



nesreće brodah, naplavnih proboja brodova. Neobhodno je to, naime radi spomenutih međuovisnosti dotičnih raspodjela, dvo- i tro-dimenzionalne, a i osnovne značajke volumena

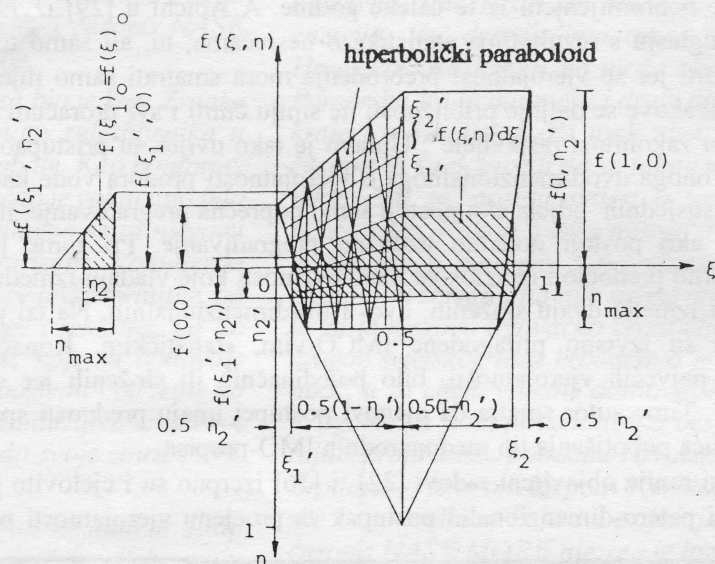
Taj je trodimenzionalni postupak razvijen u radu [38] no daljnjim su istraživanjima postignuta značajna usavršenja i sukladnosti: Svi se izrazi preuzimaju iz dvodimenzionalnog postupka samo poprečnoga pregrađivanja, i novi se postižu zbrajanjem i odbijanjem ovih, čime su sve provjere podpune točnosti lake i zora u [38] nekih sitnijih pogrešaka u tabelama koeficijenata polinoma i pogrešno napisanoga izraza (13). Tako su, eto, ove ne. Umjesto deset zaključeno je, kada su brodovi pregrađeni u sva tri smjera, poprečno, uzdužno i horizontalno. Tada je uključeno ovih pet slučajnih veličina: uzdužni i vertikalni položaj proboja kao i njegove duljina, visina i dubina. Zato će se ovdje iz [36] ponoviti samo ono što je neobhodnih raspodjela su istovjetno ostvarene. To se čini jer se i taj autorov postupak predlaže za spomenuta poboljšanja i to u usavršenom obliku, istovjetnom onome kod ovoga konačno razvijenoga trodimenzionalnog postupka. o i to samo za autorov drugi postupak o uzdužnim položajima i duljinama sudarni o dovoljnosti pet slojeva triju navedenih slučajnih veličina. Odpala je i potreba ispravljanjokolnosti doprinijele napredku. Na kraju treba reći kako će se svi broječni podatci navadati u do pet decimala jer to zahtijeva Dokument [33], Dio B, Pravilo 25-4.

## 2. Jakićev drugi postupak za samo poprečno pregrađivanje broda.

Kako je rečeno u Uvodu, ovdje će se samo neobhodno ponoviti iz [36], gdje je cjelovito objavljen taj postupak i sve uz njega vezano. Taj se odnosi samo na uzdužne položaje i duljine sudarnih, naplavnih proboja. Kod takovih nesreća te dvije veličine mogu imati različite vrijednosti koje slučajno poprimaju, zato su to slučajne veličine, čije se vrijednosti mogu pojaviti samo unutar pune duljine broda. Upotrijebivši oznake:  $x$ , za vrijednosti u metrima, uzdužnih položaja od krmenoga kraja pregradne duljine broda,  $L_s$ , do polovine duljine proboja, i  $y$  za oznaku duljine proboja, uvađamo dotične bezdimenzionalne veličine:

$$\xi = \frac{x}{L_s} \quad ; \quad \eta = \frac{y}{L_s} \quad (1)$$

Kod slučajnih veličina neke se vrijednosti obično pojavljuju češće od drugih. To je opisano različitim vrijednostima gustoće raspodjele s oznakama  $f(x, y)$  ili  $f(\xi, \eta)$  za taj dvodimenzionalni događaj. Vjerojatnost je pojave takovog događaja predstavljena volumenom i složena je raspodjela  $f(\xi, \eta)$  toga autorovog, drugog postupka prikazana na slici 1. preuzetoj iz [36].



Slika 1. Složena gustoća raspodjele  $f(\xi, \eta)$  Jakićevog drugog postupka.



Ta je složena raspodjela  $f(\xi, \eta)$  sastavljena na osnovama oblika i odnosa što postoje kod IMCO-vih pojedinačnih raspodjela,  $f(\xi)$  i  $f(\eta)$ . Složena raspodjela  $f(\xi, \eta)$  pada pravocrtno u ravninama  $\xi = \text{const.}$ , te isto tako, pravocrtno raste na krmenoj polovini, od krme ka pramcu, u ravnini  $\eta = 0$ , i u svim ostalim ravninama  $\eta = \text{const.}$ , što oblikuje dotičnu krmenu prostornu površinu kao hiperbolični paraboloid. Od svih simbola na toj slici 1. ovdje trebamo samo krajnje vrijednosti u ravnini  $\eta = 0$ ,  $f(0, 0)$  i  $f(1, 0)$ . Prema Uvodu svagdje se usvaja jedinična vrijednost za najveću vjerojatnost, pa ovdje toliko iznosi ukupni volumen ove složene raspodjele.

U usvojenoj pravocrtnoj raspodjeli duljina proboja,  $f(\eta)$ , IMCO je pošao od statističkoga zaključka da su pojave vrijednosti iznad 24% od cijele duljine  $L_s$  zanemarivo neznatne, ako  $L_s$  ne prelazi 200 m. Ako prelazi, ne očekuju se proboji dulji od 48 m. Vrijedi, dakle, izraz:

$$0.24 \geq \eta_{\max} = \frac{48}{L_s} \quad (2)$$

Za najveću usvojenu, jediničnu vrijednost volumena, i trostrukoga odnosa, i krajnje se vrijednosti ove složene raspodjele u ravnini  $\eta = 0$  preuzimaju iz [36]:

$$f(1, 0) = \frac{72}{\eta_{\max} (30 - 8\eta_{\max} - \eta_{\max}^2)} \quad (3)$$

$$f(0, 0) = \frac{f(1, 0)}{3} \quad (4)$$

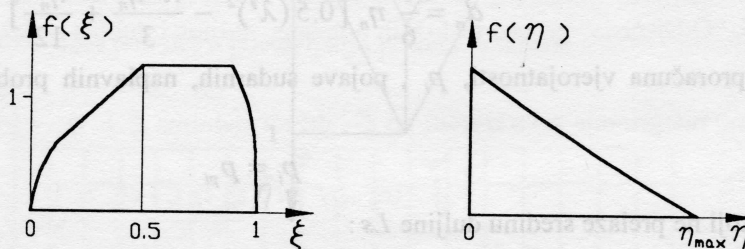
Izraz (3) dobijen je iz ukupnoga volumena:

$$\frac{1}{72} f(1, 0) \eta_{\max} (30 - 8\eta_{\max} - \eta_{\max}^2) = 1 \quad (5)$$

U [36] je pokazano da površine presjeka toga volumena  $f(\xi, \eta)$  ravninama  $\xi = \text{const.}$  daju vrijednosti pripadajućih pojedinačnih raspodjela  $f(\xi)$  a one iz presjeka s ravninama  $\eta = \text{const.}$  opet vrijednosti pripadajućih pojedinačnih raspodjela  $f(\eta)$ . Tamo je prikazano dobro podudaranje tih raspodjela s IMCO-vim statističkima. U slici 2. su i ovdje skupa prikazane a napisati ćemo i dotične izraze:

$$f(\xi) = \int f(\xi, \eta) d\eta \quad (6)$$

$$f(\eta) = \int f(\xi, \eta) d\xi \quad (7)$$



Slika 2. Jakićeve pojedinačne gustoće raspodjela uzdužnih položaja i duljina sudarnih, naplavnih proboja.

