

MILAN ČUVALO

# Dodatni otpor na nepravilnom valovlju

UDK 532.58:551.55:532.593

Izvorni znanstveni rad

## KRATKI SADRŽAJ

U ovom radu opisana je metoda određivanja dodatnog otpora na nepravilnom valovlju kao posljedica djelovanja vjetra na nadvodni dio broda i spregnutih gibanja poniranja i posrtanja broda. U prvom dijelu opisana je metoda određivanja spregnutih gibanja poniranja i posrtanja na pravilnim sinusoidalnim valovima, koristeći vrpčanu teoriju, u svrhu dobivanja prijenosnih funkcija poniranja i posrtanja. Za proračun odziva broda na nepravilnom valovlju korišten je I.T.T.C. spektar mora.

U drugom dijelu opisan je način određivanja dodatnog otpora broda na nepravilnom valovlju uslijed djelovanja vjetra na nadvodni dio broda te dodatni otpor, odnosno, pad brzine na nepravilnom valovlju uslijed spregnutih gibanja poniranja i posrtanja. Za izvođenje svih potrebitih računskih operacija napisan je program za elektroničko računalo.

## UVOD

Morski plovni objekt kao sredstvo za prijevoz robe i putnika operira u realnim uvjetima vjetrovnog valovlja. Morska površina je neprekidno u gibanju. Oscilacije od zamišljene linije mirnog mora predstavljaju slučajni proces. Takvu površinu moguće je opisati statističkim veličinama zavisno od regije i vremenskog intervala. Jasno je da će i plovilo koje se giba u takvim uvjetima poprimiti gibanja koja se mogu opisati samo statističkim metodama kao slučajni procesi.

Svako od gibanja (poniranje, posrtanje, ljuljanje, zastajanje, itd.) izazvano uzbuđenim silama i momentima koji potječu od gibanja nepravilnog mora, trošit će dio energije plovnog objekta. Ovu činjenicu mora imati u vidu projektant kada projektira plovilo jer je sposobnost održavanja brzine jedno od važnijih svojstava broda.

Dodatak energije, potreban za održavanje brzine na nepravilnom valovlju je uglavnom bio procjenjivan u obliku dodatka snage na onu određenu za uvjete mirnog mora, u iznosu od 15% do 30% snage. Međutim, zahtjev za što nižim vozarinama nametnuo je novi način prosuđivanja potrebne snage. Najveća prosječna brzina u realnim uvjetima plovidbe postaje kriterij za procjenu kvalitete broda a ne brzina koja je postignuta u skoro idealnim uvjetima pokusne vožnje da bi se zadovoljile ugovorne obveze.

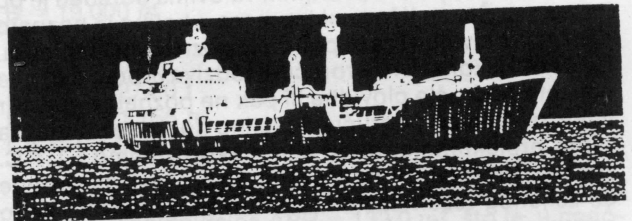
Ovakav pristup problemu je bio moguć nakon opsežnih oceanografskih istraživanja mora i opisivanja njegove površine matematičkim metodama. Na temelju podataka o nepravilnoj morskoj površini na određenim područjima, projektantu je omogućeno napraviti cjelovitu analizu ponašanja plovila na ruti na kojoj će pretežno ploviti u toku svog radnog vijeka.

Pad brzine broda na nepravilnom valovlju nije uzrokovan isključivo dodatnim otporom. Ima cijeli niz faktora koji utječu na smanjenje brzine a mogu se podijeliti u dvije kategorije:

- nenamjerno smanjenje
- namjerno smanjenje brzine broda
  - U prvu grupu se mogu ubrojiti slijedeći razlozi:
    - dodatni otpor zbog djelovanja vjetra na nadvodni dio broda
    - dodatni otpor zbog gibanja poniranja i posrtanja
    - dodatni otpor zbog odbijanja valova
    - povećanje otpora uzrokovano gibanjem valjanja, zaošijanja i zanošenja
    - radi smanjenja propulzivne iskoristivosti
      - U drugu grupu se mogu uvrstiti slijedeći razlozi:
        - pretjerano zalijevanje palube morem
        - udaranje pramcem
        - pretjerana ubrzanja koja mogu izazvati pomicanje tereta i nelagodu putnika
        - problem održavanja smjera
        - zalijetanje vijka

U ovom radu razmatrana su prva dva razloga smanjenja brzine:

- 1) Dodatni otpor zbog pritiska vjetra na nadvodni dio broda
  - 2) Dodatni otpor zbog gibanja poniranja i posrtanja
- Razlog za ovakav izbor je dominantan utjecaj upravo ovih komponenti dodatnog otpora na valovima.



