A = 7,85 \cdot 0,013 \cdot 118,1 = 12,05$$
 [t]

gdje je  $\rho_c = 7,85$  [t/m<sup>3</sup>] ~ gustoća čelika

##### b) Masa rebara u čT

- rebra u cilindričnoj ljusci ( $L = 10,8$  [m])

- masa struka

~ broj rebara  $n = 28$

~  $t = 13$  [mm],  $h = 120$  [mm],  $\delta = 10$  [mm] ~ dimenzije rebra

~  $B = 2R = 2,6$  [m] ~ promjer trupa (cil. ljuske)

$$G_1 = n \cdot \rho_c \cdot \left[ \frac{(B - 2t)^2 \cdot \pi}{4} - \frac{(B - 2t - 2h)^2 \cdot \pi}{4} \right] \cdot \delta$$

$$G_1 = 2,04$$
 [t]

- rebra u konusima čT

~ broj rebara  $n = 10$

~ dimenzije kao gore

~  $B_{sr} \approx 2,15$  [m] ~ srednji promjer u konusima

$$G_2 = n \cdot \rho_c \cdot \delta \cdot \left[ \frac{(B_{sr} - 2t)^2 \cdot \pi}{4} - \frac{(B_{sr} - 2t - 2h)^2 \cdot \pi}{4} \right]$$

$$G_2 = 0,6$$
 [t]

- masa prirubnica rebara u cil. ljusci

$$G_3 = n \cdot g \cdot b \cdot t \cdot (B - 3t - 2h) \cdot \pi$$

$b = 400$  [mm] ~ širina prirubnice

$$G_3 = 28 \cdot 7,85 \cdot 0,04 \cdot 0,013 \cdot (2,6 - 3 \cdot 0,013 - 2 \cdot 0,12) \cdot \pi = 0,83$$
 [t]

-masa prirubnica rebara u konusima

$$G_4 = n \cdot g \cdot b \cdot t \cdot (B_{sr} - 3t - 2h) \cdot \pi$$

$$G_4 = 10 \cdot 7,85 \cdot 0,04 \cdot 0,013 \cdot (2,15 - 3 \cdot 0,013 - 2 \cdot 0,12) \cdot \pi$$

$$G_4 = 0,24 \text{ [t]}$$

Ukupna masa čt

$$G = \sum G_i$$

$$G_{\text{čt}} = 15,76 \text{ [t]} \sim 20\% \uparrow D$$

-udaljenost težišta čt po dužini  $X_{G_{\text{čt}}} = 10,2 \text{ [m]}$

-udaljenost -||- od B.L.  $Z_{G_{\text{čt}}} = 1,3 \text{ [m]}$

10.1.2. Laki trup (~20% ↑D)

a) Krmeni glavni tank

~oplošje  $A = 11,54 \text{ [m}^2\text{]}$  (prema točki 4.)

$$G = A \cdot t \cdot g_c = 11,54 \cdot 0,01 \cdot 7,85 = 0,91 \text{ [t]}$$

$$t = 10 \text{ [mm]}$$

b) Pramćani glavni tank

~oplošje se računa numeričkom integracijom i prikazano je tablicom 10.

TABLICA 10 ~ oplošje pramćanog glavnog tanka

L	a	b	$\sigma$	sk	$\sigma \cdot sk$
0	0	0	0	0,5	0
0,55	0,73	0,73	4,59	2	9,18
1,1	0,985	1,025	5,018	1	5,018
1,65	1,125	1,24	7,434	2	14,868
2,2	1,21	1,38	8,14	0,5	4,07
					$\Sigma = 33,14$

Presjeci su približno elipse. a, b su poluosi elipse.

$$\text{Opseg } \sigma = \pi [1,5(a+b) - \sqrt{a \cdot b}]$$

$$A = \frac{2}{3} d \Sigma = \frac{2}{3} \cdot 0,55 \cdot 33,14 = 12,15 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$t = 10 \text{ [mm]}$$

$$G_2 = A \cdot t \cdot g_c = 0,98 \text{ [t]}$$

### c) Nadgrade

~ materijal je stakloplastika  $\rho_s = 2,2 [t/m^3]$

~ površina je  $A \approx 60 [m^2]$  - procijenjena

~ debljina  $t = 20 [mm]$

$$G_3 = \rho_s \cdot t \cdot A = 2,7 [t]$$

### d) Most

$$A \approx 8 [m^2]$$

$$t = 20 [mm]$$

$$G_4 = \rho_s \cdot A \cdot t = 0,4 [t]$$

Masa lakog trupa iskustveno iznosi  $\sim 20\%$ .  $\uparrow D$  što je ovdje oko  $15,64 [t]$ .