Pravocrtni je tok ove složene raspodjele u ravnini  $\eta = 0$  izražen ovako:

$$f(1, 0) \geq f(\xi, 0) = \frac{f(1, 0)}{3} (1 + 4\xi) \quad (8)$$

Još preostaje napisati izraze ove vjerojatnosti pojava udužnih položaja i duljina sudarnih, naplavnih proboja. Pri tome će biti razlika u nekim oznakama i oblicima izraza spram [36], radi poboljšanja i usklađenja s novim, trodimenzionalnim postupkom. Namjerno se izbjegava IMO-oblik,  $p_i = a p$ , jer umnožak može pogrešno navadati na pomisao o nezavisnosti tih dvaju faktora:  $a$  je povezan s položajima, a  $p$  s duljinama tih proboja. Inače postoje dva odvojena područja i to prvo za odjele ili grupe što ne prelaze polovinu duljine  $L_s$ , a mogu biti i na samim krajevima broda, i za one što se nalaze oko te polovine. Od ostalih ovdje potrebnih oznaka,  $\lambda$  znači bezdimenzionalnu duljinu odjela ili grupe,  $l$  tu duljinu u metrima,  $\xi_1, \xi_2, x_1$  i  $x_2$ , jesu bezdimenzionalne udaljenosti i one u metrima, krmenoga kraja, 1, i pramčanoga, 2, kraja odjela ili grupe, od krmenog kraja duljine  $L_s$ , a  $\xi_{12}$  je bezdimenzionalna udaljenost polovine duljine odjela ili grupe od toga, krmenog kraja  $L_s$ . To je opisano izrazima:

$$\lambda = \frac{l}{L_s}; \quad \xi_1 = \frac{x_1}{L_s}; \quad \xi_2 = \frac{x_2}{L_s}; \quad \xi_{12} = 0.5 (\xi_1 + \xi_2) \quad (9)$$

Veličina  $f(\xi_{12}, 0)$  predstavlja vrijednost složene gustoće raspodjele u sredini duljine odjela ili grupe, u ravnini  $\eta=0$ , i računa se po izrazu (8). Oznaka  $\lambda'$  preuzeta je od IMO-a i računa se po izrazima:

$$\text{Za:} \quad \xi_{12} \leq 0.5 \quad \lambda' = 2 \xi_2 - 1 \quad (10)$$

$$\text{Za:} \quad \xi_{12} \geq 0.5 \quad \lambda' = 1 - 2 \xi_1 \quad (11)$$

Kod novoga će se postupka vidjeti da se pored najveće duljine proboja  $\eta_{\max}$  kao značajne veličine pojavljuju i dvije manje  $\eta_1$  i  $\eta_2$ , pa zato  $\eta_{\max}$  postaje treća,  $\eta_3$ , u redosljedu s oznakom  $n$ :

$$\eta_{\max} = \eta_3 \quad ; \quad n = 3 \quad (12)$$

Uvode se i novi izrazi  $a, b, c$  i  $d$ :

$$a_n = 0.5 \lambda^2 \left(1 - \frac{\lambda}{3 \eta_n}\right) \quad (13)$$

$$b_n = 0.5 \lambda \eta_n \left(1 - \frac{\eta_n}{3 \lambda}\right) \quad (14)$$

$$c_n = \frac{1}{18} (\lambda')^3 \left(1 - 0.25 \frac{\lambda'}{\eta_n}\right) \quad (15)$$

$$d_n = \frac{1}{6} \eta_n \left[0.5 (\lambda')^2 - \frac{\lambda' \eta_n}{3} + \frac{\eta_n^2}{12}\right] \quad (16)$$

Slijedi i kraj toka proračuna vjerojatnosti,  $p_i$ , pojave sudarnih, naplavnih proboja za samo poprečno pregrađen brod:

$$p_i = p_{pi} \quad (17)$$

Za odjele ili grupe koji ne prelaze sredinu duljine  $L_s$ :

$$\xi_1 \geq 0.5 \quad \text{ili} \quad \xi_2 \leq 0.5 : \quad p_{pi} = p_p \quad (18)$$

Za odjele ili grupe koji prelaze sredinu  $L_s$  potrebno je oduzeti odbitak  $q_p$ :

$$\xi_1 < 0.5 < \xi_2 \quad : \quad p_{pi} = p_p - q_p \quad (19)$$

I konačno:

$$\text{Za:} \quad \lambda \leq \eta_{\max} : \quad p_p = f(\xi_{12}, 0) \cdot a_3 \quad (20)$$

$$\text{Za:} \quad \lambda \geq \eta_{\max} : \quad p_p = f(\xi_{12}, 0) \cdot b_3 \quad (21)$$

$$\text{Za:} \quad \lambda' \leq \eta_{\max} : \quad q_p = f(1, 0) \cdot c_3 \quad (22)$$

$$\text{Za:} \quad \lambda' \geq \eta_{\max} : \quad q_p = f(1, 0) \cdot d_3 \quad (23)$$



Ističe se kako je ovaj postupak kraći od zadnjeg postupka IMO iz [17] jer odpada posebnost za odjele ili grupe s krajeva broda, koja tamo uzrokuje nejednolikosti zbog uvedenih "impulsa".

### 3. Jakićev postupak kada uz poprečno postoji i uzdužno pregrađivanje broda.

Tada uz slučajne veličine iz izraza (1) nesreću opisuje i dubina proboja označena sa  $z$ , u metrima, te bezdimenzionalno,  $\zeta$ , u odnosu na širinu broda,  $B$ :

$$\zeta = \frac{z}{B} \quad (24)$$

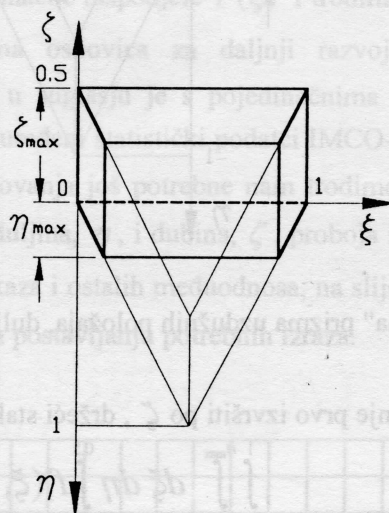
Statistički je zaključeno kako se može uzeti da središnja uzdužna pregrada, ako postoji, nikada neće biti kod sudara probijena, pa odatle slijedi:

$$\zeta_{\max} \leq 0.5 \quad (25)$$

Usvojimo li, prema Uvodu, jediničnu vrijednost kao najveću moguću za vjerojatnost pojave svih takovih nesreća, to jest svih mogućih uzdužnih položaja, duljina i dubina proboja, onda to prikazuje izraz:

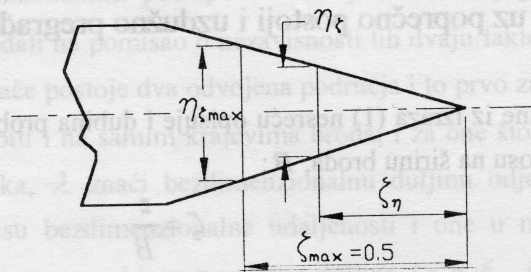
$$\int_0^1 \int_0^{\eta_{\max}} \int_0^{0.5} f(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta = 1 \quad (26)$$

Sve se moguće vrijednosti slučajnih veličina  $\xi$ ,  $\eta$  i  $\zeta$ , nalaze unutar prizme na slici 3. nacrtane u ortogonalnoj projekciji.



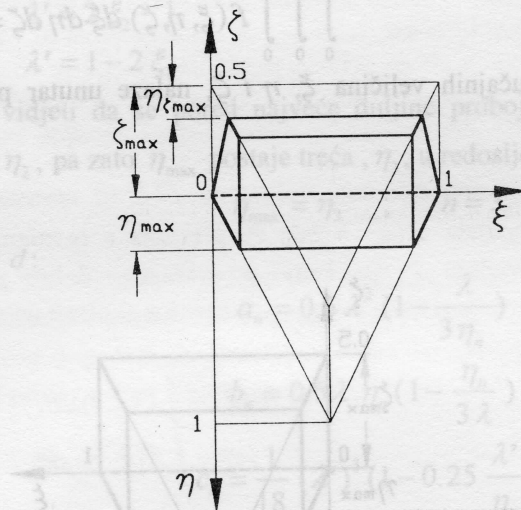
Slika 3. Prizma uzdužnih položaja, duljina i dubina sudarnih proboja.

Najveće se dubine proboja dešavaju kada brod udara okomito na bok udarenoga broda. Ako udara zašiljeni pramac onda se najveća moguća dubina,  $\zeta_{\max} = 0.5$ , dešava uz određenu duljinu  $\eta_{\zeta_{\max}}$ . Kod manjih duljina,  $\eta_{\zeta}$ , i najveće dubine su manje,  $\zeta_{\eta} < 0.5$ . To je pokazano na slici 4.



Slika 4. Ograničene najveće moguće dubine sudarnih proboja.

Time umjesto one sa slike 3. stvarna prizma postaje "odsječena" prema slici 5.



Slika 5. "Odsječena" prizma uzdužnih položaja, duljina i dubina sudarnih proboja.

