

# TEMPO POVEIKIS KETURVIEČIŲ VALČIŲ IRKLAVIMO VEIKSMINGUMUI

Algirdas Bingelis, Kazimieras Pukėnas, Sigita-Marija Zdanavičienė  
Lietuvos kūno kultūros akademija, Kaunas, Lietuva

**Algirdas Bingelis.** Docentas technikos mokslų daktaras. Informatikos ir kalbų katedros docentas. Mokslinių tyrimų kryptis — žmogaus judesių ir fizinių gebėjimų biomechanika.

## SANTRAUKA

*Keturviečių akademinių valčių tyrimas siejamas su ankstesniais autorių darbais, skirtais vienviečių ir dviviečių valčių irklavimo ekonomiškumo, lemiamo vertikalios supimo, matematiniam modeliavimui. Literatūroje nesutinkama laisvojo vertikalios supimo, kurį sukelia vertikalūs jėgos impulsai į sėdynėlę kiekvieno yrio metu, poveikio analizės duomenų. Gešantis laisvas vertikalios supimas lemia vidutinį grimzlės prieaugį, kartu ir drėkinamo valtės paviršiaus ploto dydį, dėl to didėja valtės grimzlės prieaugis greitėjant irklavimo tempui, didėja vandens pasipriešinimo jėga.*

*Tyrimo tikslas — apskaičiuoti įvairių modelių (siauresnių — 8650 ir platesnių — 8750) keturviečių (4x/-) valčių irklavimo veiksmingumo rodiklius, lemiamus valtės komplekso laisvojo vertikalios supimo, ir nustatyti jų priklausomybę nuo kai kurių valtės korpuso parametrų ir irklotojų vertikalios poveikio į sėdynėlę stiprumo esant skirtingam irklavimo tempui. Iš teorinių brėžinių nustatyti realių akademinių valčių parametrai, reikalingi irklavimo veiksmingumui apskaičiuoti. Matematinio modeliavimo metodu apskaičiuotas laisvojo vertikalios supimo sukeltas grimzlės prieaugis ir nustatytas irklavimo veiksmingumo kitimo priklausomumas nuo irklavimo tempo, valtės komplekso masės ir vertikalios supimo stiprumo.*

*Analizuojant gautus duomenis nustatyta, kad vertikalios supimo koeficientas mažai priklauso nuo komplekso masės. 8750 modelio valtės, kurios drėkinamo paviršiaus plotas yra didesnis nei 8650 modelio valtės, vandens pasipriešinimo jėga, proporcingai drėkinamo ploto dydžiui, yra 4,5% mažesnė. Vidutinės grimzlės prieaugio didžiausia teigiama reikšmė (blogiausios sąlygos) didesnė 8650 modelio valčiai. Didėjant irklavimo tempui iki 44,5 ir 47 yrių per minutę (atitinkamai 8750 ir 8650 modelio valtims), grimzlės prieaugio reikšmės pasidaro lygios nuliui. Tempui toliau didėjant, vidutinės grimzlės prieaugio reikšmės pasidaro neigiamos, ir tai gerina traukio sąlygas. Tolsnis tempo didinimas veiksmingesnis 8650 modelio valčiai. Duomenys apie vidutinį grimzlės prieaugį traukio metu (nepriklausomai nuo tempo) sudaro prielaidas paveikiau atlikti traukį. Žinant apie vidutinės grimzlės prieaugio kitimą, galima rinktis tokias tempo reikšmes, kai vidutinė grimzlė yra mažesnė. Galima teigti, kad laisvasis vertikalios supimas lemia irklavimo veiksmingumo kitimą, priklausomą nuo tempo. Tai tikslinga vertinti analizuojant veiksnius, lemiančius didelio meistriškumo irklotojų irklavimo techniką.*

**Raktažodžiai:** vertikalios supimas, irklavimo veiksmingumas, tempas.

## IVADAS

**A**nkstesnieji autorių darbai susieti su vienviečių ir dviviečių akademinių valčių irklavimo ekonomiškumo, lemiamo vertikalios supimo, matematinio modeliavimo. Keturviečių valčių tyrimas siejamas su analogišku dar vienos valčių klasės irklavimo ekonomiškumo (veiksmingumo) vertinimu.

Teoriniam akademinio irklavimo proceso matematiniam modeliavimui, biomechaninių, fiziologinių ir fizikinių veiksnių analizei skirta nema-

žai darbų (Lazauskas, 1997; Abrahamsen, 2001; Baudouin, Hawkins, 2002 ir kt.). Tačiau šių darbų autoriai apsiriboja pagrindinių biomechaninių bei fiziologinių veiksnių, lemiančių irklavimo veiksmingumą, analize. Keturvietėms valtims skirtas matematinis modelis (Abrahamsen, 2001) yra per daug ribotas net esant didelei šios klasės valčių įvairovei. Nagrinėjant valčių įvairovę nepateiktas keturvietės pavyzdys (Lazauskas, 1998). Modeliuojant irklavimo procesą sunku įvertinti visus veiksnius, todėl

atmetami mažiau turintys įtakos. Vertinant pagrindines veikiančias jėgas atmetamos vertikalčiai veikiančios jėgos teigiant, kad jos gali turėti nedidelį poveikį. Tai poveikiai, susiję su vertikalčiai valtės judesiais. Tyrėjai (Baudouin, Hawkins, 2002) teigia, kad vertikalus supimas irklavimo veiksmingumui didelio poveikio neturi, nes priverstinis vertikalus supimas, susijęs su irklavimo tempu, nekeičia vidutinės grimzlės dydžio.

Tyrėjas V. Kleshnev (1999), apdorodamas irklautojų testavimo rezultatus, nustatė, kad irklavimo veiksmingumas mažėja didėjant tempui. Irklavimo (valtės) veiksmingumas nusakomas traukio galingumo ir vandens pasipriešinimo galingumo santykiu. Didėjant tempui, vandens pasipriešinimas didėja. Tikro teorinio paaiškinimo nepateikiama. V. Kleshnev (2006) kreipia ypatingą dėmesį į didelio meistriškumo irklautojų, aukšto rango varžybų prizininkų, rezultatų skirtumus, todėl nagrinėja veiksnius, turinčius vienetų ar procentų dalių poveikį. Veiksmingumo mažėjimą jis taip pat aiškina bangų pasipriešinimo kitimu, esant kiliniam valtės supimui tempo dažniui.

