



# Fizika veslanja

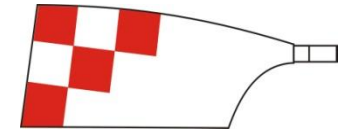
## Osnovni pojmovi

Izvori:

1. Anu Dudhia ,Oxford University, Atmospheric, Oceanic and Planetary Physics
  2. Valery Kleshnev, Biorow – Rowing Biomechanics Newsletter (RBN)
  3. Chris Pulman, The Physics of Rowing,, University of Cambridge,
  4. Thor S. Nilsen, Basic Rowing Technique, FISA
- Prijevod i obrada: Goran Nuskern, dipl. ing. HVS, siječanj 2011.

# Sila i moment

---



- ▶ Sila je svaki utjecaj koji pokreće tijelo, mijenja mu smjer ili ga deformira.

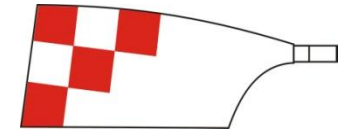
$$F = m \times \vec{a}$$

- ▶ Jedinica za silu je 1 Newton.
  - ▶  $N = \text{kg} \times \text{m} \times \text{s}^{-2}$
- ▶ Moment je djelovanje sile na nekoj udaljenosti od oslonca koje nastoji zakrenuti ili deformirati tijelo.
  - ▶ Jedinica za moment je 1 Joule.
    - ▶  $J = N \times m = \text{kg} \times \text{m}^2 \times \text{s}^{-2}$
- ▶ Ne smije se miješati pojam momenta i količine gibanja (eng. momentum).



# Rad i snaga

---



- ▶ Rad je djelovanje sile na putu.

$$W = \vec{F} \times \vec{s}$$

- ▶ Jedinica za rad je 1 Joule.
  - ▶  $J = N \times m = kg \times m^2 / s^2$

- ▶ Snaga je rad obavljen u vremenu.

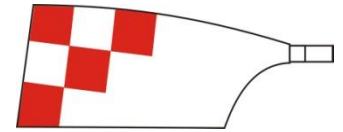
$$P = W/t$$

- ▶ Jedinica za snagu je 1 Watt.
  - ▶  $W = N \times m \times s^{-1} = kg \times m^2 \times s^{-3}$



# 1. Poriv (propulzija)

---

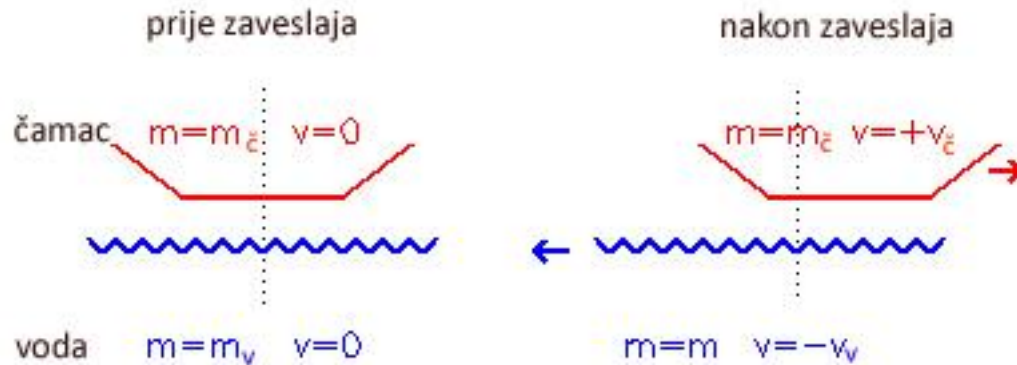
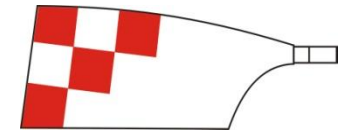


- ▶ Sila s nogara se preko trupa i vesla prenosi na vodu, te se masa ubrzava.





# 1. Poriv (propulzija)

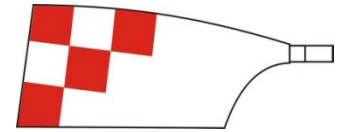


- ▶ Na primjer, ako masa čamca i posade  $m_č = 100$  kg (samac) ubrza do  $v_č = 1$  m/s, treba ubrzati  $m_v = 10$  kg vode do  $v_č = 10$  m/s, ili  $m_v = 20$  kg vode do  $v_č = 5$  m/s.
- ▶ Moguća je bilo koja kombinacija  $m_v$  i  $v_v$  koja daje produkt  $m_v v_v = m_č v_č = 100$  kg m/s.