U izrazu (26) možemo integriranje prvo izvršiti po  $\zeta$ , držeći stalnima  $\xi$  i  $\eta$ :

$$\int_0^1 \int_0^{\eta_{\max}} d\xi d\eta \int_0^{0.5} f(\xi, \eta, \zeta) d\zeta = 1 \quad (27)$$

I svi mogući dvodimenzionalni događaji imaju jediničnu vrijednost vjerojatnosti pojave:

$$\int_0^1 \int_0^{\eta_{\max}} f(\xi, \eta) d\xi d\eta = 1 \quad (28)$$

Za prizme iz slika 3. i 5. te dvije jednačbe daju slijedeće izraze:

$$\int_0^{0.5} f(\xi, \eta, \zeta) d\zeta = f(\xi, \eta); \quad \text{ili:} \quad \int_0^{\xi_{\eta}} f(\xi, \eta, \zeta) d\zeta = f(\xi, \eta) \quad (29)$$

Ovi izrazi (29) predstavljaju međuovisnost trodimenzionalne i dvodimenzionalne raspodjele pa će se i s tim u suglasju ovdje kasnije postupiti. Drugi je oblik toga izraza sadržan u prvome, pa će se samo prvi



dalje rabiti. Prema drugome bi izrazu (29) dvodimenzionalna raspodjela  $f(\xi, \eta)$  imala vrijednosti nula, u ravnini  $\eta = \eta_z = 0$  "odsječene" prizme, a iz radova [22] i [36], kao i iz ovdašnje slike 1. vidi se kako sve tamo prikazane raspodjele  $f(\xi, \eta)$ ; IMCO-va, Pawlowskijeva te Jakićeva prva i druga, naprotiv tu imaju svoje najveće vrijednosti. Zato se kod svih tih raspodjela ne može u potpunosti primijeniti "odsječena" prizma, no to i nije pogreška jer vjerojatnosti predstavljaju ili površine ili tro- ili višedimenzionalne volumene i ta početna, geometrijska nepodudarnost time ne dovodi do daljnjih netočnosti. Zato će se ovdje kasnije koristiti prizma sa slike 3. no ne u izvornom obliku, nego kao neznatno "izrezana".

Izraz (26) može se i ovako napisati:

$$\int_0^{0.5} d\zeta \int_0^1 \int_0^{\eta_{\max}} f(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta = 1 \quad (30)$$

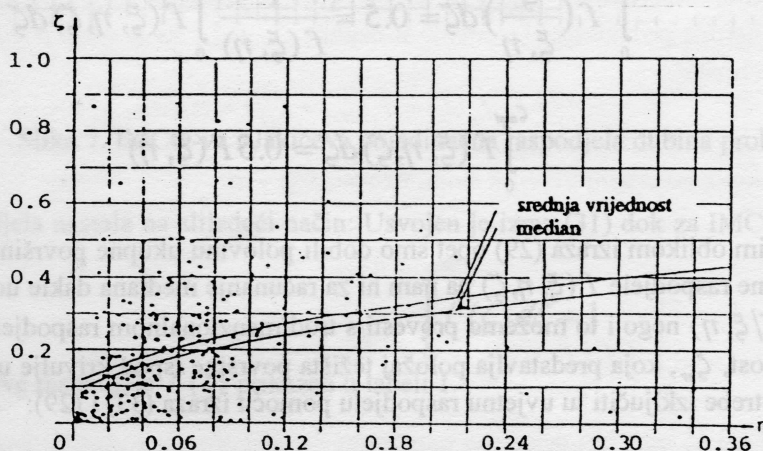
Pri tome bi se u prizmama iz slika 3. i 5. sjekle ravnine  $\zeta = const.$  i u tim presjecima računali volumeni ispod prostorne površine pripadajuće trodimenzionalne raspodjele  $f(\xi, \eta, \zeta)$ . Zatim bi se integriranjem po  $\zeta$  računala površina ispod krivulje tih volumena i ta bi dala najveću, jediničnu vrijednost. Takvu vrijednost ima i vjerojatnost pojava svih mogućih dubina proboja, kao pojedinačnoga događaja:

$$\int_0^{0.5} f(\zeta) d\zeta = 1 \quad (31)$$

Tako iz ova dva izraza, (30) i (31) dobivamo treći:

$$\int_0^1 \int_0^{\eta_{\max}} f(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta = f(\zeta) \quad (32)$$

Izraz (32) predstavlja međuovisnost pojedinačne raspodjele  $f(\zeta)$  i trodimenzionalne  $f(\xi, \eta, \zeta)$  pa je to s navedenim uz izraze (29) dragocjena osnovica za daljnji razvoj ovoga postupka: Usvojena dvodimenzionalna raspodjela iz slike 1. u suglasju je s pojedinačnima iz slike 2., a za pojedinačnu raspodjelu dubina proboja,  $f(\zeta)$  postoje uređeni statistički podatci IMCO-a. I ova će, dakle, pojedinačna raspodjela odigrati bitnu ulogu kod oblikovanja još potrebne nam trodimenzionalne,  $f(\xi, \eta, \zeta)$ . Ista je statistika pokazala izrazitu međuovisnost duljina,  $\eta$ , i dubina,  $\zeta$ , proboja izraženu medianom i srednjom vrijednošću, pa prije zornih, slikovnih prikaza i ostalih međuodnosa, na slijedećoj slici 6. počnimo s tima, zadnjima. Tu će nam naime slika pomoći u postavljanju potrebnih izraza.



Slika 6. IMCO-vi odnosi između duljina i dubina sudarnih proboja.

Mediani se i srednje vrijednosti računaju iz raspodjela, ovdje je to učinjeno u ovisnosti o dubinama proboja  $\zeta$ , i to za razne duljine,  $\eta$ , čime je i pokazana njihova međuovisnost. No iako nijedna od te dvije slučajne veličine ne ovise o trećoj,  $\xi$ , osim one, i te kako značajne ovisnosti što slijedi od mjerenja  $\xi$  do sredine  $\eta$ , ovdje ćemo računati s uvjetnom raspodjelom

$$f\left(\frac{\zeta}{\xi, \eta}\right)$$

umjesto s  $f(\zeta/\eta)$  iz IMCO-ve slike 6. To je naime najčistije jer se sve tri uvijek pojavljuju skupa i na taj ćemo način u odnose uključiti i preostalu još potrebnu nam trodimenzionalnu raspodjelu  $f(\xi, \eta, \zeta)$ . Uvjetna raspodjela

$$f\left(\frac{\zeta}{\xi, \eta}\right)$$

teče u smjeru  $\zeta$  od 0 do  $\zeta_{\max} = 0.5$ , uz stalne  $\xi$  i  $\eta$  pa je pri tome i dvodimenzionalna raspodjela  $f(\xi, \eta)$  stalna. Vrijede odnosi:

$$f\left(\frac{\zeta}{\xi, \eta}\right) = \frac{f(\xi, \eta, \zeta)}{f(\xi, \eta)} ; \quad f(\xi, \eta, \zeta) = f\left(\frac{\zeta}{\xi, \eta}\right) f(\xi, \eta) \quad (33)$$

Sada se izraz (26) može ovako razvijati:

$$\int_0^1 \int_0^{\eta_{\max}} \int_0^{0.5} f\left(\frac{\zeta}{\xi, \eta}\right) f(\xi, \eta) d\xi d\eta d\zeta = \int_0^1 \int_0^{\eta_{\max}} f(\xi, \eta) d\xi d\eta \int_0^{0.5} f\left(\frac{\zeta}{\xi, \eta}\right) d\zeta = 1 \quad (34)$$

Zbog (28) iz (34) slijedi:

$$\int_0^{0.5} f\left(\frac{\zeta}{\xi, \eta}\right) d\zeta = 1 \quad (35)$$

I ukupna površina ispod krivulje te uvjetne raspodjele ima dakle jediničnu vrijednost. Iz rečenoga, median treba računati s uvjetnom raspodjelom  $f(\zeta/\xi, \eta)$ , to jest s raspodjelom dubina proboja  $\zeta$ , kod stalnih  $\xi$  i  $\eta$ , i to za razne  $\eta$ . Osnovni će se izraz mediana odmah i dalje razviti onako kako nam treba, a daje polovinu ukupne površine iz izraza (35):

$$\int_0^{\zeta_{\text{med}}} f\left(\frac{\zeta}{\xi, \eta}\right) d\zeta = 0.5 = \frac{1}{f(\xi, \eta)} \int_0^{\zeta_{\text{med}}} f(\xi, \eta, \zeta) d\zeta \quad (36)$$

Odavde izlazi:

$$\int_0^{\zeta_{\text{med}}} f(\xi, \eta, \zeta) d\zeta = 0.5 f(\xi, \eta) \quad (37)$$