$\sum G_i = 5 [t]$ . Ostatak do  $15,64 [t]$  otpada na razne platforme, temelje, postolja, prolaze, pregrade...)

$$G_{LT} = 15,64 [t]$$

$$x = 10,2 [m]$$

$$z = 1,3 [m]$$

~ krakovi  $x, z$  uzimaju se isti kao za čt

### 10.1.3. Baterije

$$G_8 = 14,54 [t] = 2 \times 7,27 [t]$$

$$x_1 = 8,1 [m], \quad x_2 = 12,5 [m]$$

$$z_1 = 0,40 [m], \quad z_2 = 0,40 [m]$$

~ krakovi se očitaju sa nacрта

### 10.1.4. Oprema trupa

~ iskustveno iznosi  $\sim 16\%$ .  $\uparrow D$

$$G_9 = 12,5 [t]$$

$$x = 8,0 [m]$$

$$z = 1,3 [m]$$

~ krakovi se procijene

### 10.1.5. Senzori i elektronika

~ masa i položaj im se procijenjuje

$$G_5 = 5,0 [t]$$

$$x = 15,7 [m]$$

$$z = 1,9 [m]$$

### 10.1.6. Elektromotor

$$G_e = 0,99 \text{ [t]}$$

$$x = 4,5 \text{ [m]}$$

$$z = 1,4 \text{ [m]} \quad \sim \text{približno očitina sa nacрта}$$

### 10.1.7. Zalihe

~ hrana, voda, reg. tvar

$$G = 1,05 \text{ [t]}$$

$$x = 13 \text{ [m]}$$

$$z = 1,5 \text{ [m]}$$

### 10.1.8. Posada

$$G = 0,75 \text{ [t]}$$

$$x = 13 \text{ [m]}$$

$$z = 1,8 \text{ [m]}$$

### 10.1.9. Spasilačka oprema

$$G = 0,42 \text{ [t]}$$

$$x = 11,0 \text{ [m]}$$

$$z = 1,8 \text{ [m]}$$

### 10.1.10. Voda uravnoteženja

~ regler  $G = 1,6 \text{ [t]}$

$$x = 10,3 \text{ [m]}$$

$$z = 0,35 \text{ [m]}$$

~ krmeni trim tank

$$G = 0,41 \text{ [t]}$$

$$x = 3,1 \text{ [m]}$$

$$z = 0,6 \text{ [m]}$$

~ pramčani trim tank

$$G = 0,41 \text{ [t]}$$

$$x = 15,7 \text{ [m]}$$

$$z = 0,4 \text{ [m]}$$

~ nadomjesni tank

$$G = 2,6 \text{ [t]}$$

$$x = 5,9 \text{ [m]}$$

$$z = 0,4 \text{ [m]}$$

#### 10.1.11. Borbeni sustav

$$G = 2,4 \text{ [t]} \quad (\sim 3\% \uparrow D)$$

$$x = 13,9 \text{ [m]}$$

$$z = 2,0 \text{ [m]}$$

#### 10.1.12. Kruti balast

$$G = 1 \text{ [t]} \quad (\sim 1\% \uparrow D)$$

$$x = 10,2 \text{ [m]}$$

$$z = 0,3 \text{ [m]}$$

#### 10.1.13. Mine priljepci

$$G = 8 \times 0,03 = 0,24 \text{ [t]}$$

$$x = 10 \text{ [m]}$$

$$z = 1,0 \text{ [m]}$$

~

#### 10.1.14. Ronilice

$$G = 2 \times 0,3 = 0,6 \text{ [t]}$$

$$x = 13 \text{ [m]}$$

$$z = 2,9 \text{ [m]}$$

~ težina u vodi izjednačena je s uzgonom

#### 10.1.15. Ležeće mine

$$G = 2 \times 1 = 2 \text{ [t]}$$

$$x = 13,0 \text{ [m]}$$

$$z = 2,9 \text{ [m]}$$

~ imaju višak težine nad istisninom u vodi ~ svaka ~ 0,5 [t]  
što ukupno daje 1 [t].