Literatūroje nesutinkama užuominų apie laisvojo vertikalus supimo egzistavimą. Išorinis supimo vaizdas nublanksta prieš išspūdingus irklautojų judesius, todėl pastebėti jį sunku. Laisvojo vertikalus supimo reiškinį A. Bingelis ir J. Daniševičius (1994) pastebėjo nagrinėdami kitų autorių užregistruotą priverstinį kilinį valčių supimą. Jį sukelia valtį veikiančios vertikalūs jėgos impulsai į sėdynėlę kiekvieno yrio metu. Gęstantis laisvasis vertikalus supimas lemia vidutinį grimzlės prieaugį, tuo pačiu drėkinamo valtės paviršiaus ploto dydį. Didėjant tempui, grimzlės prieaugis didėja, todėl didėja vandens pasipriešinimo jėga.

Rungtyniaujant didelio meistriškumo lygiaverčiams varžovams, pergale gali lemti sekundės dalys, todėl tikslinga įvertinti visus irklavimo procesą lemiančius veiksnius, ne tik pagrindinius.

**Tyrimo tikslas** — apskaičiuoti akademinį keturviečių (4x/-) įvairių modelių valčių irklavimo veiksmingumo rodiklius, lemiamus valtės komplekso laisvojo vertikalus supimo, nustatyti veiksmingumo rodiklių priklausomybę nuo kai kurių valtės korpuso parametrų ir irklautojų vertikalus poveikio į sėdynėlę stiprumo, palyginti tarpusavyje valtį ir jų galimybes, pateikti rekomendacijas irklavimo veiksmingumui didinti.

Tyrimo metu sprendžiami uždaviniai:

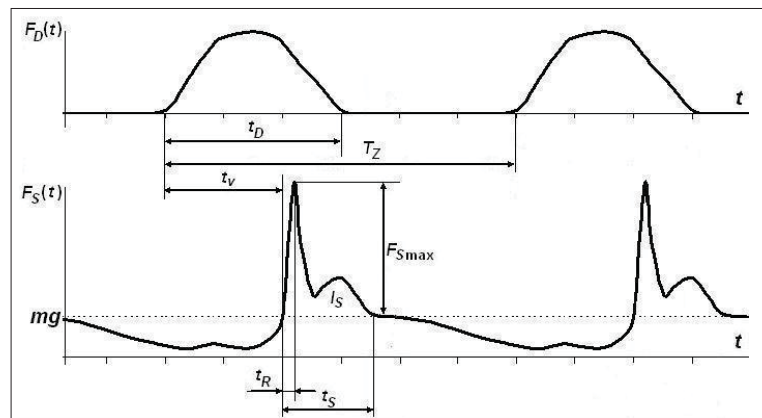
- Iš teorinių brėžinių nustatyti realių akademinį keturviečių valčių parametrus, reikalingus irklavimo veiksmingumui apskaičiuoti.
- Matematinio modeliavimo metodu pagal valčių kompleksų ir irklautojų duomenis apskaičiuoti laisvojo vertikalus supimo sukeltą grimzlės prieaugį.
- Iš vandens pasipriešinimo prieaugio rodiklių nustatyti irklavimo veiksmingumo kitimo priklausomumą nuo tempo, valtės komplekso masės ir vertikalus poveikio stiprumo.
- Nustatyti sąlygas, mažinančias rankų nuovargį.

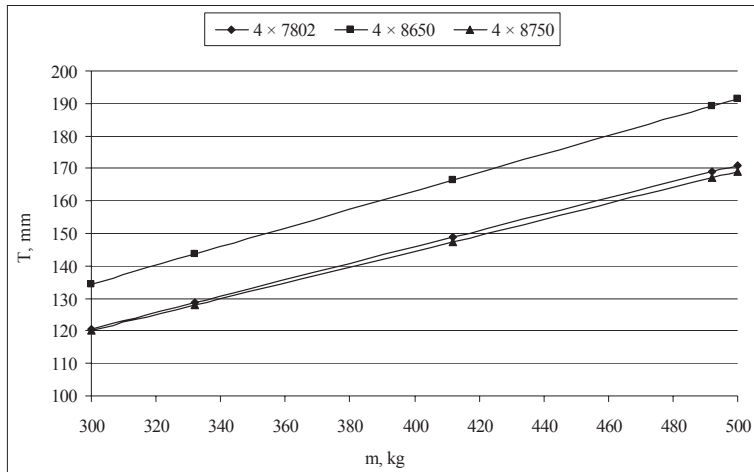
## TYRIMO METODAI IR ORGANIZAVIMAS

Irklavimo veiksmingumo kitimo priklausomumas nuo tempo  $SF$  ( $SF = 60 / T_Z$ ) grindžiamas veikiančios sėdynėlės tam tikrą laikotarpį  $t_S$  vertikalios krypties jėgos  $F_S(t)$  impulso  $I_S$  sukulto laisvojo gęstančio valtės vertikalus supimo įvertinimu. Didžiausios jėgos  $F_{Smax}$  vertikalus poveikis į sėdynėlę vėluoja laiko trukme  $t_V$  traukio jėgos  $F_D(t)$  trukmės  $t_D$  impulso pradžios atžvilgiu (1 pav.).

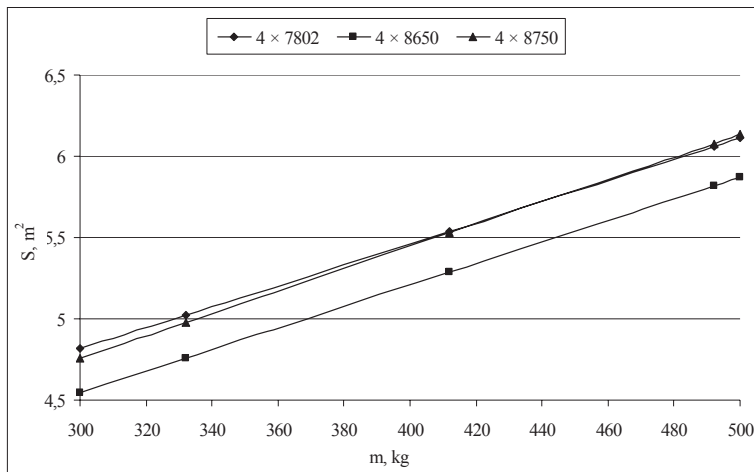
Toks supimas sukelia grimzlės  $T_Z(t)$  ir valtės drėkinamo paviršiaus ploto  $S$  prieaugį  $\Delta S$ . Tai didina vandens pasipriešinimo jėgą.