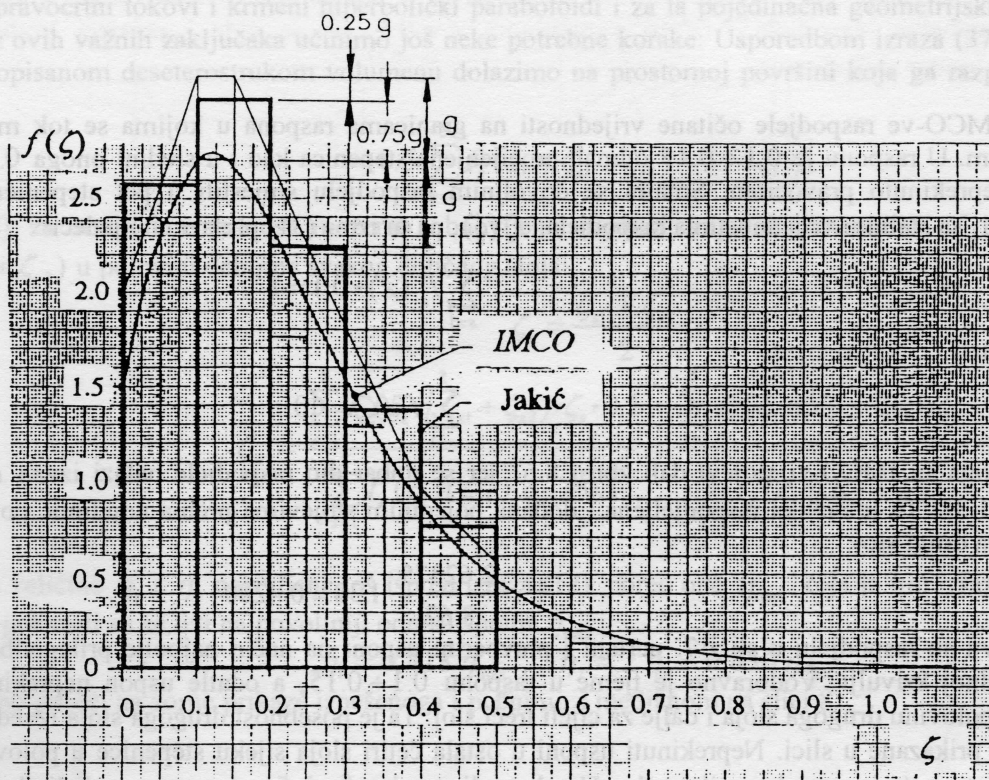
Usporedbom (37) s prvim oblikom izraza (29) opet smo dobili polovinu ukupne površine, ovaj puta ispod krivulje trodimenzionalne raspodjele  $f(\xi, \eta, \zeta)$  pa nam ni za računanje mediana dakle uopće nije potrebna uvjetna raspodjela  $f(\zeta/\xi, \eta)$  nego i to možemo provesti s trodimenzionalnom raspodjelom. Preostaje još odrediti srednju vrijednost,  $\zeta_{sr}$ , koja predstavlja položaj težišta površine ispod krivulje uvjetne raspodjele. I tu ćemo odmah iz upotrebe izključiti tu uvjetnu raspodjelu pomoću izraza (33) i (29):



$$\zeta_{sr} = \frac{\int_0^{0.5} f\left(\frac{\zeta}{\xi, \eta}\right) \zeta d\zeta}{\int_0^{0.5} f\left(\frac{\zeta}{\xi, \eta}\right) d\zeta} = \frac{\int_0^{0.5} f(\xi, \eta, \zeta) \zeta d\zeta}{\int_0^{0.5} f(\xi, \eta, \zeta) d\zeta} = \frac{\int_0^{0.5} f(\xi, \eta, \zeta) \zeta d\zeta}{f(\xi, \eta)} \quad (38)$$

I ovdje smo dakle uspjeli, kao i u radu [36], kod razvijanja autorove druge dvodimenzionalne raspodjele  $f(\xi, \eta)$ , izključiti uvjetne raspodjele, jer se te ne mogu dobiti izravno iz statističkih podataka, kao ni dvo- i tro- dimenzionalne raspodjele koje osnivamo. Umjesto toga ćemo i ovdje pri tome rabiti odnose i zakonitosti koje smo prikazali. Od niza mogućnosti postignutih istraživanjima ovdje ćemo prikazati postignuće koje smatramo najpovoljnijim i to najzornijim redoslijedom.

Na slijedećoj su slici 7. prikazane pojedinačne raspodjele dubina proboja,  $f(\zeta)$ , IMCO-va, log-normalna i Jakićeva, stepenasta.



Slika 7. IMCO-va i Jakićeva pojedinačna raspodjela dubina proboja.

Jakićeva je raspodjela nastala na slijedeći način: Usvojen je izraz (31) dok za IMCO-vu raspodjelu vrijedi slijedeći :

$$\int_0^{\infty} f(\zeta) d\zeta = 1 \quad (39)$$

Proračun je Jakićeve raspodjele  $f(\zeta)$  prikazan u tabeli 1.

Tabela 1. Proračun Jakićeve raspodjele dubina proboja.

$\zeta$																		$\Sigma$		
	0	0.025	0.05	0.075	0.1	0.1+0.15	0.15	0.175	0.2	0.2+0.3	0.3	0.35	0.4	0.4	0.45	0.5				
IMCO $f(\zeta)$	Oč.	1.48	1.97	2.31	2.53	2.71	2.73	2.66	2.53	2.35	1.93	1.53	1.17	0.87	0.87	0.64	0.47			
	Račun	1.725		2.14	2.42	2.62	2.73	2.595		2.44	1.93	1.35		1.02	0.755		0.555			
		1.9325			2.52			2.73	2.5175			1.93	1.185			0.655				
		2.22625						2.62375						1.93	1.185			0.655		8.62
Jakić	+	0.35641				0.42004				0.30898				0.18971				0.10486		1.38
$f_s(\zeta)$	2.58266				3.04379				2.23898				1.37471				0.75986		10	

Tu su s IMCO-ve raspodjele očitane vrijednosti na granicama raspona u kojima se tok može smatrati pravocrtnim. U rasponu je  $0.1 \div 0.15$  odmah procijenjena stepenica kao i u sredini onoga  $0.2 \div 0.3$  koji izgleda neprekinuto pravocrtan. Smatra se dovoljnim raspodjelu smjestiti u pet stepeničastih slojeva debljne 0.1, sa stalnim vrijednostima raspodjela,  $f_s(\zeta)$ , pa tu izraz (31) prelazi u slijedeći:

$$\sum_{s=1}^5 f_s(\zeta) \cdot 0.1 = 1 \quad (40)$$

Odatle izlazi:

$$\sum_{s=1}^5 f_s(\zeta) = 10 \quad (41)$$

Umjesto toga su IMCO-vi slojevi dali zbroj 8.62 jer se dobar dio raspodjele nalazi izvan  $\zeta_{\max} = 0.5$ , i razlika je 1.38. Ta je razlika raspodjeljena i dodana pojedinim slojevima prema udjelima, po slijedećemu primjeru za drugi sloj:

$$+ = \frac{2.62375}{8.62} \cdot 1.38 = 0.42004 \quad (42)$$

Za Jakićevu su raspodjelu u slici 7. ucrtani i pravocrtni usponi na način najbolje prilagodbe IMCO-voj log-normalnoj krivulji: Vodoravno je tjeme u rasponu  $0.1 \div 0.15$ , a odatle uspon neprekinuto teče za preostalu polovinu drugoga sloja i dalje za cijeli treći sloj. Ta je posebnost drugoga sloja izvedena pomoću veličine  $g$  prikazane u slici. Neprekinuti usponi u ostala četiri sloja sijeku stepenice u polovini raspona. Vidi se postignuće izvanredne prilagodbe. Uvedemo li oznake  $\zeta_{s1}$  i  $\zeta_{s2}$  za granice pojedinih slojeva onda za autorovu raspodjelu vrijedi:

$$f_s(\zeta) = f_s(\zeta_{s1} \div \zeta_{s2}) = const. \quad (43)$$

U tim granicama dakle mora i integral (32) biti stalan, a to je moguće samo ako je trodimenzionalna raspodjela  $f(\xi, \eta, \zeta)$  takova po cijeloj debljini sloja, uz stalne  $\xi$  i  $\eta$ :

$$f_s(\xi, \eta, \zeta_{s1} \div \zeta_{s2}) = const. \quad (44)$$

Izraz (32) sada glasi:

$$\int_0^1 \int_0^{\eta_{\max}} f(\xi, \eta, \zeta_{s1} \div \zeta_{s2}) d\xi d\eta = f_s(\zeta) = const. \quad (45)$$

Prema obrazloženju iza izraza (30) integral (45) predstavlja volumen iznad trapezne osnovice odsječene ravninom  $\zeta = const.$ , bilo gdje u dotičnom sloju prizmi iz slika 3. i 5. I to volumen između te osnovice i



prostorne površine trodimenzionalne raspodjele  $f(\xi, \eta, \zeta_{s1} \div \zeta_{s2})$ . Ova dakle raspodjela mora tvoriti geometrijska tijela čiji će volumeni davati autorove pojedinačne raspodjele  $f_s(\zeta)$  iz tabele 1., a ta tijela imaju po jedan te isti oblik u cijeloj debljini svakog, pojedinog sloja.