#### 10.1.16. Projektna rezerva

$$G = 1,89 \text{ [t]} \quad (\sim 2,5\% \uparrow D)$$

$$x = 10,2 \text{ [m]}$$

$$z = 1,3 \text{ [m]}$$

## 10.2. Određivanje težišta

Položaj težišta određuje se za podvodnu i površinsku vožnju.

$x_G$  ~ položaj težišta po dužini (ref. pozicija je kranja pregrada krm. tanka)

$z_G$  ~ " " " " po visini (od osnovice)

$$x_G = \frac{\sum m_i x_i}{G}, [m]$$

$$z_G = \frac{\sum m_i z_i}{G}, [m]$$

$m_i, x_i, z_i$ , ~ mase i udaljenosti od ref. točke

$G$  ~ težina [t]

### a) Podvodna vožnja ↓

$$G = 78,2 [t] \quad x_G = \frac{797,823}{78,2} = 10,202 [m]$$

$$z_G = \frac{90,24}{78,2} = 1,154 [m]$$

### b) Površinska vožnja s ronilicama

$$G = 78,8 [t] \quad x_G = \frac{805,623}{78,8} = 10,224 [m]$$

$$z_G = \frac{91,98}{78,8} = 1,167 [m]$$

### c) Površinska vožnja s lež. minama

$$G = 79,2 [t] \quad x_G = \frac{810,820}{79,2} = 10,238 [m]$$

$$z_G = \frac{93,14}{79,2} = 1,176 [m]$$

Svi podaci za proračun a), b) i c) nalaze se u tablici 11.



TABLICA II

	Grupa težina	m masa [t]	x [m]	m · x	Z	m · Z
PODVODNA VOŽNJA						
1	Ljuska čvrstog trupa	15,76	10,2	160,75	1,3	20,48
2	Laki trup	15,64	10,2	159,53	1,3	20,33
3	Baterija 1	7,27	8,1	61,79	0,4	2,54
4	Baterija 2	7,27	12,5	87,24	0,4	2,54
5	Oprema trupa	12,5	8,0	100,0	1,3	17,5
6	Senzori i elektronika	5,0	15,7	78,5	1,9	9,5
7	Elektromotor	0,99	4,5	4,45	1,4	1,29
8	Zalihe	1,05	13,0	13,65	1,5	1,57
9	Posada	0,75	13,0	9,75	1,8	1,35
10	Spasilačka oprema	0,42	11,0	4,41	1,8	0,76
11	Regler	1,6	10,3	16,64	0,4	0,96
12	Krmeni trim tank	0,41	3,1	1,27	0,6	0,25
13	Pramčani trim tank	0,41	15,7	6,27	0,4	0,25
14	Nadomjesni tank	2,6	5,9	15,6	0,4	1,56
15	Borbeni sustav	2,4	13,5	36,0	2,0	4,8
16	Kruti balast	1,0	10,2	10,2	0,3	0,3
17	Mine priljepci	0,24	10,0	2,4	1,0	0,24
18	Ležeće mine	1,0	13,0	13,0	2,9	2,9
19	Projektna rezerva	1,89	10,2	17,01	1,3	2,46
		$\Sigma = 78,2$		$\Sigma = 797,82$		$\Sigma = 90,24$
POVRŠINSKA VOŽNJA						
20	Ronilice	0,6	13,0	7,80	2,9	1,74
		$\Sigma = 78,8$		$\Sigma = 805,62$		$\Sigma = 91,98$
21	Ležeće mine	1,0	13,0	13,0	2,9	2,9
		$\Sigma = 79,2$		$\Sigma = 810,82$		$\Sigma = 93,14$

## 10.2. RAČUN CENTRACIJE KOD PROMJENE MASE BATERIJA

### 10.2.1. MASE I TEŽIŠTA

a) Slučaj kod težine baterija  $m = 15,0$  [t], za slučaj propulzije prema tablici 7a)

2 baterije  $m_1 = m_2 = 7,5$  [t]

$$x_1 = 8$$
 [m]  $z_1 = 0,4$  [m]

$$x_2 = 12,6$$
 [m]  $z_2 = 0,4$  [m]