1 pav. Traukio jėgos  $F_D(t)$  ir vertikalus poveikio į sėdynėlę jėgos  $F_S(t)$  sąsajos





2 pav. Valčių grimzlės  $T$  priklausomybė nuo valties komplekso masės  $m$



3 pav. Valčių drėkinamo paviršiaus ploto  $S$  priklausomybė nuo valties komplekso masės  $m$

Sudėtinga vertikalaus poveikio jėgos impulso forma apskaičiuojant aproksimuojama lauzte pagal išraišką:

$$F_s(t) = \sum_{j=0}^k a_j(t - \tau_j)u(t - \tau_j), \quad (1)$$

čia  $k$  — lauztės atkarpų skaičius;

$j$  — lauztės lūžio taško laiko momento eilės numeris;

$\tau_j$  — laiko  $t$  reikšmė  $j$ -ame lauztės taške;

$a_j$  — koeficientas [ $a_j = (F_{sj+1} - F_{sj}) / (\tau_{j+1} - \tau_j) - (F_{sj} - F_{sj-1}) / (\tau_j - \tau_{j-1})$ ];

$F_{sj}$  — jėgos  $F_s(t)$  reikšmės laiko momentais  $\tau_j$ , ir  $u(t - \tau_j)$  — vienetinė funkcija ( $u = 0$ , kai  $t < \tau_j$ ;  $u = 1$ , kai  $t \geq \tau_j$ ).

Grimzlės priaugio  $\zeta(t)$  matematinė išraiška, gaunama išsprendus antros eilės diferencinę lygtį (Bingelis ir Daniševičius, 1994), aprašančią valties laisvąjį vertikalų supimą, lemiamą traukio pabaigoje vertikalios krypties jėgos  $F_s(t)$  pagal vienkartinio impulso poveikio (1) formulę.

Dydžio  $\zeta(t)$  reikšmė gaunama pagal visoms valčių klasėms tinkančią (2) formulę:

$$\zeta(t) = \frac{1}{m} \sum_{j=0}^k a_j u(t - \tau_j) \left\langle \frac{t - \tau_j}{\eta^2} - \frac{2\nu}{\eta^4} \left\{ 1 - \frac{\eta^2}{2\nu\omega} e^{-\nu(t - \tau_j)} \cos \left[ \omega(t - \tau_j) + \arctg \frac{\eta^2 - 2\nu^2}{2\nu\omega} \right] \right\} \right\rangle, \quad (2)$$

čia  $m$  — valties komplekso (valtys, irklų ir ekipažo) masė;

$\eta$  — laisvojo supimo kampinis dažnis ( $\eta = 2\pi / [2,5 \sqrt{T}]$ ) (Семенов-Тян-Шанский и др., 1969);

$\nu$  — supimo slopimo koeficientas;

$\omega$  — supimo kampinis dažnis įvertinant slopimą ( $\omega^2 = \eta^2 - \nu^2$ );

$j, k, \tau_j, a_j$  — jėga  $F_s(t)$  (1) formulėje aprašomi parametrai.

Valties komplekso nusistovėjęs po penkto yrio laisvojo vertikalaus supimo procesas aprašomas matematinio reiškiniu (Bingelis, Daniševičius, 1994):

$$\zeta_{\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^5 u[t - (i-1)T_z] \zeta[t - (i-1)T_z], \quad (3)$$

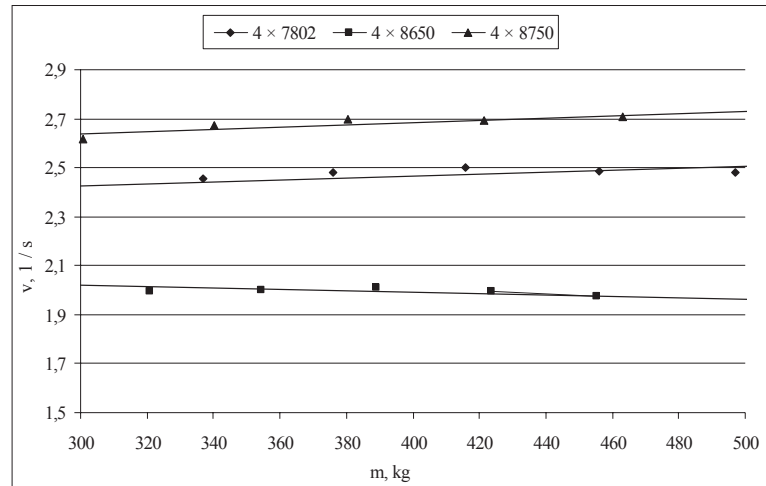
čia  $\zeta_{\Sigma}(t)$  — suminis grimzlės priaugis;

$i$  — yrio eilės numeris;

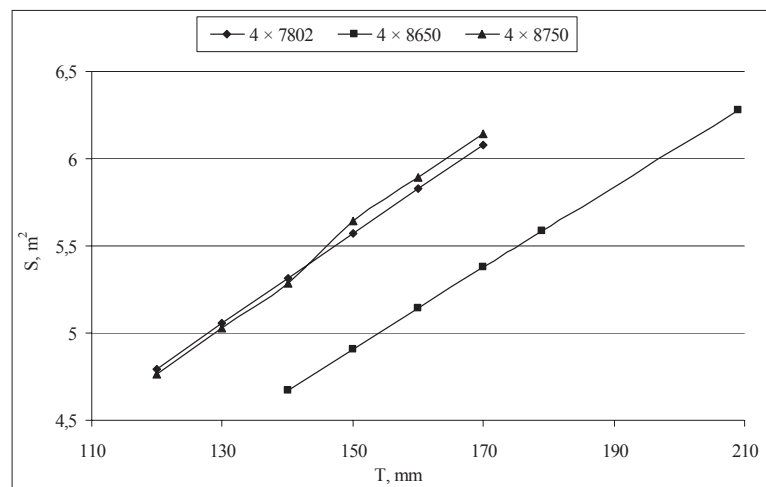
$u(t - (i-1)T_z)$  — vienetinė funkcija ( $u = 0$ , kai  $t < (i-1)T_z$  ir  $u = 1$ , kai  $t \geq (i-1)T_z$ );

$\zeta(t - (i-1)T_z)$  — grimzlės priaugio kitimas veikiant vienkartiniam jėgos  $F_s(t)$  impulsui  $I_s$  nuo laiko momento  $t > (i-1)T_z$ .

4 pav. Valčių vertikalaus supimo slopimo koeficiento  $v$  priklausomybė nuo valtės komplekso masės  $m$



5 pav. Valčių drėkinamo paviršiaus ploto  $S$  priklausomybė nuo grimzlės  $T$



Vidutinis grimzlės prieaugis yrio metu:

$$\bar{\zeta}_Z = \frac{1}{T_Z} \times \int_0^{T_Z} \zeta_\Sigma(t) dt. \quad (4)$$

Vidutinis grimzlės prieaugis traukio metu:

$$\bar{\zeta}_D = \frac{1}{t_D} \times \int_0^{t_D} \zeta_\Sigma(t) dt. \quad (5)$$

Vidutinis grimzlės prieaugis užkėlio metu:

$$\bar{\zeta}_{DZ} = \frac{1}{T_Z - t_D} \times \int_{t_D}^{T_Z} \zeta_\Sigma(t) dt. \quad (6)$$

Valties drėkinamo paviršiaus ploto  $S$  prieaugis  $\Delta S$ , atsiradęs dėl grimzlės prieaugio  $\bar{\zeta}_Z$ , nusakomas išraiška:

$$\Delta S = B_{ST} \bar{\zeta}_Z, \quad (7)$$

čia  $B_{ST}$  — valtės drėkinamo paviršiaus ploto  $S$  priklausomybės nuo grimzlės  $T$  proporcingumo koeficientas.