I prvi oblik izraza (29) sada možemo ovako pisati:

$$\int_0^{0.5} f(\xi, \eta, \zeta) d\zeta = \sum_{s=1}^5 f_s(\xi, \eta, \zeta_{s1} \div \zeta_{s2}) \cdot 0.1 = f(\xi, \eta) \quad (46)$$

Odavde izlazi:

$$\sum_{s=1}^5 f_s(\xi, \eta, \zeta_{s1} \div \zeta_{s2}) = 10 f(\xi, \eta) \quad (47)$$

Zbroj (47) mora dakle dati deseterostruku autorovu dvodimenzionalnu raspodjelu  $f(\xi, \eta)$  iz slike 1. I taj će deseterostruki volumen zadržati sve značajke te slike, pravocrtne tokove raspodjele u ravninama  $\xi = const.$  i  $\eta = const.$  te krmenu prostornu površinu hiperboličkog paraboloida. Unutar toga će se volumena nalaziti svih pet slojeva koji ga tvore i od kojih svaki predstavlja volumen (45) s iznosom jednakim pojedinačnoj raspodjeli dubina proboja,  $f_s(\zeta)$  dotičnoga sloja. Iz toga su prirodno proizašli i spomenuti pravocrtni tokovi i krmeni hiperbolički paraboloidi i za ta pojedinačna geometrijska tijela. Za zorni prikaz ovih važnih zaključaka učinimo još neke potrebne korake: Usporedbom izraza (37) i (47) do mediana u opisanom deseterostrukom volumenu dolazimo na prostornoj površini koja ga razpolavlja po izrazu:

$$0.5 \sum_{s=1}^5 f_s(\xi, \eta, \zeta_{s1} \div \zeta_{s2}) = 5 f(\xi, \eta) \quad (48)$$

I izraz (38) za srednju vrijednost možemo obnovljeno napisati s položajem težišta  $\zeta_s$  raspodjele  $f(\xi, \eta, \zeta_{s1} \div \zeta_{s2})$  u polovini debljine svakog dotičnog sloja:

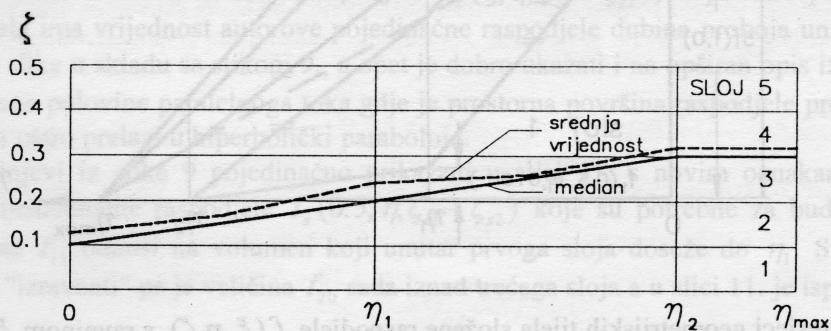
$$\zeta_s = \frac{\zeta_{s1} + \zeta_{s2}}{2} \quad (49)$$

$$\zeta_{sr} = \frac{\sum_{s=1}^5 f_s(\xi, \eta, \zeta_{s1} \div \zeta_{s2}) \cdot \zeta_s \cdot 0.1}{\sum_{s=1}^5 f_s(\xi, \eta, \zeta_{s1} \div \zeta_{s2}) \cdot 0.1} = \frac{\sum_{s=1}^5 f_s(\xi, \eta, \zeta_{s1} \div \zeta_{s2}) \cdot \zeta_s}{\sum_{s=1}^5 f_s(\xi, \eta, \zeta_{s1} \div \zeta_{s2})} \quad (50)$$

Za značajne veličine  $\eta_1$  i  $\eta_2$  najavljene još ispred izraza (12), pored one  $\eta_{max}$  koja je tim izrazom dobila oznaku  $\eta_3$ , pokazali su se ovi najpovoljniji odnosi spram  $\eta_{max}$ :

$$\eta_1 = 0.418 \eta_{max}; \quad \eta_2 = 2 \eta_1 = 0.836 \eta_{max} \quad (51)$$

Sada možemo prijeći na zorne prikaze iznešenoga i počnimo s medianom na slici 8.



Slika 8. Jakićeve srednje vrijednosti i median odnosa između duljina i dubina proboja.

Zajedno su prikazane i srednje vrijednosti, a o proračunu po izrazu (50) biti će još kasnije govora. Kako se vidi median je neprekinutoga pravocrtnog uspona od  $\zeta = 0.1$  do  $0.3$ , od nule do  $\eta_2$ , a dalje je stalan, kasnije će se vidjeti zašto je tako. Odmah možemo zaključiti kako median siječe drugi sloj u rasponu od

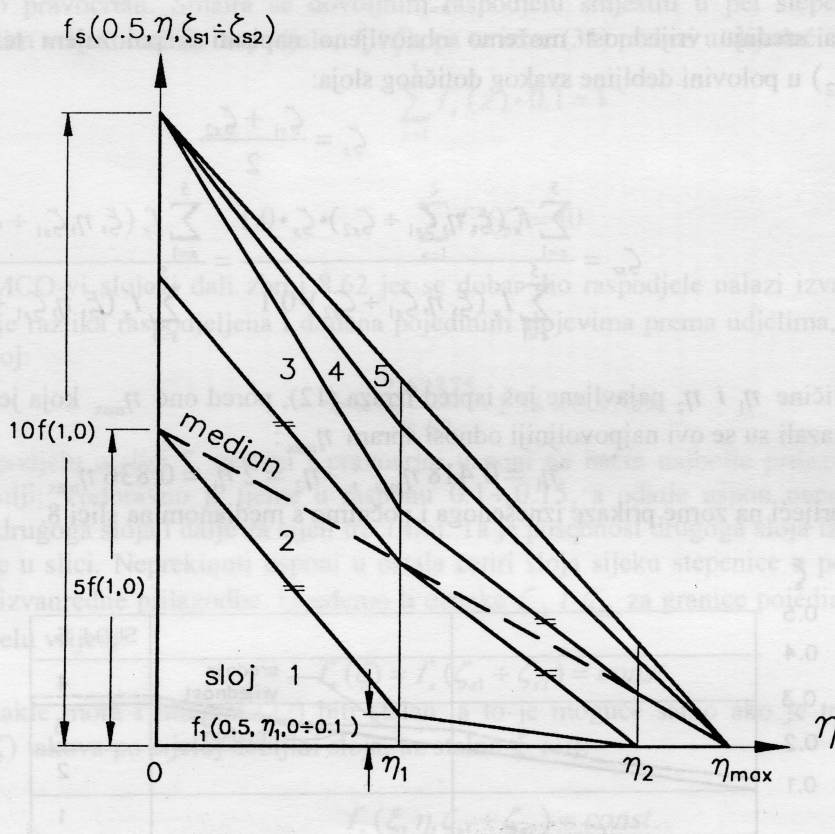
nule do  $\eta_1$ , a treći od  $\eta_1$  do  $\eta_2$ . Prema slici 8. prikazimo račun mediana za prvi raspon po izrazu (37), rabeći uvedene oznake i obrazloženja:

$$0.1 \cdot f_1(\xi, \eta, \zeta_{11} \div \zeta_{12}) + \frac{0.1}{\eta} \eta \cdot f_2(\xi, \eta, \zeta_{21} \div \zeta_{22}) = 0.5 f(\xi, \eta) \quad (52)$$

I sve ove trodimenzionalne raspodjele teku pravocrtno u smjeru osi  $\eta$ , u ravninama  $\xi = const.$ , a tu pravac medijana  $0.5 f(\xi, \eta)$  iz (37) neprekinuto pada kao i autorova dvodimenzionalna raspodjela  $f(\xi, \eta)$ . Površina prvoga člana iz (52) ima isti pravocrtni tok raspodjele jer je umnožak cijele, stalne debljine prvoga sloja, 0.1. Da bi obe dosegule do pravca  $0.5 f(\xi, \eta)$  mora i drugi član nadodati pravocrtni tok površine od drugoga sloja. No tu debljine pravocrtno rastu s  $0.1(\eta/\eta_1)$  pa u tome rasponu mora raspodjela  $f_2(\xi, \eta, \zeta_{21} \div \zeta_{22})$  biti stalna i u smjeru  $\eta$ . Slično je i s raspodjelom trećega sloja u rasponu od  $\eta_1$  do  $\eta_2$  pa vrijedi:

$$f_2(\xi, 0 \div \eta_1, \zeta_{21} \div \zeta_{22}) = const. ; f_3(\xi, \eta_1 \div \eta_2, \zeta_{31} \div \zeta_{32}) = const. \quad (53)$$

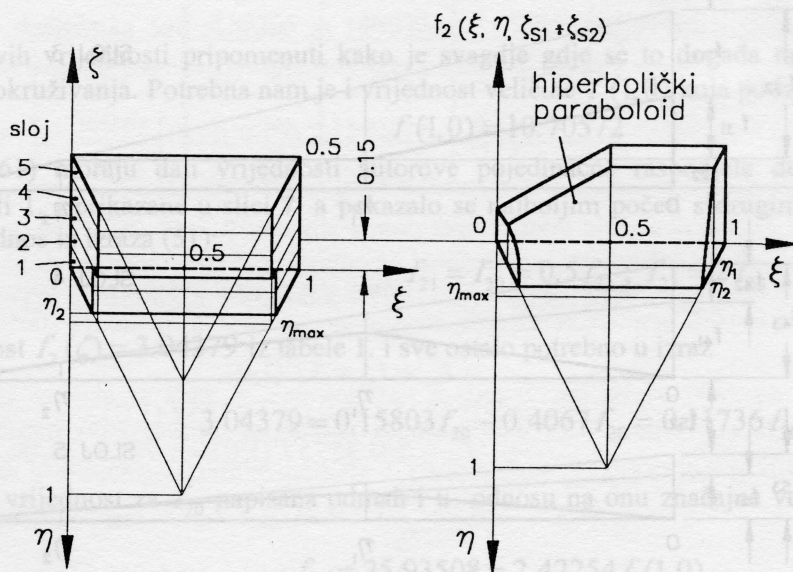
Slika 9. zorno prikazuje sve opisano iza izraza (47), a predstavlja presjek deseterostruke autorove dvodimenzionalne raspodjele  $f(\xi, \eta)$  s ravninom  $\xi = 0.5$ , pa se vide i presjeci trodimenzionalne raspodjele unutar svih slojeva.