Povećanje mase baterije traži smanjenje neke druge težine na podmornica. Pretpostavka je da će se ovo povećanje mase kompenzirati smanjenjem opreme trupa koja je procijenjena na 16%. ↑D.  
Nova težina i težište opreme trupa:

$$m_0 = 12$$
 [t]

$$x_0 = 8$$
 [m]

$$z_0 = 1,3$$
 [m]

Ostali podaci za centraciju su neizmjenjeni prema tablici 11 za podvodnu i površinsku vožnju pa su položaji težišta mase za slučajeve a), b) i c) :

a)  $G = 78,2$  [t]

$$x_G = \frac{798,56}{78,2} = 10,211$$
 [m]

$$z_G = \frac{92,224}{78,2} = 1,179$$
 [m]

b)  $G = 78,8$  [t]

$$x_G = \frac{806,36}{78,8} = 10,231$$
 [m]

$$z_G = \frac{93,964}{78,8} = 1,192$$
 [m]

c)  $G = 79,2$  [t]

$$x_G = \frac{811,56}{79,2} = 10,246$$
 [m]

$$z_G = \frac{95,124}{79,2} = 1,201$$
 [m]

b) Težina baterije  $m = 14,1$  [t] za slučaj propulzije prema tabl. 7b)

Ovdje sam pretpostavio da se, zbog boljeg  $r_0$  vijka, dobiveni manjak težine nadopuni stavljanjem teže baterije pa se njena masa i položaj poklapaju s onim u tablici 11. Prednost u ovom slučaju je u tome što je omogućena veća dužina plovanja i veća brzina podmornice.

## 11. TEŽIŠTE ISTISNINE ZARONJENOG TRUPA

Volumeni i udaljenosti težišta:

- čvrsti trup :  $V_1 = 73,12 \text{ [m}^3\text{]}$  ,  $x_1 = 10,2 \text{ [m]}$  ,  $z_1 = 1,3 \text{ [m]}$
- toranj :  $V_2 = 0,46 \text{ [m}^3\text{]}$  ,  $x_2 = 10,2 \text{ [m]}$  ,  $z_2 = 2,9 \text{ [m]}$
- privjesci :  $V_3 = 2,6 \text{ [m}^3\text{]}$  ,  $x_3 = 10,2 \text{ [m]}$  ,  $z_3 = 2,9 \text{ [m]}$

Položaj težišta istisnine:

$$\sim \text{po dužini} \quad \downarrow X_F = \frac{\sum V_i x_i}{\sum V_i} = \frac{777,036}{76,18} = 10,2 \text{ [m]}$$

$$\sim \text{po visini} \quad \downarrow Z_F = \frac{\sum V_i z_i}{\sum V_i} = \frac{103,93}{76,18} = 1,364 \text{ [m]}$$

## 12. STABILITET

### 12.1. PODVODNI STABILITET

Izkustveni podaci kreću se od  $0,18 \div 0,25 \text{ [m]}$

$$\downarrow \overline{FG} = \downarrow Z_F - Z_G = 1,364 - 1,154 = 0,210 \text{ [m]}$$

$$\downarrow \overline{FG} = 0,210 \text{ [m]}$$

### 12.2. POVRŠINSKI STABILITET

$$\overline{M}_0 G = \overline{M}_0 F - \overline{FG}$$

#### 12.2.1. Proračun gaza u površinskoj vožnji

Pretpostavljeni trim  $t=0$

Poprečni presjeci su pretpostavljeni kao kružni.



$$A_r = R^2 \bar{\pi} - A_0 \sim \text{površina rebra}$$

$A_0 \sim$  površina odsjeka

$$A_0 = \frac{R-a}{15} [12 \cdot b + 8 \sqrt{b^2 + (R-a)^2}]$$

Proračun provodim za gazove  $T = 2,1; 2,3; 2,5$  [m]. Rezultati proračuna su u tablici 12. (Proračun istisnina i momenata tromosti provodi se postupkom numeričke integracije (TABLICA 12))