Vandens pasipriešinimo jėga proporcinga drėkinamo paviršiaus plotui. Todėl laisvojo vertikalų supimo poveikio kitimą įvairiems tempo

$SF$  reikšmėms galima išreikšti veiksmingumo koeficientu:

$$EK_S(SF) = S / [S + \Delta S(SF)] \quad (8)$$

Esant vienodam vandens pasipriešinimui, vidutinio valtės greičio  $v_\zeta$  (kai yra vertikalūs supimas) ir  $v_0$  (kai nėra vertikalų supimo) santykis arba taip išreikštas veiksmingumo koeficientas:

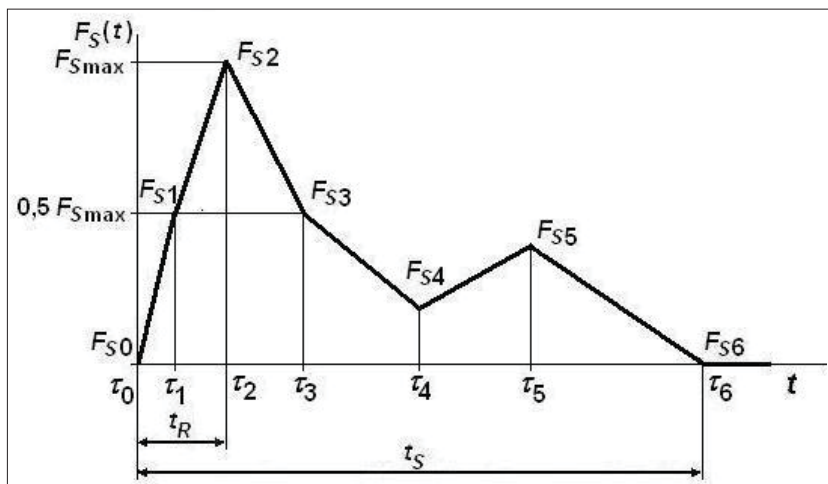
$$EK_V(SF) = v_\zeta / v_0 = \sqrt{S / [S + \Delta S(SF)]} \quad (9)$$

apibūdina vertikalų poveikio į sėdynėlę poveikį valtės komplekso vidutiniam greičiui.

Tyrimams panaudoti Eksperimentinio konstravimo centro „Latvijas laivas“ projektuotų ir gamintų keturviečių akademinių valčių (modeliai 7802, 8650 ir 8750, analogiški firmos *Empacher* modeliams) teoriniai brėžiniai. Pagal teorinius brėžinius trapecijų metodu (Čerka, 1997) nustatytos valčių rodiklių priklausomybės, siejančios apkrovą — valtės komplekso (valtės, irklų ekipažo) masę  $m$ , valtės grimzlę  $T$ , drėkinamo paviršiaus plotą  $S$  ir pagal Salkajevo grafikus vertikalų supimo slopimo ko-

Regresijos lygties		Valtis	
Numeris	Koeficientas	8650	8750
10	$A_{Tm}$	49,144	46,998
	$B_{Tm}$	0,2845	0,2439
11	$A_{Sm}$	2,553	2,6962
	$B_{Sm}$	0,006641	0,006876
12	$A_{vm}$	2,1066	2,5059
	$B_{vm}$	-0,000291	0,000446
13	$A_{ST}$	1,4057	1,3703
	$B_{ST}$	0,023342	0,02802

1 lentelė. (10), (11), (12) ir (13) regresijos lygčių koeficientų reikšmės



6 pav. Skaičiavimams naudojamas jėgos  $F_S(t)$  pavidalas

eficientus  $v$  (Семенов-Тянь-Шанский и др., 1969). Valčių rodikliai apskaičiuojami valtės komplekso masės  $m$  ribose nuo 332 iki 492 kg. Į masę  $m$  įeina keturių irkluojujų vienodos masės  $m$ , ribose nuo 65 iki 105 kg. Valčių rodiklių priklausomybė grafiškai pavaizduota 2, 3, 4 ir 5 pav.

Valčių 7802 ir 8750 duomenys panašūs. Valties 8650 duomenys skiriasi nuo minėtų valčių duomenų, nes ji apie 10 procentų siauresnė. Todėl esant vienodai apkrovai jos grimzlė didesnė. Tolesniam nagrinėjimui paliekame tik skirtingas valtis 8650 ir 8750. Remiantis tiesine regresine analize, šių valčių grimzlės  $T$  (determinacijos koef.  $r^2 = 0,999$ ), drėkinamojo paviršiaus ploto  $S$  (determinacijos koef.  $r^2 > 0,997$ ), vertikalios supimo slopimo koeficientų  $v$  (determinacijos koef.  $r^2 > 0,8$ ) priklausomybė nuo valčių kompleksų masės  $m$  ir drėkinamo paviršiaus ploto  $S$  (determinacijos koef.  $r^2 > 0,997$ ) priklausomumas nuo grimzlės  $T$ , aprašoma (10), (11), (12) ir (13) regresijos lygtimis, kurių koeficientų reikšmės pateiktos 1 lentelėje.

$$T = A_{Tm} + B_{Tm}m \quad (10)$$

$$S = A_{Sm} + B_{Sm}m \quad (11)$$

$$v = A_{vm} + B_{vm}m \quad (12)$$

$$S = A_{ST} + B_{ST}T \quad (13)$$

Skaičiuojant yrio  $T_z$ , traukio  $t_D$  ir užkėlio  $t_{DZ}$  laikotarpių grimzlės prieaugius, esant skirtingam tempui, įvertinama traukio  $t_D$ , impulso  $I_S$  vėlinimo  $t_V$ , vertikalios jėgos  $F_S(t)$  didžiausios reikšmės  $F_{Smax}$  ir jėgos veikimo trukmės  $t_S$  priklausomybė nuo tempo  $SF$ . Tuo tikslu naudojami 16–60 l / min tempo ribose testuotų 48 irkluojujų 84 rezultatų kompleksai. Jų pagrindu gautos jėgų ir laiko parametrų priklausomybės nuo tempo tiesinės regresijos lygčių pavidalu:

$$t_D = -0,0083 SF + 1,0173 \quad \text{su } r^2 = 0,2762, \quad (14)$$

$$t_V = -0,0055 SF + 0,7196 \quad \text{su } r^2 = 0,2016, \quad (15)$$

$$t_S = -0,008 SF + 0,7766 \quad \text{su } r^2 = 0,2074, \quad (16)$$

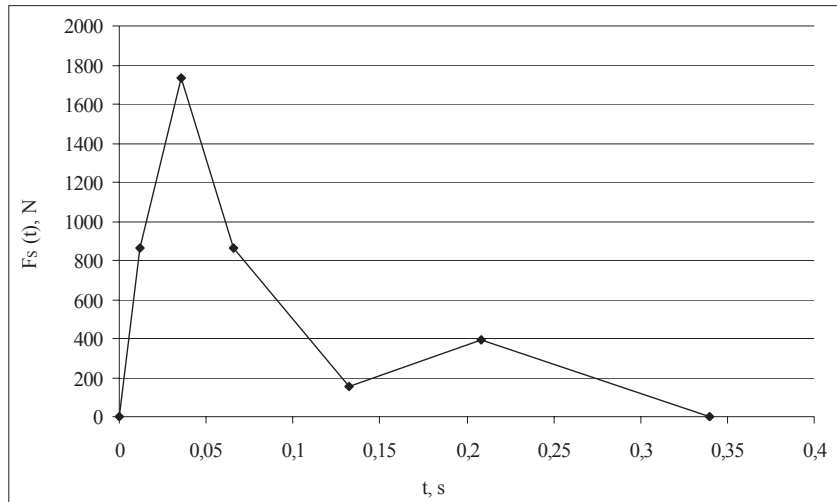
$$F_{Smax} = 19,79 SF + 257 \quad \text{su } r^2 = 0,1443. \quad (17)$$

Traukio jėgos  $F_D(t)$  impulsas vaizduojamas sinusoidės teigiamu pusperiodžiu: amplitudė  $F_{Dmax}$  atitinka laiko momentą  $0,5 t_D$ . Irklo kampas traukio metu kinta nuo 30 iki 120 laipsnių nepriklausomai nuo tempo.

Skaičiuojant realius grimzlės prieaugio dydžius pagal (2) formulę naudojamas jėgos  $F_S(t)$  pavidalas, pavaizduotas 6 pav. Todėl (1) formulėje  $k = 6$ . Atskirų laužtės taškų laiko ir amplitudės pa-

2 lentelė. Jėgos  $F_S(t)$  laiko ir amplitudės santykis

Laiko momentai	$\tau_0$	$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$	$\tau_4$	$\tau_5$	$\tau_6$
7 pav. — laiko duomenys, s	0	0,012	0,036	0,066	0,132	0,208	0,34
Atkarpos trukmė, s	0	$0,035 t_S$	$0,106 t_S$	$0,194 t_S$	$0,388 t_S$	$0,612 t_S$	$1 t_S$
7 pav. — amplitudė, N	0	865	1730	865	156	393	0
Amplitudės santykis	0	$0,5 F_{Smax}$	$F_{Smax}$	$0,5 F_{Smax}$	$0,09 F_{Smax}$	$0,227 F_{Smax}$	0

7 pav. Irkluotojo jėgos  $F_S(t)$  pavidalas (žr. 2 lent.)

rametai nurodyti 2 lentelėje laiko ir amplitudžių santykių pavidalu. Dydziai gauti remiantis apie 100 irkluotojų jėgos  $F_S(t)$  matavimo ir jų vidurkinimo būdu. Kadangi vidurkinis pavidalas pasirodė artimas žinomo olimpinio prizininio jėgos  $F_S(t)$  pavidalui, jo duomenys (7 pav.) priimti „standartu“ ir panaudoti skaičiuojant. Laiko ir amplitudės santykiai išlaikomi pastovūs pagal 2 lentelę kintant patiems dydziams  $t_S$  ir  $F_{Smax}$  pagal (16) ir (17) formules priklausomai nuo tempo.

Didinant ar mažinant vertikalaus poveikio amplitudę proporcingai kinta grimzlės prieaugio dydis pagal (2) formulę.

## REZULTATAI

Irklavimo tempo ribose nuo 21 iki 50 l / min apskaičiuoti yrio  $T_Z$ , traukio  $t_D$  ir užkėlio  $t_{DZ}$  laikotarpių vidutinės grimzlės prieaugių rezultatai pateikti 8, 9 ir 10 pav. Rezultatai vaizduojami valtys 8650 ir 8750 apibūdinančiomis trijų masės dydžių (332, 412 ir 492 kg) kreivių šeimomis.

Vidutinis grimzlės prieaugis yrio metu gali būti aprašytas tiesinės regresijos ( $r^2 = 0,999$ ) lygtimis:

$$\bar{z} = 0,2524 SF - 4,2251 \quad (8650 \quad 332 \text{ kg}) \quad (18)$$

$$\bar{z} = 0,2357 SF - 3,9473 \quad (8650 \quad 412 \text{ kg}) \quad (19)$$

$$\bar{z} = 0,2244 SF - 3,7569 \quad (8650 \quad 492 \text{ kg}) \quad (20)$$

$$\bar{z} = 0,225 SF - 3,7673 \quad (8750 \quad 332 \text{ kg}) \quad (21)$$

$$\bar{z} = 0,209 SF - 3,5014 \quad (8750 \quad 412 \text{ kg}) \quad (22)$$

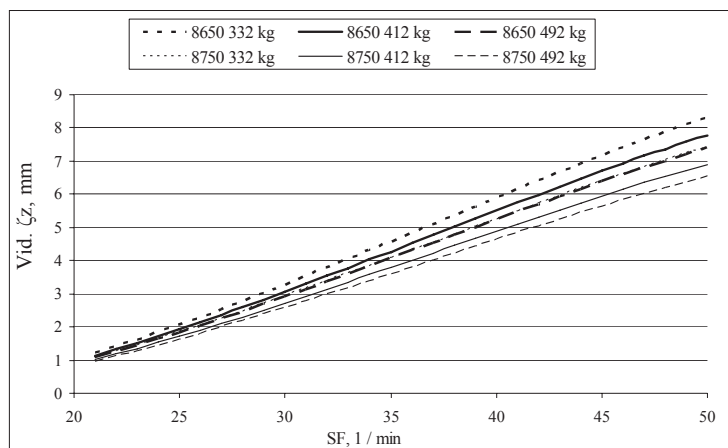
$$\bar{z} = 0,1982 SF - 3,3189 \quad (8750 \quad 492 \text{ kg}) \quad (23)$$

Vertikalaus poveikio stiprumas įvertintas apskaičiuojant vidutinio grimzlės prieaugio dydį yrio metu keičiant jėgą  $F_S(t)$  ribose nuo 50 iki 150% (11 pav.). Panašus proporcingumas gaunamas apskaičiuojant vidutinius grimzlės prieaugius traukio ir užkėlio metu. Jų priklausomybių pavidalas panašus į pavaizduotus 9 ir 10 pav.