# 1. Poriv (propulzija)

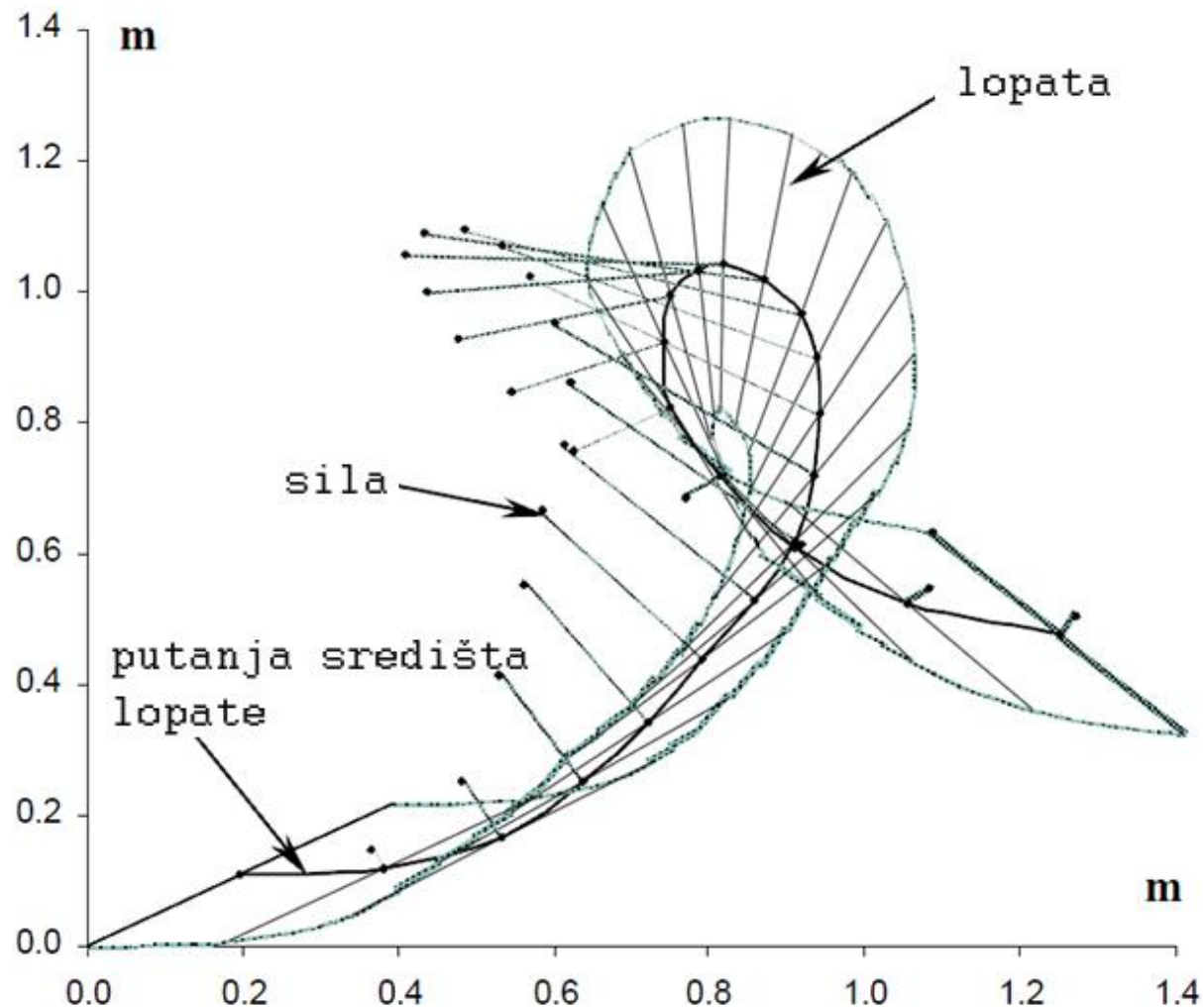
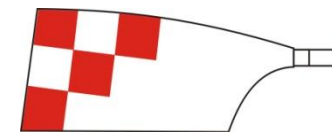
---



- ▶ Za vrijeme zaveslaja (kada se čamac već kreće) to kretanje vode prema natrag, koje gura čamac naprijed je manje uočljivo. Čini se da su vesla u zahvatu „zakačila“ vodu. Pogleda li se vir nakon vađenja vesla iz vode, vidi se da se voda pomakla.
- ▶ Da bi se čamac ubrzao mora postojati propadanje vesla, ali ono mora biti što manje.



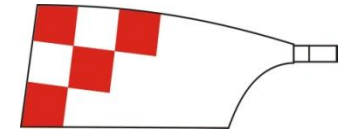
# 1. Poriv (propulzija)



Dijagram položaja  
lopate i sila na lopati

# 1. Poriv (propulzija)

---



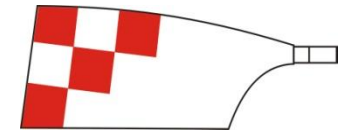
- ▶ U zahvatu i kraju zaveslaja veća je djelotvornost potiska lopate vesla zbog hidrodinamičkog utjecaja (hydro lift).
  - ▶ Propulsive efficiency of rowing, Valery Kleshnev, Australian Institute of Sport.
- ▶ U sredini zaveslaja prevladava potisak uslijed sila na lopati vesla.
- ▶ Točan udio hidrodinamičkog utjecaja još nije izmjeren.