Slika 9. Presjeci geometrijskih tijela složene raspodjele  $f(\xi, \eta, \zeta)$ , s ravninom  $\xi = 0.5$ , za svih pet slojeva.



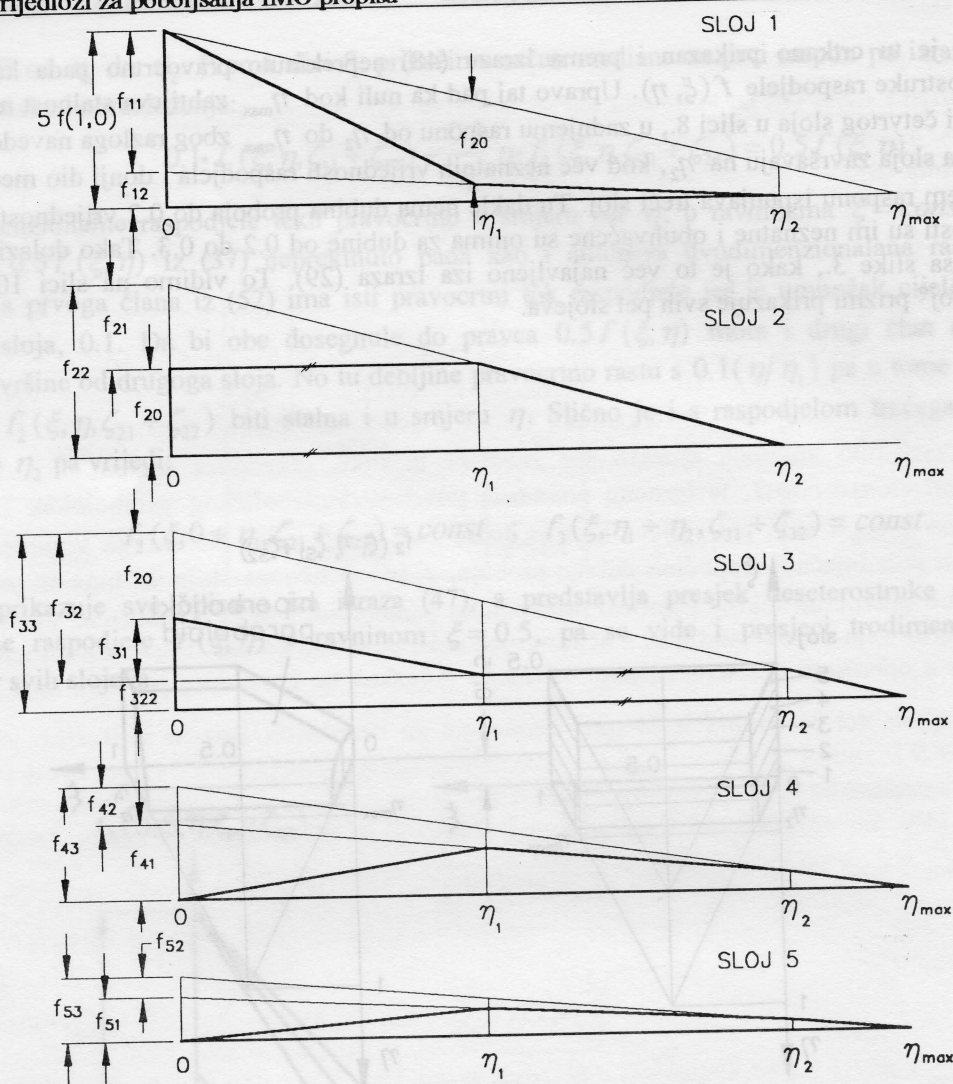
Median je tu crtkano prikazan i prema izrazu (48) neprekinuto pravocrtno pada kao i vršni pravac deseterostruke raspodjele  $f(\xi, \eta)$ . Upravo taj pad ka nuli kod  $\eta_{\max}$  zahtijeva stalnost mediana na granici trećega i četvrtog sloja u slici 8., u zadnjemu rasponu od  $\eta_2$  do  $\eta_{\max}$  zbog razloga navedenih uz izraz (52). Prva dva sloja završavaju na  $\eta_2$ , kod već neznatnih vrijednosti raspodjela i donji dio mediana umjesto tih, u zadnjem rasponu ispunjava treći sloj. Tu dakle nema dubina proboja do 0.2 vrijednosti, no ako ih i ima učestalosti su im neznatne i obuhvaćene su onima za dubine od 0.2 do 0.3. Tako dolazimo do "izrezane" prizme sa slike 3., kako je to već najavljeno iza izraza (29). To vidimo na slici 10. koja u takovoj "izrezanoj" prizmi prikazuje svih pet slojeva.



Slika 10. "Izrezana" prizma i Jakićeva trodimenzionalna, složena raspodjela unutar sloja 2.

Na toj je slici 10. prikazano geometrijsko tijelo nad trapeznom osnovicom odrezanoj na visini  $\zeta = 0.15$  pa do prostorne površine trodimenzionalne raspodjele  $f_2(\xi, \eta, \zeta_{21} \div \zeta_{22})$ , a prema opisu iza izraza (45) volumen toga tijela ima vrijednost autorove pojedinačne raspodjele dubina proboja unutar drugoga sloja,  $f_2(\zeta)$ . Taj je dio slike u skladu sa slikom 9., a opet je dobro ukazati i na opširan opis iza izraza (47). Vidi se i iznimka krmene polovine paralelnoga toka gdje je prostorna površina raspodjele prema krmu padajuća ravnina koja onda oštro prelazi u hiperbolički paraboloid.

Svi su slojevi iz slike 9 pojedinačno prikazani u slici 11. s novim oznakama onih značajnih vrijednosti trodimenzionalne raspodjele  $f_s(0.5, \eta, \zeta_{s1} \div \zeta_{s2})$  koje su potrebne za buduće proračune. Za primjer, oznaka se  $f_{11}$  odnosi na volumen koji unutar prvoga sloja doseže do  $\eta_1$ . Svi su slojevi osim prvoga u toj slici "izravnati" pa je veličina  $f_{20}$  sada iznad trećega sloja a u slici 11. je ispod toga.



Slika 11. Pojedinačni prikaz svih pet slojeva iz slike 9.

Ukupni volumen autorove složene raspodjele  $f(\xi, \eta)$  iz slike 1. ima jediničnu vrijednost a određen je izrazom (5). Usporedbom ove slike sa slikama 10. i 11. proizlazi kako se i volumeni trodimenzionalnih raspodjela pojedinih slojeva mogu računati na sličan način, ako se umjesto veličine  $f(0.5, 0) = f(1, 0)$  u tom izrazu upotrijebe odgovarajuće iz slike 11. a umjesto najveće duljine  $\eta_{\max} = \eta_3$  one do kojih dopiru volumeni slični onome iz slike 1. Tako dolazimo do slijedećih izraza za proračun autorovih pojedinačnih raspodjela dubina proboja,  $f_s(\zeta)$ , po slojevima, zbrajajući ili odbijajući pojedine volumene:

Za prvi sloj:

$$f_1(\zeta) = \frac{1}{72} f_{11} \eta_1 (30 - 8 \eta_1 - \eta_1^2) + \frac{1}{72} f_{12} \eta_2 (30 - 8 \eta_2 - \eta_2^2) \quad (54)$$

Svršishodno je za izraze koji se ponavljaju i tu uvesti nove oznake slično već učinjenom u izrazima (12) do (16):

$$e_n = \frac{1}{72} \eta_n (30 - 8 \eta_n - \eta_n^2) \quad (55)$$

Time izraze (5) i (54) možemo kraće napisati:

$$f(1, 0) \cdot e_3 = f(1, 0) \cdot e_{\max} = 1 \quad (56)$$

$$f_1(\zeta) = f_{11} \cdot e_1 + f_{12} \cdot e_2 \quad (57)$$

Gledajući na sliku 11. možemo nastaviti po slojevima:



$$\text{Za drugi sloj: } f_2(\zeta) = f_{22} * e_2 - f_{21} * e_1 \quad (58)$$

$$\text{Za treći sloj: } f_3(\zeta) = f_{33} * e_3 - f_{32} * e_2 + f_{31} * e_1 \quad (59)$$

$$\text{Za četvrti sloj: } f_4(\zeta) = f_{43} * e_3 - f_{42} * e_2 - f_{41} * e_1 \quad (60)$$

$$\text{Za peti sloj: } f_5(\zeta) = f_{53} * e_3 - f_{52} * e_2 - f_{51} * e_1 \quad (61)$$

Pojedine su raspodjele  $f_{11}$  i ostale u tim izrazima prvo izračunate za brodove čije pregradne duljine  $L_s$  ne prelaze 200 m i po izrazu (2) imaju  $\eta_{\max} = 0.24$ .