## 1) DODATNI OTPOR VJETRA

Pritisak vjetra na izloženu površinu, tj. projiciranu površinu nadvodnog dijela broda, uzrokuje silu suprotnu gibanju broda. Njen iznos može se odrediti na slijedeći način:

$$R_{wind} = 0.5 \times C \times RO \times APR \times Vw^2$$

Koeficijent oblika C može se uzeti jednak jedinici. Brzina vjetra  $Vw$  je ona brzina koja se »osjeti« na brodu kod raznih stanja mora (raznih valnih visina). Slijedeći izraz definira taj odnos:

$$V_w = 0.001 \times (H_w)_{13}^3 - 0.057 \times (H_w)_{13}^2 + 2.46 \times (H_w)_{13} + 3.94 \quad (\text{m/s})$$

$H_w)_{13}$  = značajna valna visina (m)

## 2) DODATNI OTPOR ZBOG GIBANJA PONIRANJA I POSRTANJA

Od svih gibanja broda najveći utjecaj na dodatni otpor imaju gibanja poniranja i posrtanja. To je i bio razlog da se, prvenstveno, definiraju ova dva gibanja i izračuna njihov utjecaj na dodatni otpor. Također, valja napomenuti da su u ovom radu razmatrana spregnuta gibanja poniranja i posrtanja.

Dodatni otpor može biti određen na dva načina:

- eksperimentalno
- analitički

Eksperimentalno određivanje podrazumijeva ispitivanje modela na pravilnim ili nepravilnim valovima u bazenu ili ispitivanje u naravi, što je rjeđe.

Analitičko određivanje dodatnog otpora podrazumijeva slijedeće faze proračuna:

- određivanje gibanja poniranja i posrtanja na pravilnim sinusoidnim valovima,
- određivanje dodatnog otpora na pravilnim sinusoidnim valovima poznate amplitude za interesantno područje frekvencija susretanja
- određivanje prijenosnih funkcija
- određivanje spektra mora na bazi frekvencija susretanja
- određivanje spektra odziva, odnosno, spektra dodatnog otpora na nepravilnom valovlju
- integracija spektra odziva preko cijelog područja frekvencija susretanja i proračun dodatnog otpora na nepravilnom valovlju za zadanu značajnu valnu visinu.

U ovom radu korištena je analitička metoda sa svim gore navedenim fazama proračuna. Također, iskorištena je pretpostavka da je nepravilno more skup pravilnih sinusoidnih valova što implicira drugu temeljnu pretpostavku da su gibanja broda na nepravilnom valovlju superpozicija gibanja na pravilnim valovima. Ako vrijede spomenute pretpostavke, onda možemo zaključiti da će i dodatni otpor na nepravilnom valovlju biti suma otpora na pravilnim valovima. Sponu između odziva broda na pravilnim valovima i nepravilnom moru čine prijenosne funkcije.

Dodatni otpor na pravilnim valovima određen je po Joosen-u. Što se tiče spektra mora, ukoliko je poznato područje plovidbe i za to područje poznat spektar mora, isti će biti iskorišten u proračunu odziva broda. Ako nije poznato područje plovidbe ili pak ne poznajemo spektar mora za dotično područje dovoljno dobre rezultate, za svrhu projektiranja, dobit ćemo ako uzmemo I.T.T.C. spektar. Proračuni koje je potrebno provesti da se dođe do željenog rezultata komplicirani su a posebno se to odnosi na proračun funkcija gibanja broda. Bez pomoći računala bio bi to dugotrajan posao. U tu svrhu napisan je program za računalo. U daljem tekstu bit će ukratko opisan program ADRAW, njegova struktura, potrebni ulazni podaci, mogućnosti programa, izlazni rezultati i test-primjer.

## 3) OPIS PROGRAMA »ADRAW«

Program se sastoji od glavnog programa »ADRAW« i pet potprograma: SIMS, CINT, FAZ, INDX. Programu se pridružene dvije datoteke: ADMAS.DAT i ARES.DAT. Na prvog se nalaze ulazni podaci za proračun dodatne mase vode za poniranje i posrtanje a na drugoj (ARES.DAT) su podaci o brodu kao i popis valnih frekvencija za koje želimo proračun.



Potprogram GIBHP računa pridruženu masu vode, amplitudu uzbudne sile i uzbudnog momenta, fazne kutove, amplitudu i fazni kut spregnutih gibanja poniranja i posrtanja te konačno funkcije gibanja poniranja i posrtanja s njihovim faznim pomacima za zadanu valnu amplitudu i zadanu valnu frekvenciju. Potprogram SIMS vrši integraciju po dužini broda budući da je korištena vrpčana teorija, odnosno integraciju preko područja frekvencija susretanja da se obuhvati cijelo područje spektra.