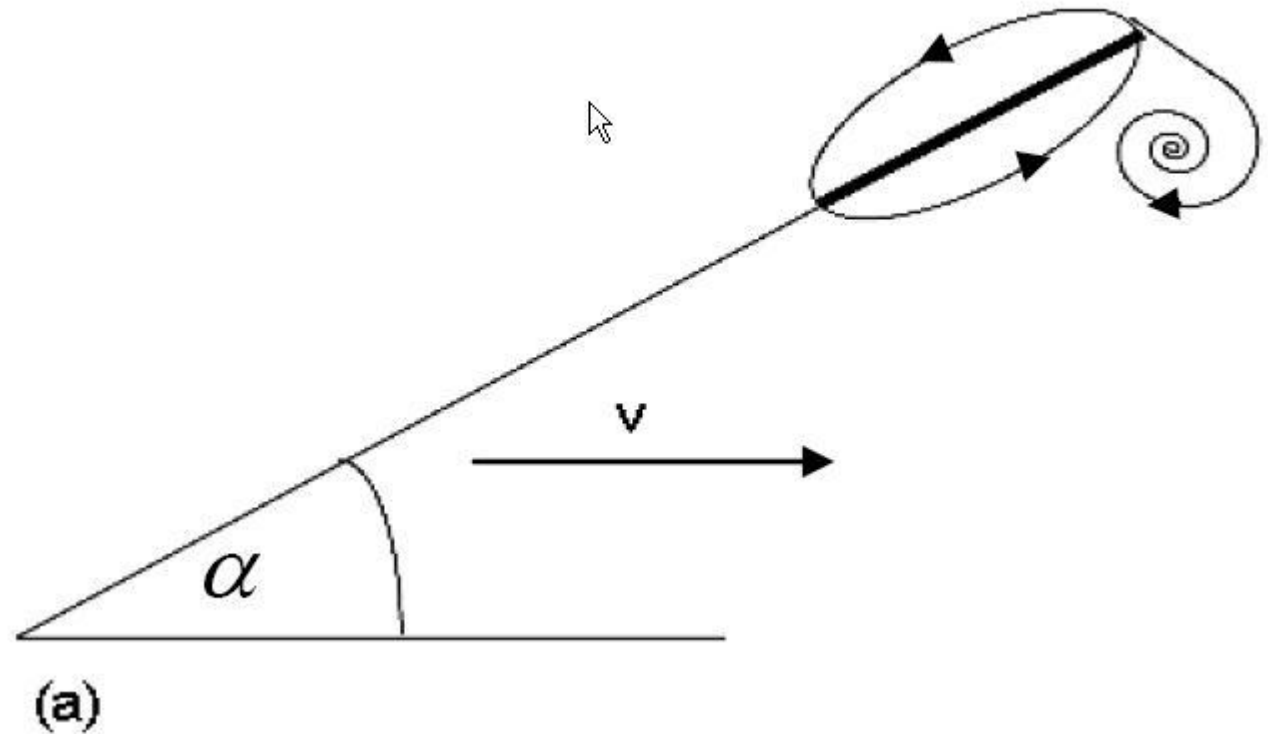


# 1. Poriv (propulzija)

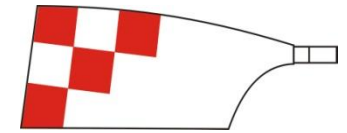
---



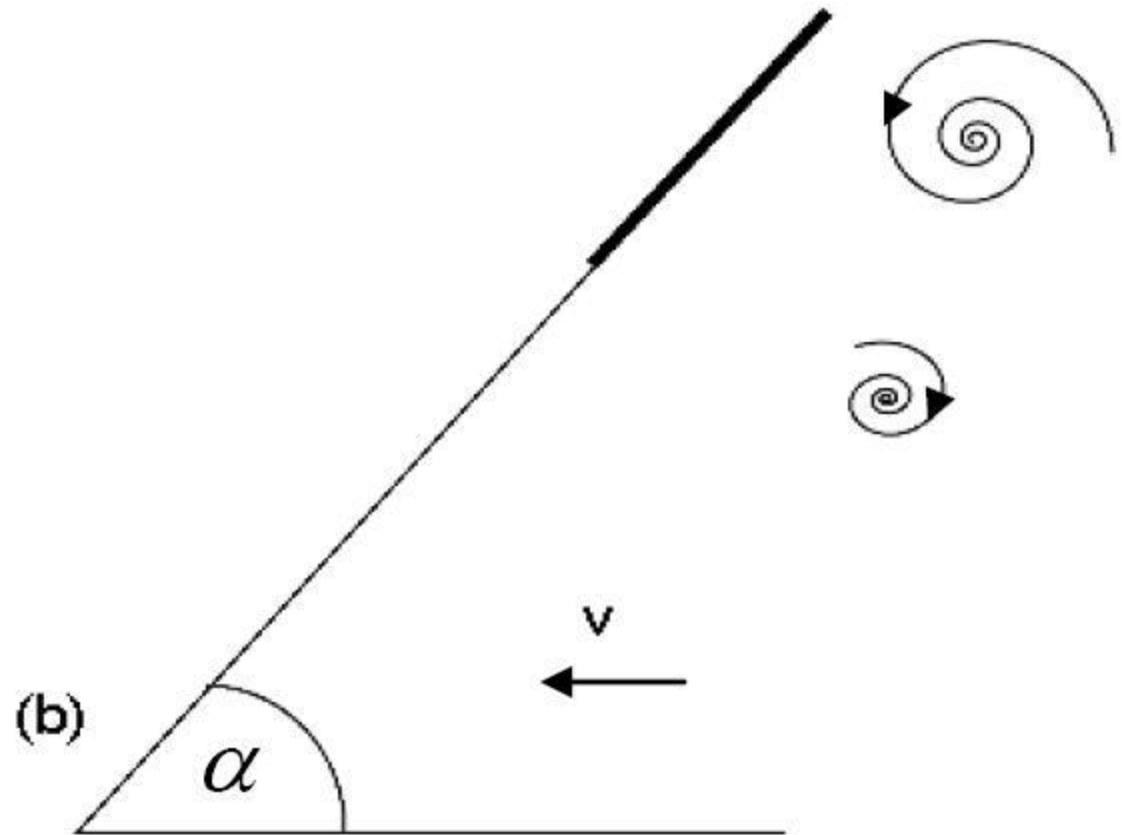
- ▶ Prevladavajuće hidrodinamičko djelovanje