Tu izraz (55) s odnosima (51) daje slijedeće vrijednosti:

$$\eta_1 = 0.10032 ; \quad \eta_2 = 2 \eta_1 = 0.20064 ; \quad \eta_3 = \eta_{\max} = 0.24 \quad (62)$$

$$e_1 = 0.04067 ; \quad e_2 = 0.07901 ; \quad e_3 = e_{\max} = 0.09341 \quad (63)$$

Korisno je iza ovih vrijednosti pripomenuti kako je svagdje gdje se to događa računato s više od pet decimala prije zaokruživanja. Potrebna nam je i vrijednost veličine  $f(1,0)$  koja po izrazu (3) tu iznosi:

$$f(1,0) = 10.70572 \quad (64)$$

Izrazi (57) do (61) moraju dati vrijednosti autorove pojedinačne raspodjele dubina proboja  $f_s(\zeta)$  izračunate u tabeli 1. i prikazane u slici 7. a pokazalo se najboljim početi s drugim slojem jer tu prema slici 11. vrijedi odnos iz izraza (51):

$$f_{21} = f_{20} = 0.5 f_{22} ; \quad f_{22} = 2 f_{20} \quad (65)$$

Uvrstivši vrijednost  $f_2(\zeta) = 3.04379$  iz tabele 1. i sve ostalo potrebno u izraz (58) dobijemo:

$$3.04379 = 0.15803 f_{20} - 0.4067 f_{20} = 0.11736 f_{20} \quad (66)$$

Oдавde proizlazi vrijednost za  $f_{20}$  napisana odmah i u odnosu na onu značajne veličine  $f(1,0)$  prema (64):

$$f_{20} = 25.93508 = 2.42254 f(1,0) \quad (67)$$

Pokazalo se najboljim ovaj značajni odnos zaokružiti na dvije decimale jer su time dalje dobiveni i svi ostali potrebni koeficijenti zaokruženi na točne vrijednosti od najviše četiri decimale, pa imamo:

$$f_{20} = f_{21} = 2.42 f(1,0) = 25.90784 \quad (68)$$

S tim po izrazu (66) dobijemo za  $f_2(\zeta)$  vrijednost neznatno različitu spram one 3.04379 iz tabele 1., što je posve prihvatljivo:

$$f_2(\zeta) = 0.11736 f_{20} = 3.04059 \quad (69)$$

Vratimo se preskočenom, prvom sloju za koji prvo iz slika 9. i 11. raspoznamo slijedeće odnose:

$$0.5 f_{12} = 5 f(1,0) \left(1 - \frac{\eta_1}{\eta_{\max}}\right) - f_{20} = 2.91 f(1,0) - 2.42 f(1,0) = 0.49 f(1,0) \quad (70)$$

$$f_{12} = 0.98 f(1,0) ; \quad f_{11} = 5 f(1,0) - f_{12} = 4.02 f(1,0) \quad (71)$$

S tim i uvrstiv sve ostalo potrebno za taj sloj dobijemo po izrazu (57):

$$f_1(\zeta) = 2.57921 \quad (72)$$

Opet je neznatna razlika spram vrijednosti 2.58266 iz tabele 1. posve prihvatljiva.

Za treći sloj slijedi iz slika 9. i 11.:

$$f_{33} = 5 f(1,0) \quad (73)$$

$$f_{322} = f_{33} \left(1 - \frac{\eta_2}{\eta_{\max}}\right) = 0.82 f(1,0) \quad (74)$$

$$f_{32} = f_{33} - f_{322} = 4.18 f(1,0) \quad (75)$$

$$f_{31} = f_{32} - f_{20} = 1.76 f(1,0) \quad (76)$$

Imamo sve potrebno i izraz nam (59) daje:

$$f_3(\zeta) = 2.23036 \quad (77)$$

I opet je razlika spram vrijednosti 2.23898 iz tabele 1. neznatna i prihvatljiva.

U slikama je 9. i 11. vidljiva posvemašnja sličnost dvaju preostalih slojeva, četvrtoga i petoga, pa je iz toga lako zaključiti o stalnosti odnosa svih njihovih sličnih veličina. Najzgodnije ih je prvo skupa računati pa zatim izvršiti raspodjelu prema udjelima. Prema tabeli 1. udjeli su:

$$\frac{f_4(\zeta)}{f_4(\zeta) + f_5(\zeta)} = \frac{1.37471}{1.37471 + 0.75986} = 0.64402 \quad (78)$$

$$\frac{f_5(\zeta)}{f_4(\zeta) + f_5(\zeta)} = \frac{0.75986}{2.13457} = 0.35598 \quad (79)$$

Zbroj je ovih vrijednosti jedinica, kako i mora biti.

Pored zaokruženja koeficijenta veličine  $f_{20}$  u izrazu (68) za tamo je već najavljenju svrhu izražavanja koeficijenta još preostalih slojeva u četiri decimale, bilo potrebno vrijednosti odnosa iz izraza (78) i (79) ne samo zaokružiti nego i nešto izmijeniti:

$$f_4(\zeta) = 0.6425 [f_4(\zeta) + f_5(\zeta)] \quad (80)$$

$$f_5(\zeta) = 0.3575 [f_4(\zeta) + f_5(\zeta)] \quad (81)$$

Zajedničke proračune za oba ova sloja vršimo opet prema slikama 9. i 11. Prvo zaključimo kako prema izrazu (41) za te slojeve skupa još preostaje vrijednost uz odbitak već izračunata tri sloja:

$$f_4(\zeta) + f_5(\zeta) = 10 - (2.57921 + 3.04059 + 2.23036) = 2.14984 \quad (82)$$

Slijedi dalje:

$$f_{43} + f_{53} = 5 f(1,0) \quad (83)$$

$$f_{43} = 5 \cdot 0.6425 f(1,0) = 3.2125 f(1,0) \quad (84)$$

$$f_{53} = 5 \cdot 0.3575 f(1,0) = 1.7875 f(1,0) \quad (85)$$

$$(f_{42} + f_{52}) \left(1 - \frac{\eta_1}{\eta_2}\right) = 0.5 (f_{42} + f_{52}) = f_{322} \quad (86)$$

$$f_{42} + f_{52} = 2 f_{322} = 2 \cdot 0.82 f(1,0) = 1.64 f(1,0) \quad (87)$$

$$f_{42} = 1.64 \cdot 0.6425 f(1,0) = 1.0537 f(1,0) \quad (88)$$

$$f_{52} = 1.64 \cdot 0.3575 f(1,0) = 0.5863 f(1,0) \quad (89)$$

$$f_{41} = f_{43} - f_{42} = 2.1588 f(1,0) \quad (90)$$

$$f_{51} = f_{53} - f_{52} = 1.2012 f(1,0) \quad (91)$$

Konačno možemo izračunati vrijednosti izraza (60) i (61):

$$f_4(\zeta) = 1.38127 \quad (92)$$

U tabeli je 1. vrijednost 1.37471 opet prihvatljivo neznatno različita.

$$f_5(\zeta) = 0.76857 \quad (93)$$

Vrijednost 0.75986 iz tabele 1. opet je vrlo bliska.

Zbroj:

$$f_4(\zeta) + f_5(\zeta) = 2.14984 \quad (94)$$

Dobivena je vrijednost posve jednaka onoj iz izraza (82) pa je i sav ovaj proračun podpuno točan.

Postupak smo sve iza izraza (61) pa dovde razvijali za  $\eta_{\max} = 0.24$  kada pregradne duljine  $L_s$  ne prelaze

200 m. Prema IMCO-u ova pojedinačna gustoća raspodjele dubine proboja  $f(\zeta)$  ne ovisi o veličini broda

pa su za duljine  $L_s$  veće od 200 m dozvoljene samo neznatne razlike. Naime za te se duljine brodova ne

mogu točno odrediti značajne veličine  $\eta_1$  i  $\eta_2$  pri kojima bi vrijednosti  $f_s(\zeta)$  izračunate za  $\eta_{\max} = 0.24$

ostale posve nepromijenjene, jer je izraz (55) za  $a_n$  polinom trećega stupnja, a u slikama se 9. i 11. vidi

šarolikost kombinacija geometrijskih tijela. Izabranim su postupkom polučene i tu neznatne i posve

prihvatljive razlike. Pokazati će se to na postignućima ovih proračuna za dvije mnogo veće duljine  $L_s$  od

300 i 400 metara. U tu ćemo svrhu samo podsjetiti koji su izrazi rabljeni i prikazati rezultate: Treba početi



s (2) pa dalje slijede izrazi (3), (51), (55), (57), (58), (59), (60), (61), (68), (71), (73), (75), (76), (84), (85), (88), (89), (90) i (91).

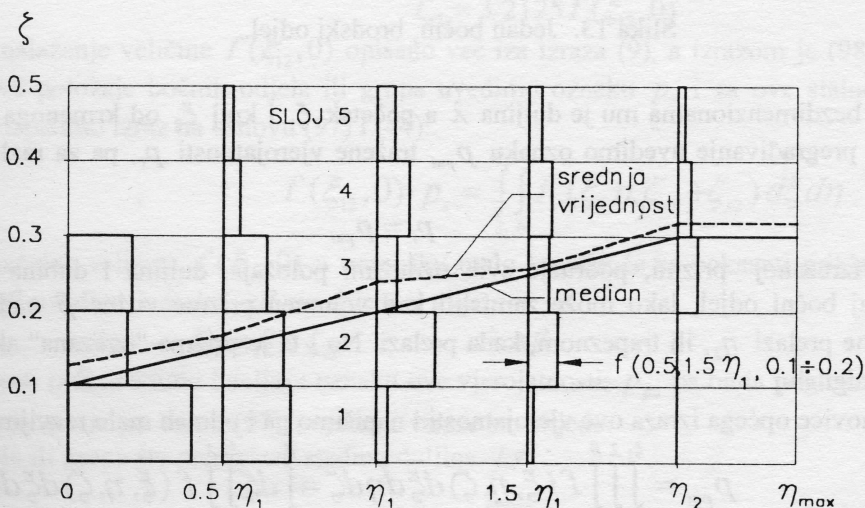
Postignuća su prikazana u tabeli 2. a radi usporedbi su navedena i ona iz tabele 1. i iz proračuna za  $\eta_{max} = 0.24$ :

Tabela 2. Usporedbe za razne duljine  $L_s$ .