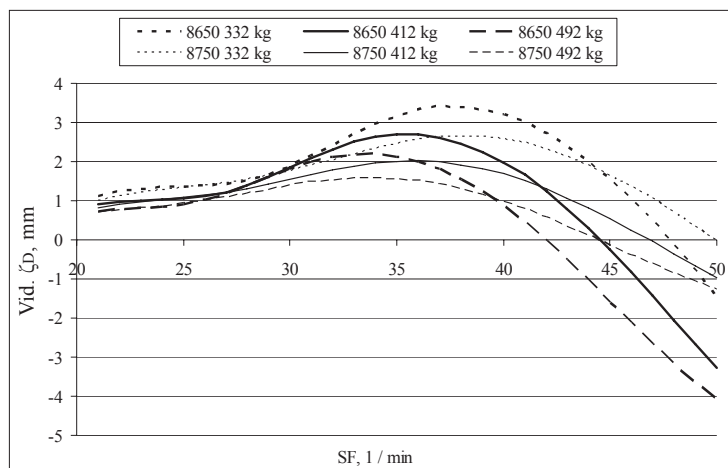
## REZULTATŲ APTARIMAS

Siauresnės valtys 8650 statinė grimzlė (2 pav.) priklausomai nuo valtys komplekso masės (332; 412 ir 492 kg) yra 143,6; 166,4 ir 189,1 mm bei 10,9; 11,4 ir 11,7% didesnė negu platesnės valtys 8750 (128; 147,5 ir 167 mm). Todėl laisvojo vertikalaus supimo dažnis atitinkamai valtys 8650 (6,63; 6,16 ir 5,78 Hz) yra mažesnis negu valtys 8750 (7,03; 6,54 ir 6,15 Hz). Slopimo koeficientas mažai priklauso nuo masės (4 pav.), tačiau siauresnės valtys 8650 vidutiniškai yra 1,987 l / s, o valtys 8750 vidutiniškai yra 2,69 l / s (skiriasi 35,2%). Todėl valtys 8750 supimas slopsta greičiau.

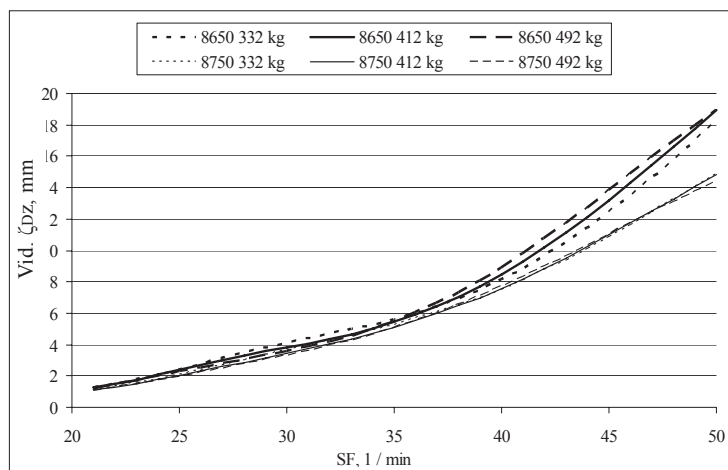
Siauresnės valtys 8650 drėkinamo paviršiaus plotas (4,758; 5,289 ir 5,82 m<sup>2</sup>) priklausomai nuo masės yra mažesnis negu valtys 8750 (4,979;



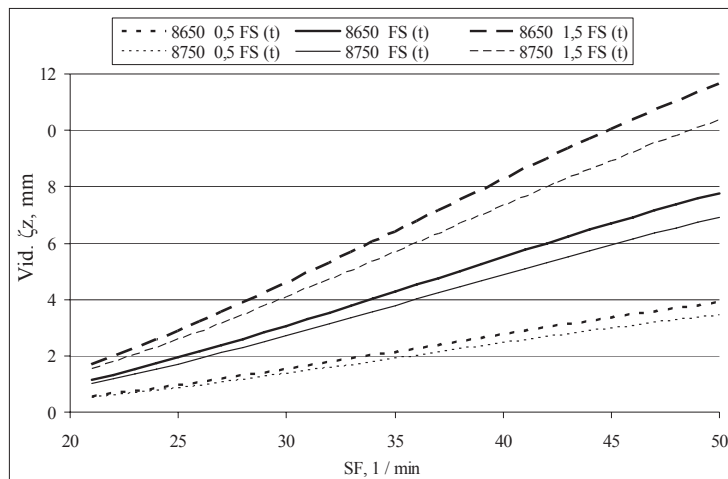
8 pav. Vidutinio grimzlės prieaugio yrio metu priklausomybė nuo valties komplekso masės ir irklavimo tempo



9 pav. Vidutinio grimzlės prieaugio traukio metu priklausomybė nuo valties komplekso masės ir irklavimo tempo

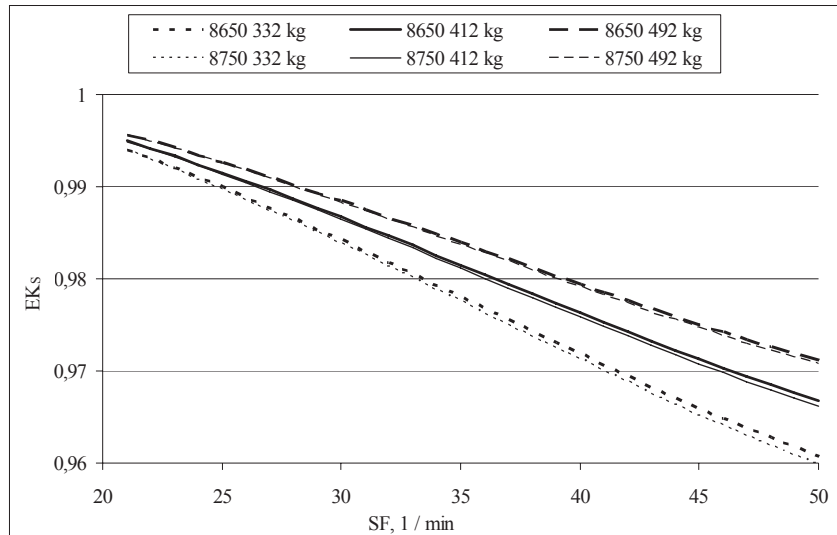


10 pav. Vidutinio grimzlės prieaugio užkėlio metu priklausomybė nuo valties komplekso masės ir irklavimo tempo