Potprogram FAZ određuje fazni kut za izračunate vrijednosti sinus, odnosno, kosinus faznog kuta.

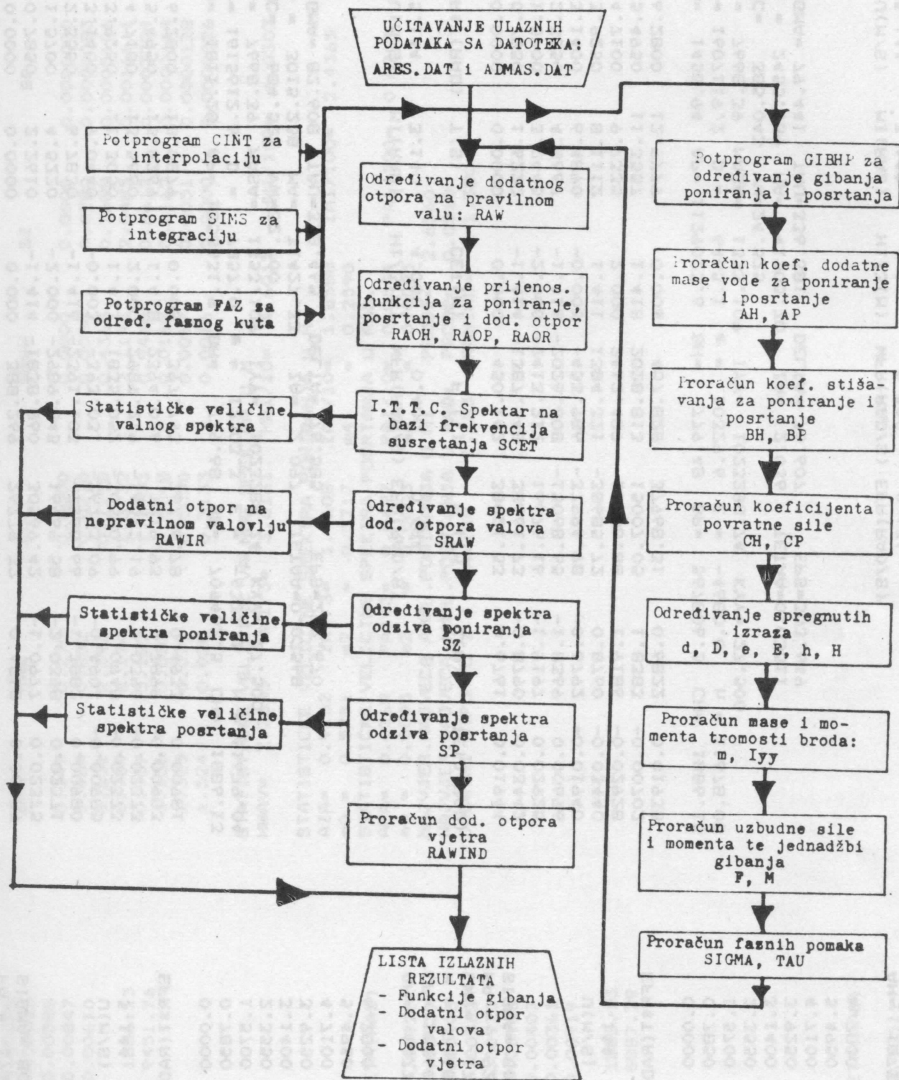
Potprogram CINT vrši interpolaciju tablično zadanog koeficijenta pridružene mase vode za poniranje i posrtanje, dok potprogram INDX određuje poziciju tražene vrijednosti u matrici. Kad su određena gibanja broda, u glavnom programu se određuju prijenosne funkcije, ordinate spektra mora, spektar odziva poniranja i posrtanja, spektar odziva dodatnog otpora a iz njega prosječni statistički dodatni otpor. Na kraju su date i prognoze najvjerojatnijih najvećih amplituda poniranja i posrtanja za željeni vremenski interval i zadanu značajnu valnu visinu nepravilnog mora.

Ulazne podatke u datoteci ARES.DAT treba formirati prema slijedećem obrascu:

Lpp	B	TA	TF	DEP	CB	LCB
MI	HW13	U	RO	APR	TIME	
NX	NFR					
WFREQ(1)	WFREQ(2)	.....				
X(1)	X(2)	.....				
BY(1)	BY(2)	.....				
AR(1)	AR(2)	.....				