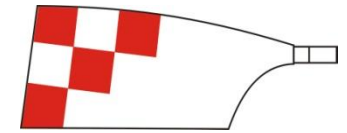
# 1. Poriv (propulzija)



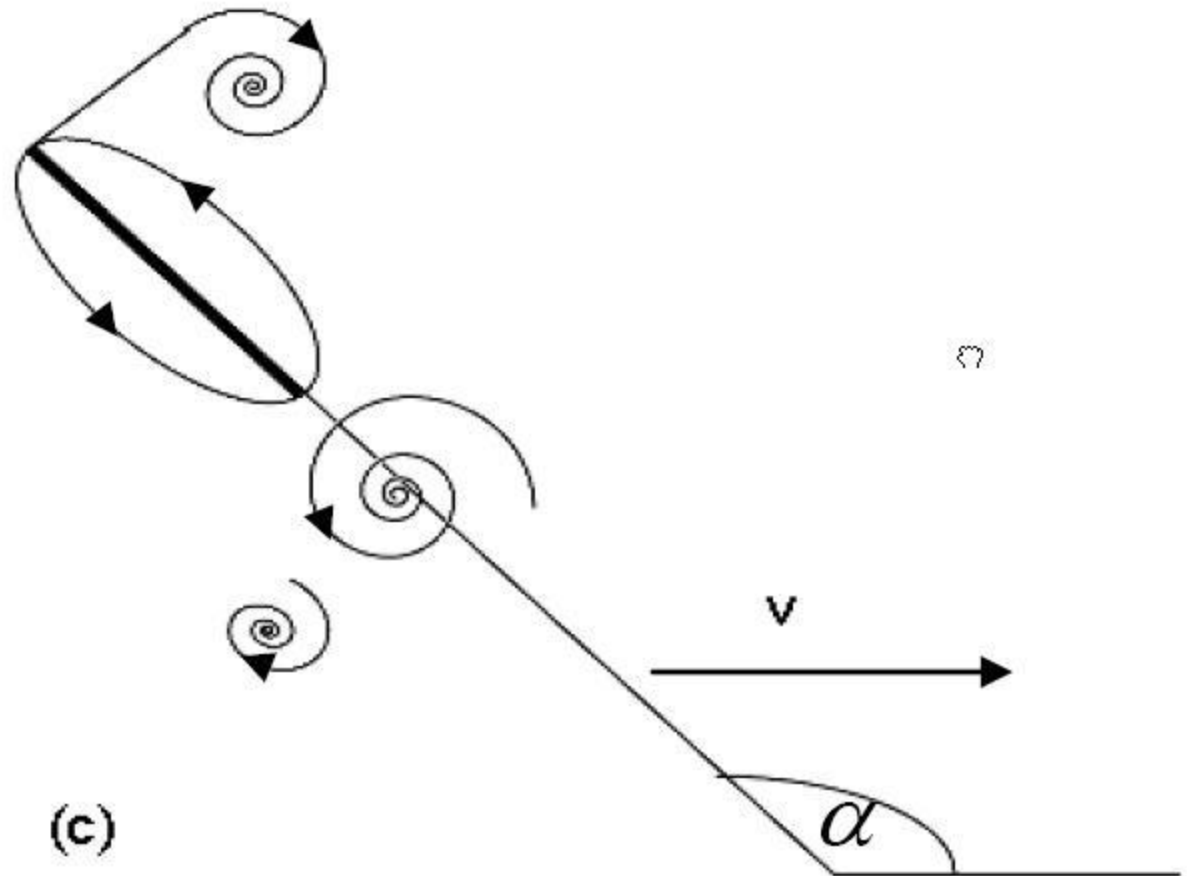
- ▶ Počinje prevladavajuće djelovanje sile na lopati koja potiskuje vodu