TABLICA 12

	L [m]	s.k.	T=2,1[m]			T=2,3[m]			T=2,5[m]		
			b [m]	b <sup>3</sup> [m <sup>3</sup> ]	A <sub>r</sub> [m <sup>2</sup> ]	b	b <sup>3</sup>	A <sub>r</sub>	b	b <sup>3</sup>	A <sub>r</sub>
K R M A	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1,16	2	0	0	0,85	0	0	0,85	0	0	0,85
	2,32	1	0,14	0,0027	2,16	0	0	2,18	0	0	2,18
	3,48	2	0,8	0,512	3,59	0,55	0,166	3,644	0	0	4,15
	4,64	1	1,02	1,061	3,88	0,87	0,658	4,55	0,7	0,343	4,73
	5,8	2	1,06	1,191	4,06	0,98	0,941	4,68	0,91	0,753	5,16
	6,96	0,5	1,12	1,405	4,16	1,08	1,26	4,79	1,02	1,061	5,34
Paralelni srednjak			1,12	1,405	4,16	1,08	1,26	4,79	1,02	1,061	5,34
P R A M A C	0	0,5	1,12	1,405	4,16	1,08	1,26	4,79	1,02	1,061	5,34
	0,7583	2	1,12	1,405	4,02	1,06	1,191	4,57	0,94	0,8305	5,14
	1,5166	1	1,08	1,26	3,90	1,01	1,03	4,28	0,87	0,659	4,85
	2,2749	2	1,04	1,125	3,76	0,93	0,804	3,94	0,73	0,389	4,46
	3,0332	1	1,0	1,0	3,43	0,84	0,593	3,64	0,64	0,262	3,98
	3,7915	2	0,26	0,018	2,19	0	0	2,22	0	0	2,22
	4,55	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

istisnina: krmeni dio  $\nabla_k = \frac{2}{3} d \sum (A_r \cdot s_k)$  ,  $d = 1,16$  [m]  
 paralelni srednjak  $A_r \cdot L = \nabla_{ps}$  ,  $L = 8$  [m]  
 pramčani dio  $\nabla_p = \frac{2}{3} d \sum (s_k \cdot A_r)$  ,  $d = 0,7583$  [m]

moment inercije:  
 krmeni dio  $J_{B_1} = \frac{4}{9} d \sum (b^3 \cdot s_k)$   
 paralelni srednjak  $J_{B_2} = \frac{2}{3} L b^3$   
 pramčani dio  $J_{B_3} = \frac{4}{9} d \sum (b^3 \cdot s_k)$

Rezultati proračuna istisnine i momenata inercije za različite gazove T su u tablici 13.

TABLICA 13

$T$ [m]	2,1	2,3	2,5
$\nabla$ [m <sup>3</sup> ]	67,761	75,56	83,21
$J_B$ [m <sup>4</sup> ]	12,5	10,38	8,093

Podaci iz tablice 13 koriste se za crtanje dijagrama  $J_B, \nabla = f(T)$

### 12.2.2. Određivanje metacentarskog radijusa $\overline{M_oF}$

#### a) Podmornica nosi ronilice

$$\nabla = \frac{G}{\rho} = \frac{78,8}{1,026} = 76,803 \text{ [m}^3\text{]}$$

iz dijagrama  $\nabla, J_B = f(T)$  za izračunati  $\nabla$  očita se

$$J_B = 10,14 \text{ [m}^4\text{]}$$

$$T = 2,315 \text{ [m]}$$

$$\overline{M_oF} = \frac{J_B}{\nabla} = \frac{10,14}{76,803} = 0,132 \text{ [m]}$$

#### b) Podmornica nosi ležće mine

$$\nabla = \frac{G}{\rho} = \frac{79,2}{1,026} = 77,19 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\text{iz dijagrama} \rightarrow T = 2,325 \text{ [m]}$$