Značenje navedenih veličina je kako slijedi:

- Lpp — duljina broda (m)
- B — širina broda (m)
- TA, TF — gaz na krmi, gaz na pramcu (m)
- LCB — težište istisnine (— ili +, zavisno da li je ispred ili iza gl. rebra) (m)
- CB — koef. punoće istisnine
- DEP — istisnina broda (t)
- MI — kut gibanja valova prema gibanju broda (rad)
- HW13 — značajna valna visina (m)
- U — brzina broda (m/s)
- RO — gustoća vode
- APR — projicirana površina nadvodnog dijela broda (m<sup>2</sup>)
- TIME — vrijeme za koje se traži prognoza (sati)
- NX — broj presjeka broda
- NFR — broj frekvencija
- WFREQ — matrica valnih frekvencija
- BY — matrica širina broda na pojedinim presjecima
- AR — matrica površina poprečnih presjeka
- U listi izlaznih rezultata značenje oznaka je:
- AH, AP — koef. pridružene mase vode za poniranje i posrtanje
- BH, BP — koef. stišavanja za poniranje i posrtanje
- CH, CP — koef. povratne sile za poniranje i posrtanje
- D, d, E, e, H, h — spregnuti koef. poniranja i posrtanja



MASA, IYY — masa, odnosno, moment tromosti mase broda

LWC — ekviv. valna dužina ( $L_w/\cos MI$ )

VW — valna brzina (m/s)

CETA — valna amplituda (m)

FA — amplituda uzbudne sile (t)

MA — amplituda uzbudnog momenta (tm)

ZA — amplituda poniranja (m)

TETAA — amplituda posrtanja (rad)

F, M — funkcija uzb. sile, odnosno momenta

Z, TETA — funkcija poniranja, odnosno posrtanja

EFR, RAW — frekv. susretanja, dodatni otpor na pravil. valovima

SCET — I.T.T.C. spektar

SRAW — spektar odziva dodatnog otpora na neprav. valovima

SZ, SP — spektar poniranja, spektar posrtanja

RAWIR — dodatni otpor na nepravilnom valovlju (t)

RAWIND — dodatni otpor vjetra (t)

4) PRIMJER

Za primjer je uzet mt »VINJERAC«, Nov. 379, Uljanik, sa slijedećim značajkama:

$L_{pp} = 110.000$  m

$B = 19.000$  m

$TA = 8.050$  m

$TF = 7.950$  m

$DEP = 13274.0$  t

$LCB = + 1.756$  m

$CB = 0.774$

Napomena: u svrhu proračuna otpora vjetra uzeta je projicirana površina  $APR = 132.0$  m<sup>2</sup>, što je, u nedostatku točnog podatka, procjenjeno.

Datoteka ulaznih podataka - ARES.DAT

110.000	19.000	8.050	7.950	13274.0	0.774	1.756
3.140	4.000	5.144	0.1046	132.0	1.0	
11	8					
0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0
0.00	11.00	22.00	33.00	44.00	55.00	66.00
88.00	99.00	110.00				
10.640	15.660	18.600	19.00	19.00	19.00	19.00
17.900	12.640	0.000				
11.970	68.260	118.040	141.080	148.440	148.440	
148.440	148.440	138.690	93.230	0.000		

GIRANJA I DODATNI OTPOR NA NEPRAVILNOM VALJULJU

U(M/S) M1(RAD) H1/3(M) WFR(RAD/S) EFR(RAD/S)  
 5.144 3.140 4.000 0.300 0.347

EFRT(RAD) T(S) CET(M) F (T) M (TM) Z(M) TETA(RAD)  
 0.0000 0.0000 0.000 388.269 26779.32 0.4868 0.00989  
 0.7850 2.2610 -1.414 -1838.860 30569.42 -1.0977 0.02375  
 1.5700 4.5220 -2.000 -2989.845 16469.58 -2.0371 0.02371  
 2.3550 6.7830 -1.416 -2391.103 -7268.66 -1.7882 0.00980  
 3.1400 9.0440 -0.003 -393.031 -26753.09 -0.4901 -0.00985  
 3.9250 11.3050 1.411 1835.052 -30580.99 1.0948 -0.02373  
 4.7100 13.5660 2.000 2989.219 -16512.19 2.0390 0.02370  
 5.4950 15.8269 1.418 2394.026 7219.93 1.7899 -0.00983  
 6.2800 18.0879 0.006 397.793 26726.78 0.4933 0.00981

AH= 1811.28 AP= 1353531.9 BH= 779.68 BP= 709452.5 CH= 1886.13  
 CP= 1615562.6 D = 7857.0 e = 12303.3 E = -6331.1 h = 11679.04  
 H = 7668.39 MASA= 1333.109 IYV= 1023288.74 KYV= 27.500  
 LWC= 684.321 VM=32.700  
 FA = 3015.258 MA= 51427.33 ZA= 2.097 TETA=0.02368  
 SIGMA= 82.608 TAU=328.465 DELTA= 76.585 EPS=292.670