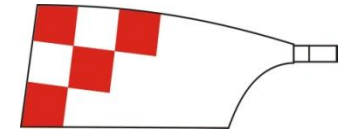
# 1. Poriv (propulzija)



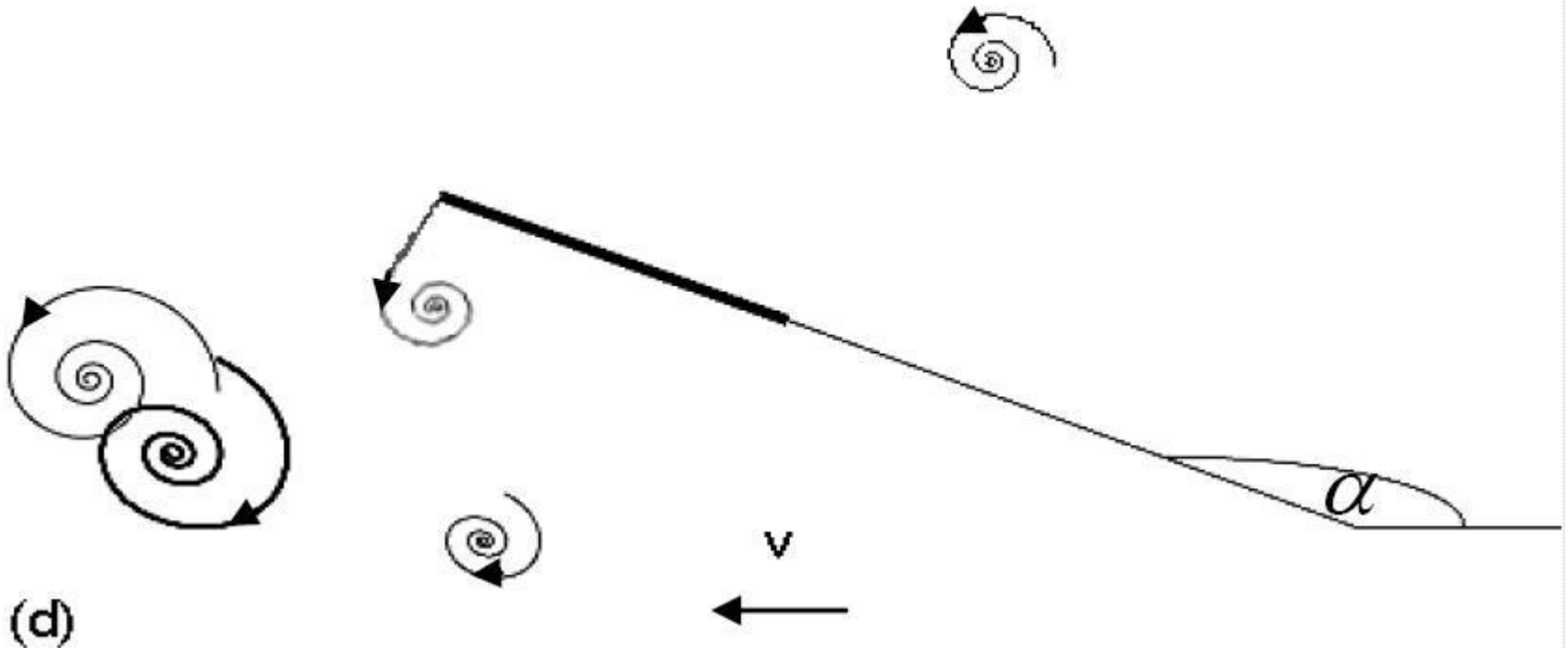
- ▶ Ponovno pojavljivanje hidrodinamičkog djelovanja



# 1. Poriv (propulzija)



- ▶ Predug zaveslaj u kraju nije djelotvoran:
  - ▶ ruke su preslabe i ne mogu održati potisak nogu i trupa i
  - ▶ nema više hidrodinamičkog djelovanja.



# 1. Poriv (propulzija) - povećanje poriva

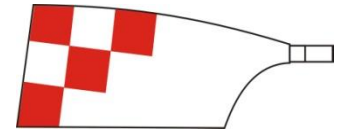
---

- ▶ odabirom veće površine lopate,
- ▶ težim prijenosom,
- ▶ iskorištenjem “hidrolift” djelovanja primjenom veće sile na početku zaveslaja pri oštrom kutu vesla,
- ▶ držanjem lopate vesla na optimalnoj dubini ispod vode pod kutom 4 - 6 stupnjeva.