$$J_B = 9,8 \text{ [m}^4\text{]}$$

$$\overline{M_oF} = J_B / \nabla = 9,8 / 77,19 = 0,127 \text{ [m]}$$

### 12.2.3. Određivanje težišta istisnine $Z_F$

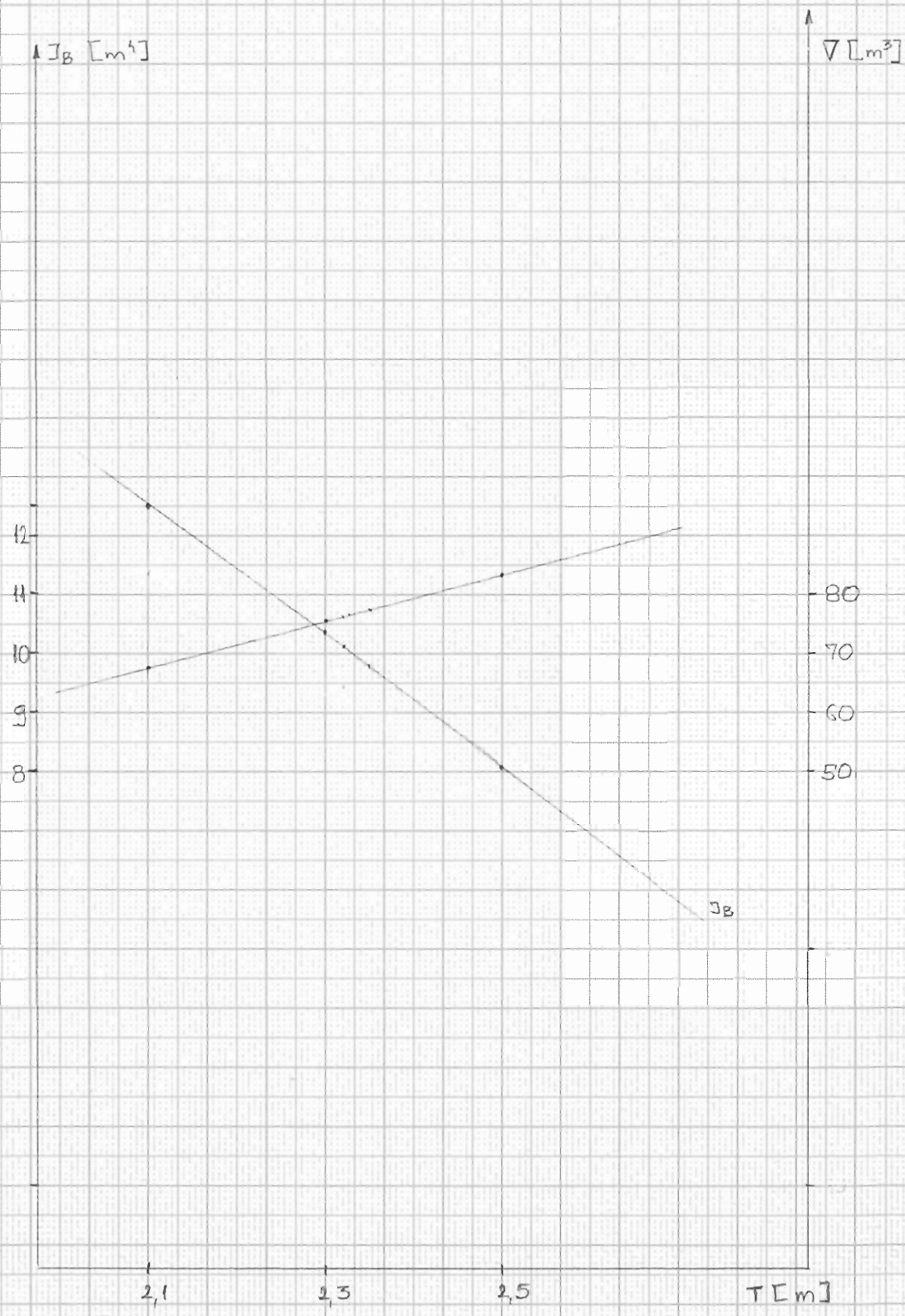
Stanje: trim,  $t=0$

gaz,  $T = 2,325 \text{ [m]}$

m.inercije,  $J_B = 9,8 \text{ [m}^4\text{]}$

vol. istisnine,  $\nabla = 77,19 \text{ [m}^3\text{]}$

DIJAGRAM:  $J_B, \nabla = f(T)$



Svi presjeci se pretpostavljaju kružni.



$$A_0 = \frac{R-a}{15} [12b + 8\sqrt{b^2 + (R-a)^2}] \sim \text{površina odsječka}$$

$$t = R + \frac{2}{3} R \frac{\sin^3 \alpha}{2 - \sin \alpha \cdot \cos \alpha} \sim \text{težište odsječka}$$

$$A_r = R^2 \pi - A_0 \sim \text{površina rebra}$$

$$Z_r' = \frac{R^2 \pi \cdot R - A_0 \cdot t}{A_r}$$

$$Z_r = Z_r' + u \sim \text{težište pop presjeka rebra}$$

Proračun je u tablici 14.