U(M/S) M1(RAD) H1/3(M) WFR(RAD/S) EFR(RAD/S)  
 5.144 3.140 4.000 0.400 0.484

EFRT(RAD) T(S) CET(M) F (T) M (TM) Z(M) TETA(RAD)  
 0.0000 0.0000 0.000 450.142 38021.53 0.6761 0.01944  
 0.7850 1.6222 -1.414 -1387.548 38661.73 -0.8790 0.03442  
 1.5700 3.2445 -2.000 -2413.212 16676.16 -1.9197 0.02925  
 2.3550 4.8667 -1.416 -2026.608 -18068.65 -1.8369 0.00696  
 3.1400 6.4890 -0.003 -433.986 -37994.98 -0.6792 -0.01940  
 3.9250 8.1112 1.411 1384.321 -38685.72 0.8760 -0.03440  
 4.7100 9.7335 2.000 2412.489 -16736.68 1.9186 -0.02928  
 5.4950 11.3557 1.418 2028.813 18007.05 1.8383 -0.00702  
 6.2800 12.9779 0.006 457.828 37968.31 0.6822 0.01935

AH= 1458.94 AP= 1129023.6 BH= 779.48 BP= 567806.5 CH= 1886.13  
 CP= 1607119.2 D = 6465.1 e = 10329.6 E = -4680.0 h = 11678.05  
 H = 7668.39 MASA= 1333.109 IYV= 1023288.74 KYV= 27.500  
 LWC= 385.043 VM=24.525  
 FA = 2455.189 MA= 41505.70 ZA= 2.036 TETA=0.03511  
 SIGMA= 79.441 TAU=336.381 DELTA= 70.607 EPS=303.649

U(M/S) M1(RAD) H1/3(M) WFR(RAD/S) EFR(RAD/S)  
 5.144 3.140 4.000 0.500 0.631

EFRT(RAD) T(S) CET(M) F (T) M (TM) Z(M) TETA(RAD)  
 0.0000 0.0000 0.000 292.883 44807.35 0.6272 0.02752  
 0.7850 1.2439 -1.414 -985.555 43801.10 -0.9377 0.05140  
 1.5700 2.4878 -2.000 -1687.223 17161.40 -1.9539 0.04520  
 2.3550 3.7316 -1.416 -1401.488 -19521.54 -1.8266 0.01255  
 3.1400 4.9755 -0.003 -295.570 -44780.02 -0.6304 -0.02745

3.9250 6.2194 1.411 983.324 -43832.17 0.9348 -0.05130  
 4.7100 7.4633 2.000 1686.733 -17252.70 1.9529 -0.04824  
 5.4950 8.7071 1.418 1403.055 19451.75 1.8281 -0.01283  
 6.2800 9.9510 0.006 298.257 44752.58 0.6335 0.02738

AH= 1248.35 AP= 917921.0 BH= 642.82 BP= 548792.8 CH= 1886.13  
 CP= 1594935.5 D = 4602.3 e = 10531.4 E = -2311.6 h = 10975.04  
 H = 7668.39 MASA= 1353.109 IYV= 1023288.74 KYV= 27.500  
 LWC = 246.428 VM=19.620  
 FA = 1712.685 MA= 47968.63 ZA= 2.053 TETA=0.05290  
 SIGMA= 80.159 TAU=339.108 DELTA= 72.212 EPS=301.371

U(M/S) M1(RAD) H1/3(M) WFR(RAD/S) EFR(RAD/S)  
 5.144 3.140 4.000 0.600 0.789

EFRT(RAD) T(S) CET(M) F (T) M (TM) Z(M) TETA(RAD)  
 0.0000 0.0000 0.000 137.531 44308.44 1.3618 0.01108  
 0.7850 0.9952 -1.414 -532.839 43100.19 -0.4701 0.05658  
 1.5700 1.9904 -2.000 -911.378 16668.70 -2.0269 0.00868  
 2.3550 2.9857 -1.416 -756.558 -19517.70 -2.3975 0.04079  
 3.1400 3.9809 -0.003 -158.982 -44281.89 -1.3631 -0.01097  
 3.9250 4.9761 1.411 531.634 -43131.26 0.4663 0.05631  
 4.7100 5.9713 2.000 911.125 -16739.21 2.0247 -0.006870  
 5.4950 6.9665 1.418 757.405 19449.02 2.3983 -0.04088  
 6.2800 7.9618 0.006 160.433 44255.23 1.3683 0.01086