## 2. Otpor (Drag)

---

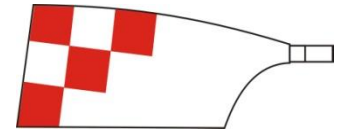


- ▶ Tijela se krećući kroz fluide polako usporavaju zbog sila otpora (**drag**). Otpor predstavlja prijenos impulsa sile s tijela na fluid.
- ▶ Kod kretanja čamca javlja se više otpora:
  - ▶ **otpora površine (Skin Drag)**, zbog trenja vodom oplakivanog dijela trupa čamca (~ 80%);
  - ▶ **otpor oblika (Form Drag)**, zbog turbulencije koju stvara prolaz trupa kroz vodu;
  - ▶ **otpor vala (Wave Drag)**, zbog gubitka energije na pravljenje valova.





## 2. Otpor (Drag) vode



- ▶ Otpor površine je proporcionalan kvadratu brzine. Pretpostavimo li da otpor površine prevladava, ukupan **otpor**  $R$  može se napisati kao:

$$R = a \cdot v^2, \quad (2.1) .$$

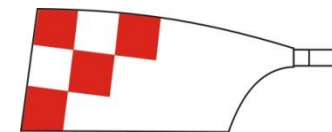
- ▶ To znači da, ako se želi udvostručiti brzina čamca, treba uložiti  $2^3 = 8$  puta više snage.
- ▶ Ili, udvostruči li se snaga, brzina se poveća samo 1.26 ( $=2^{1/3}$ ) puta.

*Zbog toga se veslajući punom snagom zaveslaja, teže nego što se očekuje, prestiže posada koja vesla s pola snage.*

*Najveći utjecaj na brzinu ima stanje oplakivane površine čamca, a ne masa čamca.*

## 2. Otpor zraka

---



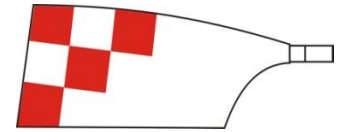
Zrak utječe na sličan način (i zrak je fluid). Utjecaj otpora zraka koji miruje je samo nekoliko postotaka otpora vode.

- ▶ Brzina zraka se može više mijenjati, te utjecaj zraka pri jakom vjetru u pramac može biti i desetke postotaka ukupnog otpora.
- ▶ Pri otporu zraka utjecaj oblika je značajan (tijela veslača, vesla, čamac s izbočnicima).
- ▶ Bitno je okretanje vesla:
  - ▶ brzina vesla je oko 15 m/s ili 50 km/h, a otpor raste s kvadratom brzine (Filter K. B. 2009.)



# 3. Kinetička energija

---



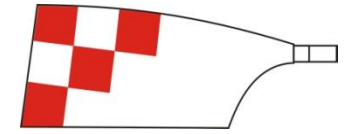
- ▶ Ukupna **kinetička energija**  $E_k$  ( $= \frac{1}{2} \times \text{masa} \times \text{brzina}^2$ ) koja ostaje u sustavu nakon zaveslaja:

$$E_k = \frac{1}{2}m_{\check{c}}v_{\check{c}}^2 + \frac{1}{2}m_v v_v^2, (3.1)$$



# 3. Kinetička energija

---



- ▶ Tada dva prethodna primjera daju različite rezultate.

Ako je  $m_v = 10$  kg i  $v_v = 10$  m/s,

$$E_k = 0,5 \times 100 \times 1^2 + 0,5 \times 10 \times 10^2 = 50 + 500 = \mathbf{550\ J}, (3.2)$$