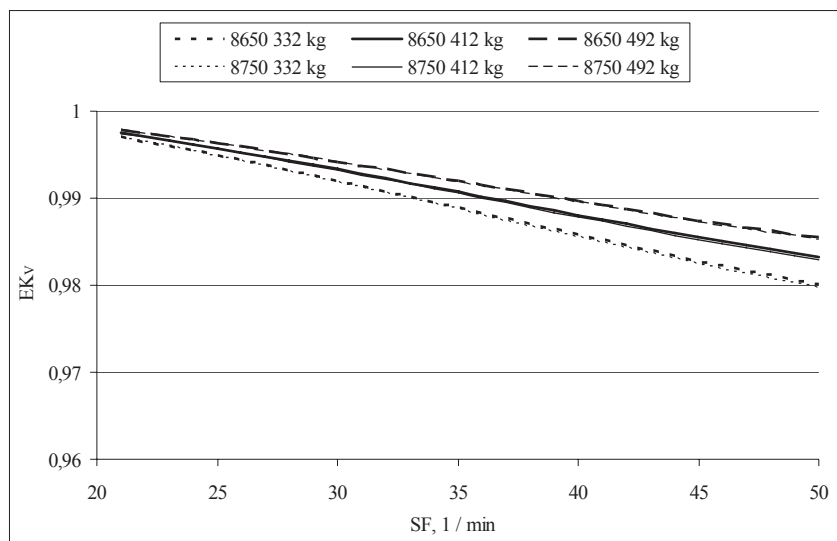


11 pav. Vidutinio grimzlės prieaugio yrio metu priklausomybė nuo vertikalios poveikio stiprumo ribose 0,5—1,5  $F_s(t)$

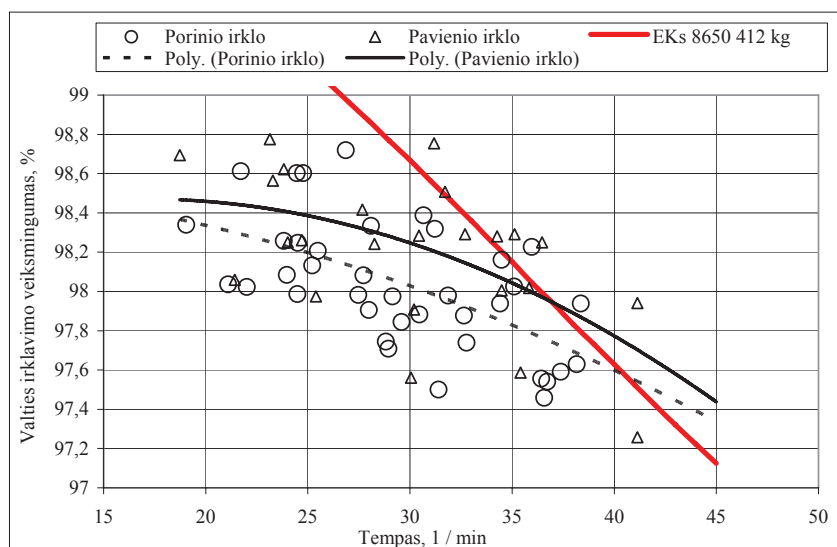
12 pav. Veiksmingumo koeficiento, lemiamo vidutinio grimzlės priaugio kitimu yrio metu, priklausomybė nuo tempo



13 pav. Veiksmingumo koeficiento, lemiamo vidutinio greičio kitimo, priklausomybė nuo tempo



14 pav. Valties irklavimo veiksmingumo priklausomybė nuo tempo



5,529 ir 6,079 m<sup>2</sup>). Todėl valties 8650 vandens pasipriešinimo jėga, proporcingai drėkinamo ploto dydžiui, mažesnė 4,5%.

Vidutinės grimzlės priaugio traukio metu reikšmė priklauso nuo valties parametru, valties komplekso masės ir irklavimo tempo. Teigiamas

vidutinės grimzlės priaugio (9 pav.) didžiausia reikšmė (blogiausios sąlygos) didesnė siauresnei valčiai 8650 apie 0,7 mm negu platesnei 8750, nors šiuos dydžius atitinkančios tempo reikšmės mažai skiriasi (35,7 ir 36 l / min). Didejant tempui (nuo tempo su didžiausia grimzlės priaugio reikšme),



grimzlės priaugis mažėja. Valties 8650 ir valties 8750 vidutinės grimzlės priaugio reikšmės lygios nuliui, esant tempui 44,5 ir 47 l / min atitinkamai. Toliau didėjant tempui, vidutinės grimzlės priaugių reikšmės gauna neigiamą ženklą, gerindamos traukio sąlygas. Tolesnis tempo didinimas veiksmingesnis siauresnei valčiai. Toks dėl laisvojo vertikalaus supimo kintantis vidutinis grimzlės priaugis traukio metu neproporcingai tempo dydžiui gali būti panaudotas paveikiau atlikti traukį. Tyrėjai Y. Liu ir kt. (1996), tirdami irklautojų nuovargį, nustatė, kad rankos greičiau nuvargsta negu kojos. Todėl rekomenduoja tausoti rankas. Daugiausia rankos pavargsta traukio metu. Todėl žinant apie neproporcingą tempui vidutinės grimzlės priaugio kitimą galima rinktis tokias tempo reikšmes, kai vidutinė grimzlė yra mažesnė (9 pav.).

Vidutinis grimzlės priaugis užkėlio metu priklauso nuo tempo didėja (10 pav.). Didėjimas stiprėja tempui viršijus 35 l / min reikšmę. Tačiau šioje fazėje rankos praktiškai nedalyvauja.

Didinant vertikalų poveikį į sėdynėlę vidutinis grimzlės priaugis proporcingai didėja (11 pav.), tuo mažindamas irklavimo veiksmingumą. Toks poveikis skirtumo tarp irklavimo veiksmingumo beveik nekeičia. Keičiant vertikalios jėgos dydį ribose 0,5—1,5  $F_s(t)$  ir tempą ribose 30—50 l / min veiksmingumo koeficientas  $EK_S$  dėl vandens pasipriešinimo kinta 0,5—1,5%, o veiksmingumo koeficientas  $EK_V$  dėl greičio beveik du kartus mažesnis negu  $EK_S$ .

Kintant valties komplekso masei  $\pm 80$  kg atžvilgiu vidutinės masės 412 kg tempo ribose 30—50 l / min veiksmingumo koeficientas  $EK_S$  dėl vandens pasipriešinimo kinta 0,18—0,65%, o

veiksmingumo koeficientas  $EK_V$  dėl greičio beveik du kartus mažesnis negu  $EK_S$ .