AH= 1077.35 AP= 760749.5 BH= 639.72 BP= 553442.5 CH= 1886.13  
 CP= 1586070.8 D = 2917.2 e = 10495.6 E = -388.1 h = 10959.11  
 H = 7668.39 MASA= 1333.109 IYV= 1023288.74 KYV= 27.500  
 LWC= 171.130 VM=16.330  
 FA = 925.016 MA= 47327.67 ZA= 2.443 TETA=0.06956  
 SIGMA= 80.201 TAU=339.449 DELTA= 56.122 EPS=279.183

U(M/S) M1(RAD) H1/3(M) WFR(RAD/S) EFR(RAD/S)  
 5.144 3.140 4.000 0.700 0.937

EFRT(RAD) T(S) CET(M) F (T) M (TM) Z(M) TETA(RAD)  
 0.0000 0.0000 0.000 -129.118 31432.47 1.4879 -0.01916  
 0.7850 0.8203 0.000 -169.752 28614.46 1.1159 0.01982  
 1.5700 1.6407 -2.000 -111.043 9050.59 0.9098 0.04721  
 2.3550 2.4610 -1.416 12.651 -15809.88 -0.9874 0.04657  
 3.1400 3.2813 -0.003 128.942 -51498.07 -1.4878 0.01924  
 3.9250 3.9250 1.411 169.772 -28639.64 1.1175 -0.01975  
 4.7100 4.7100 2.000 111.248 9100.63 -0.0932 -0.04718  
 5.4950 5.4950 1.418 -12.381 15764.28 0.9856 -0.04700  
 6.2800 6.2800 0.006 -128.764 31403.57 1.4876 -0.01931

AH= 1075.50 AP= 715688.8 BH= 491.39 BP= 485853.9 CH= 1886.13  
 CP= 1582930.5 D = 1543.9 e = 11087.1 E = 22.3 h = 10196.08  
 H = 7668.39 MASA= 1333.109 IYV= 1023288.74 KYV= 27.500  
 LWC= 125.728 VM=14.014  
 FA = 170.233 MA= 32702.62 ZA= 1.491 TETA=0.05096  
 SIGMA=139.341 TAU=344.004 DELTA=356.579 EPS=247.930

AH= 1223.53 AP= 776377.7 BH= 156.58 BP= 213179.1 CH= 1886.13  
 CP= 1598315.9 D = -438.4 e = 9969.0 E = -2618.7 h = 8473.87  
 H = 7668.39 MASA= 1353.109 IYV= 1023288.74 KVV= 27.500  
 LMC= 61.607 VM= 9.810  
 FA = 108.445 MA= 14989.26 ZA = 0.002 TETAA=0.00575  
 SIGMA= 34.848 TAU=145.701 DELTA=270.509 EPS=332.616

EFR	RAW	SCET	SRAW	SZ	SP
0.347	0.270	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000000
0.484	0.832	0.0270	0.0056	0.0280	0.0000083
0.631	2.393	0.7298	0.4365	0.7688	0.0005106
0.789	6.174	1.3732	2.1194	2.0485	0.0016611
0.957	3.182	1.1903	0.9468	0.0007729	0.0000144
1.136	0.083	0.8048	0.0168	0.0162	0.0000128
1.325	0.077	0.5050	0.0097	0.0051	0.0000026
1.524	0.020	0.3133	0.0016	0.0000	0.0000000

STATISTICKE VELICINE VALNDOG SPEKTRA U M  
 HMAV= 2.2655 HM1/3= 3.6161 HM1/10= 4.6015 HM1/100= 6.0307

STATISTICKE VELICINE SPEKTRA PONIRANJA U M  
 AZA= 0.9152 ZA1/3= 1.4608 ZA1/10= 1.8588 ZA1/100= 2.4365  
 m0 = 0.5751 m2 = 0.3717 m4 = 0.2590  
 STATISTICKE VELICINE SPEKTRA POSRTANJA U RAD.  
 APA= 0.0268 PA1/3= 0.0427 PA1/10= 0.0544 PA1/100= 0.0713  
 m0 = 0.0005 m2 = 0.0003 m4 = 0.0003  
 NAJVJER.NAJVECA AMPL.PONIRANJA U M: PROBZ= 2.6560  
 NAJVJER.NAJVECA AMPL.POSRTANJA U RAD: PROBP= 0.0510  
 DODATNI OTPOR U T: RAWIR= 1.185 RAWIND= 1.380