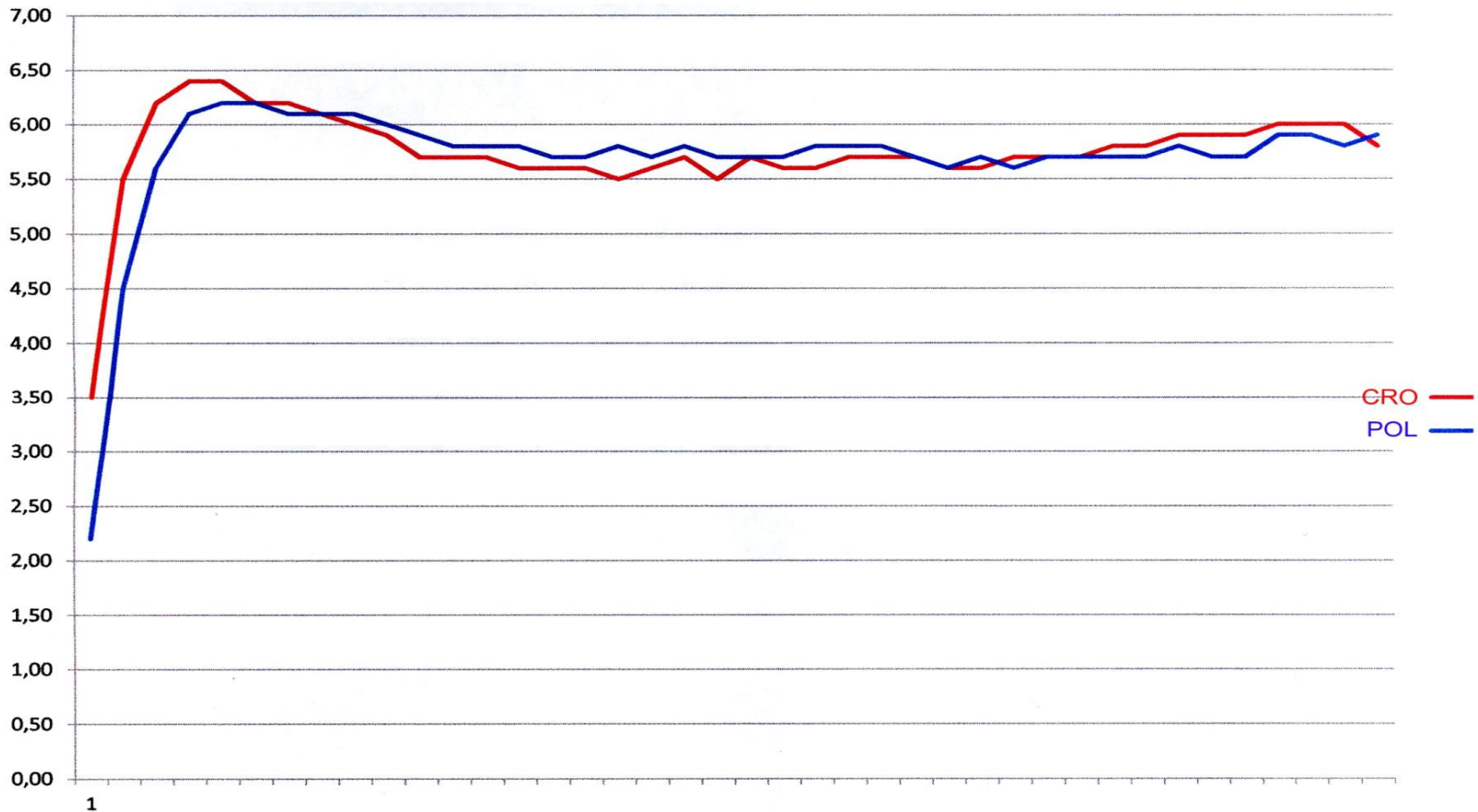
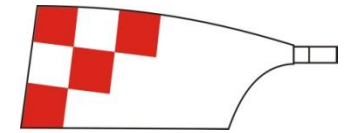
Ali ako je  $m_v = 20$  kg and  $v_v = 5$  m/s,

$$E_k = 0,5 \times 100 \times 1^2 + 0,5 \times 20 \times 5^2 = 50 + 250 = \mathbf{300\ J}, (3.3)$$

- ▶ To je osnovni razlog u korist odabira veličine lopate vesla po načelu „veće je bolje“, te zadržavanja dubine vesla do kraja provlaka.
- ▶ To je i jedan od razloga zašto je skul čamac s istim brojem veslača brži od rimen čamca (ukupno veća površina lopata).



# 3. Kinetička energija

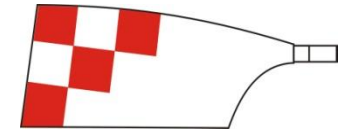


- ▶ Ravnomjerna raspodjela brzine je sa stanovišta mehanike najdjelotvorniji način veslanja. Nepotrebno povećanje brzine zahtjeva veliku snagu.



## 4. Centar masa

---



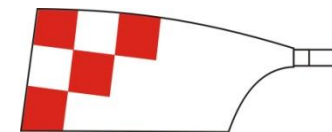
- ▶ Veslački čamac nije jedno kruto tijelo – sastoji se od tri odvojena dijela:
    - ▶ posade, 70-80% ukupne mase;
    - ▶ trupa čamca (s kormilarom), 20-30% ukupne mase;
    - ▶ vesala, manje od 5% ukupne mase, i za sada će se zanemariti.
  - ▶ **Centar masa (CM)** cijelog sustava je prosjek položaja centara masa njegovih dijelova.
  - ▶ centar mase sustava ne može promijeniti svoju količinu gibanja (ili brzinu) sve dok na njega ne djeluje vanjska sila (ponovo I. Newton-ov zakon).
- 





## 4. Centar masa

---



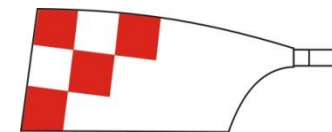
### ▶ PRIMJER 4X:

- ▶ Ukupna masa veslača            375 kg, (85,4%)
- ▶ Masa čamca                        52 kg, (11,8 %)
- ▶ Masa vesala:  $8 \times 1,4 \text{ kg} =$     12 kg, (2,8 %)
- ▶ Ukupno                                439 kg