TABLICA 14

L [m]	s.k.	R [m]	u [m]	b [m]	a [m]	A <sub>0</sub>	A <sub>r</sub> [m <sup>2</sup> ]	t <sub>0</sub>	Z <sub>r</sub>	A <sub>r</sub> · Z <sub>r</sub> (s.k.)
0	0,5	0	1,4	/	/	/	0,0	/	1,3	0,0
1,97	2	0,73	0,46	/	/	/	1,674	/	1,271	4,255
3,94	1	1,12	0,14	0,4	1,025	0,0403	3,76		1,259	4,733
5,91	2	1,3	/	0,8	1,025	0,1901	5,0		1,234	12,3
7,88	1	1,3	/	"	"	"	"		"	6,17
3,85	2	1,3	/	"	"	"	"		"	12,3
11,82	1	1,3	/	"	"	"	"		"	6,17
13,79	2	1,3	/	"	"	"	"		"	12,3
15,76	1	1,3	/	0,8	1,025	0,1901	5,0		1,234	6,17
17,73	2	1,05	0,15	0,351	1,025	0,012	3,45		1,239	8,55
18,385	0,5	1,00	0,25	0,00	1,025	/	3,14	/	1,3	2,04
19,043	1	0,87	0,42	/	/	/	2,378	/	1,3	3,01
19,7	0,25	0	1,4	/	/	/	/	/	/	/

$$\Sigma A_r \cdot Z_r \cdot (s.k.) = 76,07$$

$$Z_r = \frac{\frac{2}{3} d \Sigma}{\nabla} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 1,97 \cdot 76,07}{77,19} = 1,294 \text{ [m]}$$

$$\overline{FG} = Z_G - Z_r = 1,154 - 1,294 = -0,14 \text{ [m]}$$

$z_G$  ~ težište masa (točka 10.2.)

$$\overline{M_0 G} = \overline{M_0 F} - \overline{F G} = 0,132 - (-0,14) = 0,272 \text{ [m]}$$

Vrijednosti  $\overline{M_0 G}$  se kreću od  $20 \div 30$  [cm] za moderne podmornice.

### 13. TEHNIČKI OPIS PODMORNICE

#### 13.1. Konceptija podmornice

Podmornica je namijenjena za izvođenje diverzantskih i izviđačkih zadataka.

##### 13.1.1. Podjela na prostore

~ pramčani prostor : ~ upravljačko-komandni uređaji  
- navigacijski uređaji  
- osmatrački -11-  
- diverzanti i oprema  
- zalihe

~ izlazna komora u središnjem dijelu  
~ krmni dio : - propulzijski sustav  
- energetski -11-  
- ventilacija i klimatizacija  
- prijenosni kemijski wc

Upravljanje nad podmornicom vrše 2 poslužioaca. Pomoćni strojevi i uređaji poslužuju se povremeno, a borbeni sustav samo u stanju pune pripravnosti.

#### 13.2. Taktičko-tehnički podaci

##### 13.2.1. Dimenzije

-  $L_{0A}$  = 19,7 [m]  
-  $L_{\check{C}T}$  = 14,8 [m]  
-  $B$  = 2,6 [m]  
-  $T$  = 2,325 [m]  
↑  $D$  = 78,2 [t]  
↓  $D$  = 87,0 [t]



### 13.2.2. Dubina ronjenja, brzine i akcioni radijus

- maksimalna dubina  $h_m = 120$  [m]

- periskopska -11-  $h_p = 5$  [m]

- maksimalna brzina  $v_m = 8$  [čv.] u trajanju 5 sati

- duljina plovljenja  $L = 120$  [NM] kod 4 [čv.]

### 13.2.3. Autonomija

Autonomija na bazi zaliha hrane i vode u trajanju 7 dana. Regenerativna tvar za 7 dana.