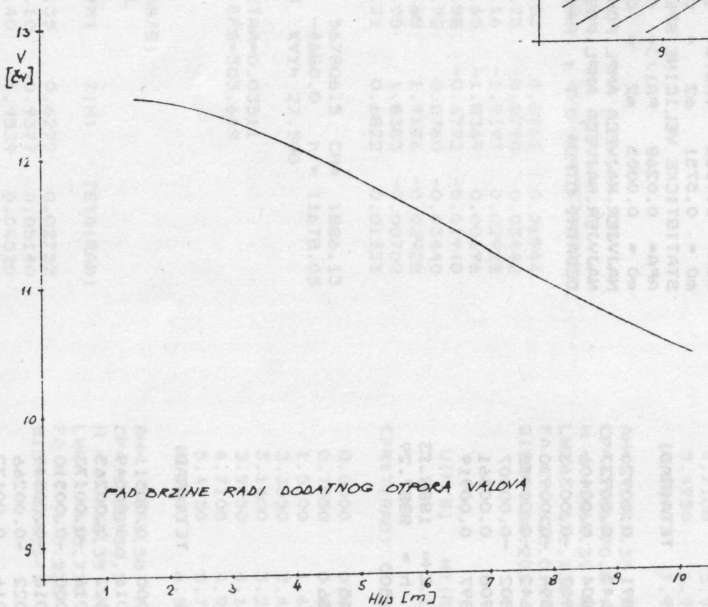
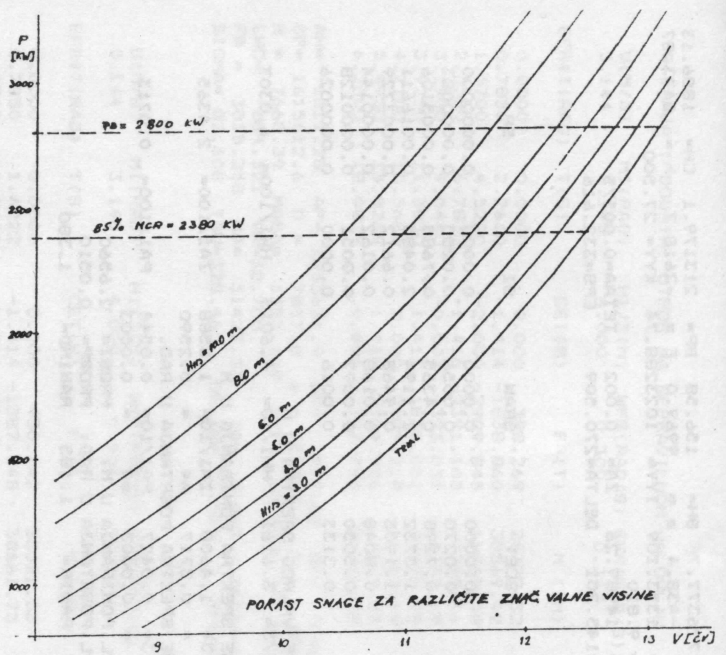
U(M/S) M1(RAD) H1/3(M) WFR(RAD/S) EFR(RAD/S) TETA(RAD)  
 5.144 3.140 4.000 0.800 1.136  
 EFR\*(RAD) T(S) DET(M) F (T) M (TM) Z(M) TETA(RAD)  
 0.0000 0.0000 -273.814 7993.48 0.1497 -0.00608  
 0.7850 0.6913 -1.414 3592.61 -0.0646 -0.00014  
 1.5700 1.5825 -2.000 399.881 -0.2410 0.00589  
 2.3550 2.0738 -1.416 476.635 -0.2765 0.00847  
 3.1400 2.7651 -0.003 274.450 -0.1501 0.00609  
 3.9250 3.4563 1.411 -88.349 -0.0641 0.00015  
 4.7100 4.1476 2.000 -399.444 0.2408 -0.00588  
 5.4950 4.8389 1.418 -476.776 0.2766 -0.00847  
 6.2800 5.5302 0.006 -275.087 0.1505 -0.00610

AH= 1159.32 AP= 735762.1 BH= 346.69 BP= 404489.3 CH= 1886.13  
 CP= 1584282.0 D = 449.0 e = 11686.7 E = -240.4 h = 9451.76  
 H = 7668.39 MASA= 1353.109 IYV= 1023288.74 KVV= 27.500  
 LMC= 96.261 VM=12.263  
 FA = 484.823 MA= 8509.13 ZA = 0.284 TETAA=0.00847  
 SIGMA=235.631 TAU= 20.050 DELTA= 58.175 EPS=224.106

U(M/S) M1(RAD) H1/3(M) WFR(RAD/S) EFR(RAD/S) TETA(RAD)  
 5.144 3.140 4.000 0.900 1.325  
 EFR\*(RAD) T(S) DET(M) F (T) M (TM) Z(M) TETA(RAD)  
 0.0000 0.0000 -145.403 -11664.08 0.0891 0.00920  
 0.7850 0.5926 -1.414 139.302 -0.0645 0.00937  
 1.5700 1.1851 -2.000 342.484 -0.1804 0.00406  
 2.3550 1.7777 -1.416 345.237 162.57 -0.1907 -0.00363  
 3.1400 2.3703 -0.003 145.948 11645.89 -0.0894 -0.00920  
 3.9250 2.9629 1.411 -138.753 16313.77 0.0642 -0.00938  
 4.7100 3.5554 2.000 -342.252 11434.45 0.1802 -0.00407  
 5.4950 4.1480 1.418 -345.458 -136.58 0.1908 0.00361  
 6.2800 4.7406 0.006 -146.493 -11627.68 0.0897 0.00919