## 4. Centar masa

---



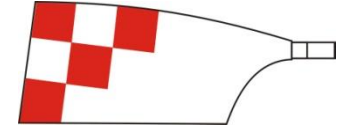
Kada se posada pokrene prema kormi brzinom  $-v_p$  s obzirom na brzinu  $v_t$ , da bi se očuvala količina gibanja, čamac se mora pokrenuti naprijed drugom relativnom brzinom čamca  $v_{\check{c}}$ :

$$m_p v_t + m_{\check{c}} v_t = m_p (v_t - v_p) + m_{\check{c}} (v_t + v_{\check{c}}), \quad (4.1) \quad \text{ili}$$

$$m_p v_p = m_{\check{c}} v_{\check{c}}, \quad (4.2)$$

## 4. Centar masa i kinetička energija

---

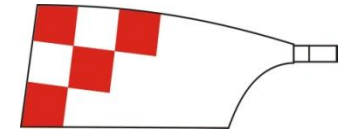


1. provlak mora biti naglašen, što jači, jer se samo za vrijeme provlaka povećava brzina sustava;
2. za vrijeme provlaka treba se usredotočiti na ubrzanje mase veslača, jer je ona najveći akumulator kinetičke energije;
3. ukupna količina energije koja se akumulira za vrijeme provlaka određuje srednju brzinu sustava;
4. sila na nogaru mora biti naglašena jer jedino ona ubrzava centar mase veslača;
5. u povratku po zaveslaj kinetička energija CM veslača predaje se CM čamca, te on ubrzava.



## 4. Utjecaj dodatne mase

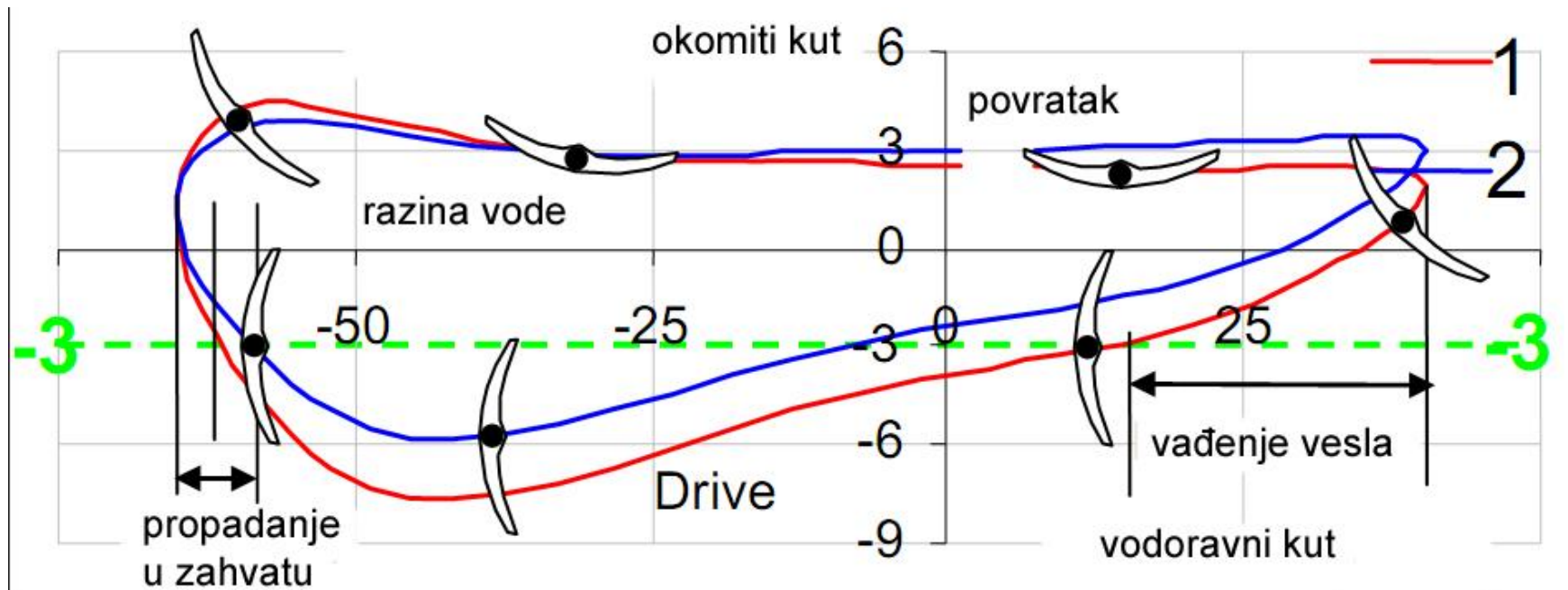
---



- ▶ Tri su komponente dodatnog tereta koje utječu na brzinu:
  - ▶ veći otpor zbog veće mase i veće količine istisnute vode (veća oplakivana površina, veći otpor oblika, veći val) (-0,061%);
  - ▶ veći inercijski gubici pri kretanju centara masa koje pokreće veslač (-0,240 %);
  - ▶ manji gubici energije zbog manjih promjena brzine čamca (veća inercija – veća količina gibanja) (+0,110%).
- ▶ Ukupna promjena brzine povećanjem mase sustava za 1 kg je -0,191 % (RBN February 2009)
  - ▶ Veća (nepotrebna) masa veslača proizvodi više štete zbog većeg utjecaja inercijskih gubitaka, a veća masa čamca manje utječe zbog pozitivnog utjecaja manjih promjena brzine čamca.



# 5. Kretanje lopate vesla



# 5. Kretanje lopate vesla