### 13.2.4. Naoružanje

Podmornica nosi 4 diverzanta i 8 mina priljepaka. Pored toga nosi 2 mokre ronilice dimenzija:

$$L_r = 4$$
 [m]

$$\phi = 0,533$$
 [m]

ili, alternativno umjesto ronilica, nosi 2 mine dimenzija

$$L_m = 3,2$$
 [m]

$$\phi = 0,533$$
 [m]

Ronilice su teške 300 [kg] svaka i u vodi im je težina izjednačena s uzgonom. Mine su teške 1 [t] svaka i imaju višak težine nad uzgonom od 0,5 [t].

### 13.3. Pogon podmornice

- pogonski stroj je istosmjerni - prisilno komutirani - elektromotor snage 55 [kW].

- motor se napaja strujom iz baterija preko impulsnog pretvarača za napajanje s tiristorskom regulacijom napona za kontinuiranu regulaciju okretaja motora.

Baterija se sastoji iz 2 dijela svaki mase 7,27 [t], svaka baterija ima 64 članka.

Podaci o člancima: - napon  $U_0 = 2,04$  [V]

- dimenzije  $L = 0,2$  [m]

$b = 3,4$  [m]

$h = 5,57$  [m]

Oprema za kontrolu i nadzor baterije smještena je u ormaru za nadzor, a najvažniji parametri prikazuju se i na panelu propulzije na zapovjedničko - upravljačkom pultu.

#### 13.4. Brodski sustavi i oprema

Sustav drenaže i uravnoteženja sastoji se od pumpi i pripadne armature i cjevovoda. Upravlja se automatski i daljinski preko trim pulta.

Postoji i rezervno ručno upravljanje na svakom ventilu.

Hidraulički sustav: - centrala  
- vodovi

Centrala obuhvaća tank ulja, pumpu, agregat, kontrolnu i regulacionu opremu.

Hidraulički se pogone : - kormila  
- hidroplani  
- periskop, PEL  
- ventilaciju  
- vitlo  
- vrata izlazne komore  
- poklopac -11-

Kormilarenje se vrši daljinski, a može i ručno.

Sustav komprimiranog zraka:

- kompresor,  $p=250$  [bar]
- boce zraka,  $V=40$  [litora]
- cjevovodi
- visokotlačna grana za pirenje glavnih tankova i reglera
- niskotlačna grana zraka za opće brodske službe
- spremnici filtriranog zraka za brodski respiratorni sustav i punjenje ronilačkih uređaja

Ventilacijski sustav:

- klima uređaj
- ventilator baterija
- vodovi i armatura

### Rasvjeta :

- opća rasvjeta napaja se direktno iz baterija
- rasvjeta radnih mjesta preko žarulja s napajanjem iz brodske mreže
- rasvjeta za nuždu pomoću prenosivih lampi s vlastitim akumulatorom

### Oprema za sigurnost i spašavanje:

- sredstva za otklanjanje kvarova
- protupožarna sredstva
- osobna sredstva za RKB detekciju i zaštitu
- oprema za individualno spašavanje
- gumeni splav
- radio telefonska plutača
- priključci za dodavanje zraka
- uške za dizanje podmornice

### Magnetska zamjetljivost:

- sustav elektromagnetskih zavojnica postavljenih po trupu služi da narine suprotno magnetsko polje i tako poništi vlastito magnetsko polje podmornice

### Temeljenje:

- temelji se u svrhu zaštite od šokova, podvodnih eksplozija; prigušenja buke
- svi strojevi i uređaji temelje se gumenim elastičnim elementima

### Zapovjedničko - upravljački uređaji:

- navigacijsko-osmatrački:
  - žirokompas
  - brzinomjer
  - manometarski dubinomjer
  - hidroakustički dubinomjer
  - PEL za osmatranje u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini s uređajem za generiranje sintetičke slike dometa 500 [m]
  - periskop
  - PEG

### Uredaji veze:

- radio primopredajnik
- radiotelefon
- podvodni telefon
- telefon za unutrašnju brodsku vezu

### Uredaji signalizacije i alarma:

- signalizacija ronjenja
- stanje plavnika i odušnika tankova signalizira se na trim pultu
- alarm prodora vode
- alarm požara
- alarm pojave vodika

### Propulzija u površinskoj vožnji

Proračun otpora i propulzije u površinskoj vožnji se ne provodi jer podmornica vozi na površini samo u krajnjoj nuždi. U principu se može uzeti da je površinska brzina do 30% manja od podvodne.