AH= 1217.93 AP= 766763.5 BH= 236.96 BP= 315114.0 CH= 1886.13  
 CP= 1588526.0 D = -174.1 e = 11464.6 E = -1065.4 h = 8887.29  
 H = 7668.39 MASA= 1353.109 IYV= 1023288.74 KVV= 27.500  
 LMC= 76.058 VM=10.900  
 FA = 372.179 MA= 16314.46 ZA = 0.201 TETAA=0.01005  
 SIGMA=247.021 TAU=135.649 DELTA= 63.717 EPS=336.256

U(M/S) M1(RAD) H1/3(M) WFR(RAD/S) EFR(RAD/S) TETA(RAD)  
 5.144 3.140 4.000 1.000 1.524  
 EFR\*(RAD) T(S) DET(M) F (T) M (TM) Z(M) TETA(RAD)  
 0.0000 0.0000 89.000 -12381.13 0.0000 0.00511  
 0.7850 0.5150 -1.414 19.162 -14730.24 0.0016 0.00549  
 1.5700 1.0299 -2.000 -61.891 -8458.87 0.0022 0.00265  
 2.3550 1.5449 -1.416 -106.723 2762.83 0.0016 -0.00173  
 3.1400 2.0599 -0.003 -89.099 12367.65 0.0000 -0.00510  
 3.9250 2.5748 1.411 -19.332 14734.64 -0.0016 -0.00549  
 4.7100 3.0898 2.000 61.749 8478.56 -0.0022 -0.00266  
 5.4950 3.6048 1.418 106.693 -2739.36 -0.0016 0.00172  
 6.2800 4.1198 0.006 89.197 -12354.15 0.0000 0.00510



## ZAKLJUČAK

Opisani postupak određivanja gibanja poniranja i posrtanja te dodatnog otpora (pada brzine) na nepravilnom valovlju treba, prvenstveno, poslužiti projektantu kao alat kod izrade projekta broda. Pitanje gibanja broda, posebno poniranja i posrtanja, postaje, u novije vrijeme, sve značajnije s obzirom na probleme zalijevanja morem i udaranja pramcem, što je vezano za dodatno opterećenje konstrukcije.

Suvremeni pristup projektiranju broda zahtijeva cjelovitu analizu ponašanja broda na određenoj ruti u toku radnog vijeka. Zbog toga, određivanje vjerojatnosti određenog nivoa pojava, ili njihovog premašivanja, koje su od interesa za brodovlasnika i posadu, predstavlja kriterij za donošenje određenih odluka u toku izrade projekta (forma, brzina). Prikazana metoda određivanja dodatnog otpora na nepravilnom valovlju daje mogućnost analize putovanja broda vezano za mogućnost održavanja brzine u realnim uvjetima, odnosno, postizanje maksimalne prosječne brzine koja je stvarno mjerodavna kad se govori o ekonomičnosti broda.

Praksa procjenjivanja dodatnog otpora uslijed vjetra i valova na 15 — 30% je, uglavnom, napuštena. Suv-

remeni pristup problemu zahtijeva matematičke modele koji mogu simulirati realne uvjete plovidbe. Probabilistički pristup s opisivanjem morske površine statističkim metodama, opisivanje funkcija odziva također statističkim metodama, daje mogućnost realnijeg sagledavanja ponašanja broda u realnim uvjetima vjetrovnog valovlja. Mogućnost dobivanja dugoročnih ili kratkoročnih prognoza za svaki plovni objekt ima višestruku korist bilo da se radi o izradi projekta ili analizi postojećeg broda.

## LITERATURA

- 1) Bhattacharyya R., »Dynamics of Marine Vehicles«, U. S. Naval Academy, Annapolis, 1978.
- 2) Grim O., »Die Schwingungen von Schwimmenden Zweidimensionalen Körpern«, HSWA Report, 1958.
- 3) Korvin—Krukovsky, B.V., »Theory of Seakeeping«, SNAME, 1961.
- 4) Yourkov N., »Vertical Motions with Different Forms of Forebody«, ISP, 1973.
- 5) Strom—Tejson, J., H.Y.H. Yeh. and D. D. Moron, »Added Resistance in Waves«, Trans. SNAME, 1973.
- 6) Bales, N.K. and W.E. Cummins, »The influence of Hull Form on Seakeeping«, Trans. SNAME, 1970.