Mūsų teoriškai apskaičiuoto pagal (8) formulę valties 8650 (412 kg) veiksmingumo koeficiento sutapimas patenkinamas (14 pav.), lyginant su praktinių statistikos duomenų apdorojimo rezultatais (Kleshnev, 1999). Todėl galima teigti, kad laisvojo vertikalaus supimo egzistavimas gali būti irklavimo veiksmingumo kitimo nuo tempo priežastimi. Tai tikslinga vertinti analizuojant veiksnius, lemiančius didelio meistriškumo irklautojų irklavimo techniką.

## IŠVADOS

1. Siauresnės valties drėkinamas paviršiaus plotas mažesnis, todėl jos irklavimo veiksmingumas didesnis dėl mažesnio vandens pasipriešinimo.
2. Laisvojo vertikalaus supimo požiriu mažesnė valties komplekso masė blogina irklavimo veiksmingumą.
3. Stiprinant vertikalų poveikį į sėdynėlę irklavimo veiksmingumas proporcingai mažėja.
4. Irklavimo veiksmingumas mažėja 0,1% / (l / min), jei vidutinė irklautojo masė 85 kg.
5. Laisvojo vertikalaus supimo teorija pagrįstas irklavimo veiksmingumo kitimas nuo tempo praktiškai atitinka kitų tyrėjų eksperimentinius duomenis.
6. Rekomendacija tausoti rankas irklavimo metu gali būti siejama su irklavimo tempo parinkimu, žinant vidutinio grimzlės priaugio mažėjimo galimybes traukio metu.

## LITERATŪRA

- Abrahamsen, A. (2001). Rowing Model for a Four. May 18. Prieiga internetu: [http://online.redwoods.cc.ca.us/instruct/darnold/deproj/Sp01/Al/Rowingpaper\\_s.pdf](http://online.redwoods.cc.ca.us/instruct/darnold/deproj/Sp01/Al/Rowingpaper_s.pdf)
- Baudouin, A., Hawkins, D. (2002). A biomechanical review of factors affecting rowing performance. *British Journal of Sports Medicine*, 36, 396—402.
- Bingelis, A., Daniševičius, J. (1994). Teorinis akademinio irklavimo tempo tyrimas. *Sporto mokslo žinios*, 1, 19—30.
- Čerka, J. (1997). *Laivo teorija*. Klaipėda: KU.
- Kleshnev, V. (1999). Propulsive efficiency of rowing. In *Proceedings of the XVII International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 224—228). Western Australia, Perth: Cowan University. Prieiga internetu: [ruina.tam.cornell.edu/research/topics/locomotion\\_and\\_robotics/papers/oar\\_efficiency.pdf](http://ruina.tam.cornell.edu/research/topics/locomotion_and_robotics/papers/oar_efficiency.pdf)
- Kleshnev, V. (2006). Rowing Biomechanics Newsletter. Volume 6 No 67 October. Prieiga internetu: [http://www.biorow.com/RBN\\_en\\_2006\\_files/2006RowBiomNews10.pdf](http://www.biorow.com/RBN_en_2006_files/2006RowBiomNews10.pdf)
- Lazauskas, L. (1997). A Performance Prediction Model for Rowing Races. *Department of Applied Mathematics, University of Adelaide, Technical Report: L9702*. Prieiga per internetą: <http://www.maths.adelaide.edu.au/Applied/llazausk/hydro/rowing/stroke/stroke.htm>
- Lazauskas, L. (1998). Rowing Shell Drag Comparisons. *Department of Applied Mathematics, University of Adelaide, Technical Report: L9701*. Prieiga internetu: <http://www.cyberiad.net/library/rowing/real/realrow.htm>
- Liu, Y., Lormes, W., Opitz-Gress, A. et al. (1996). Are the arm muscles prior to the leg muscles to be fatigued in rowing? *Medicine and Science in Exercise and Sports*, 28 (5), Supplement abstract 306.
- Семенов-Тянь-Шанский, В. В., Благовещенский, С. Н., Холодилин, А. Н. (1969). *Качка корабля*. Ленинград: Судостроение.

# THE INFLUENCE OF STROKE RATE ON THE EFFICIENCY OF ROWING QUADRUPLE SCULLING BOATS

Algirdas Bingelis, Kazimieras Pukėnas, Sigita Marija Zdanavičienė  
*Lithuanian Academy of Physical Education, Kaunas, Lithuania*

## ABSTRACT

The study of academic quadruple sculling boats was associated with the previous studies by the authors on the mathematical modeling of the economy of single and double sculling boats influenced by vertical oscillation. There are no data in the scientific literature about the analysis of impact of free vertical oscillation which is achieved by vertical power impulses to the seat during each stroke. The decaying vertical oscillation influences the average growth of the draught, and thus the area of the wetted surface increases resulting in the growth of the boat draught when the stroke rate and the force of water resistance increase.

The aim of the study was to estimate the rowing efficiency indices of quadruple sculling boats (4x/-) of different models (narrower — 8650, and wider — 8750) which were influenced by the factor of free vertical oscillation of the boat complex, and to establish the dependence of efficiency indices on certain parameters of the hull and the strength of rowers' vertical impact on the seat under the conditions of different rowing rate. The parameters of concrete academic boats necessary to estimate the rowing efficiency were established according to theoretical schemes. Applying the method of mathematical modeling we calculated the growth of the draught which was caused by the free vertical oscillation and established the change in the rowing efficiency depending on the rowing rate, the mass of the boat complex, and the amplitude of the vertical impact on the seat.

The analysis of the obtained results indicated that the coefficient of the vertical oscillation did not depend much on the mass of the boat complex. The water resistance force of the 8750 model boat, which is proportional to the magnitude of the wetted area and the wetted surface of which is greater compared to that of 8650 model, was less by 4.5%. The highest positive value of the average growth of the draught (worst conditions) was greater for the 8650 model. With the increase of the rowing rate up to 44.5 and 47 strokes per minute for the 8750 and 8650 models respectively, the values of the growth of the draught equaled zero. When the rate continued to increase, the values of the growth of the draught became negative, and the dragging conditions improved. The further increase in the rate was more effective for the 8650 model. The data about the average growth of the gauge during the drag (irrespective of the rate) preconditioned the more effective drag. Being aware of the change in the average growth of the draught we can choose the rate values when the average draught is lower. We suggest that free vertical oscillation impacts the change in the efficiency of rowing depending on the rate. It is expedient to evaluate the factors which impact the rowing technique of elite rowers.

**Keywords:** vertical oscillation, rowing efficiency, rate.

Gauta 2008 m. vasario 14 d.  
Received on February 14, 2008

Priimta 2008 m. gegužės 13 d.  
Accepted on May 13, 2008

Algirdas Bingelis  
Lietuvos kūno kultūros akademija  
(Lithuanian Academy of Physical Education)  
Sporto g. 6, LT-44221 Kaunas  
Lietuva (Lithuania)  
Tel +370 37 302668  
E-mail a.bingelis@lkka.lt.