Sloj		1	2	3	4	5	$\sum_{s=1}^5 f_s(\zeta)$	
$f_s(\zeta)$	Tabela 1	2.58266	3.04379	2.23898	1.37471	0.75986	10	
	$L_s$	$\leq 200m$	2.57921	3.04059	2.23036	1.38127	0.76857	10
		300m	2.55071	3.03836	2.23434	1.39846	0.77813	10
		400m	2.53723	3.03735	2.23619	1.40658	0.78265	10

Razlike, koje se uvijek mogu točno izračunati, toliko su neznatne i u slici se 7. gotovo ne bi opažale, pa se ta slika može smatrati prikazom autorove pojedinačne gustoće raspodjele dubina proboja,  $f_s(\zeta)$  za sve duljine brodova.

Autorov je median iz slike 8. već dokazan u slici 9., po izrazu (48), pa preostaje još srednja vrijednost,  $\zeta_{sr}$ . Zorno obrazloženje proračuna prema izrazu (50) predstavlja slika 12., s još jednim prikazom autorovih trodimenzionalnih raspodjela  $f_s(0.5, \eta, \zeta_{s1} \div \zeta_{s2})$ , a slijedi iz slika 9. i 11.



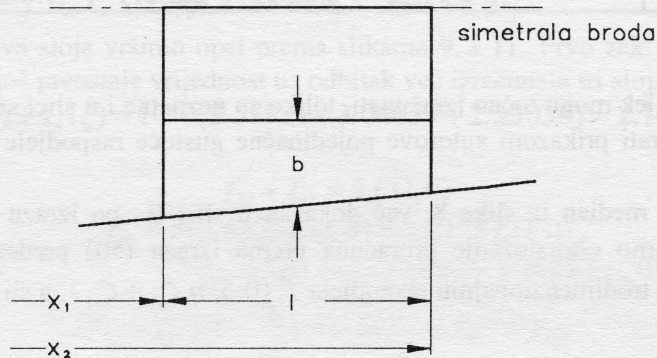
Slika 12. Trodimenzionalna složena raspodjela  $f_s(0.5, \eta, \zeta_{s1} \div \zeta_{s2})$ .

Tu se vidi stalnost te raspodjele unutar debljina pojedinih slojeva. I ovdje su ucrtani median i srednja vrijednost pa odatle i iz prijašnje slike 8. možemo zaključiti dobro kvalitativno slaganje s IMCO-vom slikom 6.: Dubine rastu s duljinama proboja. No naše bi slike vrijedile za sve duljine  $L_s$ , jer ne ovise o

$\eta_{\max}$  bez obzira na njezinu vrijednost, a IMCO-vi su statistički podatci skupljeni gotovo isključivo za duljine  $L_s$  do 200 m. Kod nas se tokovi tih veličina završavaju kod  $\eta_{\max}$  ako presjeci ravnina  $\xi = \text{const.}$  dotle dosežu u trapeznoj prizmi sa slike 10., a na kosim bokovima još i prije. Ova slika 12. najzornije obrazlaže i ono rečeno u svezi s izrazom (52).

Uspješno je dakle razvijena i nova autorova složena trodimenzionalna raspodjela  $f(\xi, \eta, \zeta)$  koja zadovoljava sve bitne, značajne međuodnose, pa preostaje još samo prikazati i konačni autorov postupak proračuna vjerojatnosti pojava sudarnih probojnih naplava na brodovima pregrađenim i poprečno i uzdužno. Slika 13. prikazuje jedan, i-ti bočni odjel duljine  $l$  i dubine  $b$  u metrima, koju bezdimenzionalno izrazimo s oznakom  $\beta$ :

$$\beta = \frac{b}{B} \quad (95)$$



Slika 13. Jedan bočni, brodski odjel.

Prema izrazima (9) bezdimenzionalna mu je duljina  $\lambda$  a početak  $\xi_1$  i kraj  $\xi_2$  od krmenoga kraja duljine  $L_s$ . Za ovo složeno pregrađivanje uvedimo oznaku  $p_{pui}$  tražene vjerojatnosti  $p_i$ , pa za razliku od izraza (17) sada imamo:

$$p_i = p_{pui} \quad (96)$$

U slici se 10., u "izrezanoj" prizmi, područje svih uzdužnih položaja, duljina i dubina proboja koji naplavljuju samo taj bočni odjel, lako može zamisliti kao volumen prizme visine  $\beta$  nad trokutastom osnovicom, ako  $\lambda$  ne prelazi  $\eta_2$ , ili trapeznom, kada prelazi. No i ta je prizma "izrezana" ako  $\lambda$  prelazi  $\eta_2$  a  $\beta$  nadvisuje drugi sloj.

To je opis zorne osnovice općega izraza ove vjerojatnosti i napišimo ga i odmah malo razvijmo:

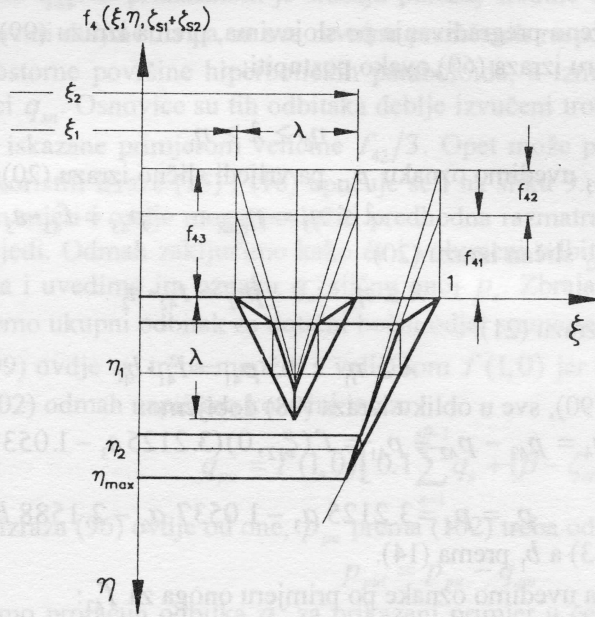
$$p_{pui} = \int_{\xi_1}^{\xi_2} \int_0^{\lambda} \int_0^{\beta} f(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta = \int_0^{\beta} d\zeta \int_{\xi_1}^{\xi_2} \int_0^{\lambda} f(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta \quad (97)$$

Dvostruki integral izraza (97) predstavlja volumen nad takovom osnovicom odrezanoj u prizmi slike 10. ravninom  $\zeta = \text{const.}$  u okviru visine  $\beta$ , pa do dotične prostorne površine trodimenzionalne raspodjele  $f(\xi, \eta, \zeta)$ .  $\lambda$  je i kod trapezne osnovice općenito granica integrala jer je time sve obuhvaćeno i do manje granice  $\eta_2$  ili  $\eta_{\max}$  iznad drugog sloja.

Iz dosadašnjih je obilnih obrazloženja lako zaključiti kako je vrijednost toga volumena stalna po cijeloj debljini svakoga sloja i tok bi joj u smjeru osi  $\zeta$  bio stepenast, sličan onome trodimenzionalne



raspodjele na nekom  $\eta = const.$  u slici 12. I oblik je toga volumena tu stalno isti pa slika 14. pokazuje jedan primjer unutar četvrtoga sloja, za pramčani bočni odjel koji ne prelazi polovinu duljine  $L_s$ .



Slika 14. Pramčani bočni odjel ne prelazi sredinu duljine  $L_s$ , unutar četvrtoga, sloja za

$$\eta_2 \geq \lambda \geq \eta_1.$$

Za punu je jasnoću potrebno pogledati i prikaz toga sloja u slici 11. zamislivši povučenu okomicu negdje između  $\eta_1$  i  $\eta_2$ , dokle doseže  $\lambda$  u slici 14. Prema uvjetima izraza (18) za autorovu dvodimenzionalnu raspodjelu  $f(\xi, \eta)$  iz rada se [36] može zaključiti kako su u biti jednaki oblici toga volumena i za krmene bočne odjele ili grupe koji ne prelaze polovinu duljine  $L_s$ , samo bi se onda, na primjer veličina  $f_{43}$ , umjesto po izrazu (84) općenito pisala:

$$f_{43} = 3.2125 f(\xi_{12}, 0) \quad (98)$$

Značenje je i nalaženje veličine  $f(\xi_{12}, 0)$  opisano već iza izraza (9), a izrazom je (98) obuhvaćen i onaj (84). Za takove položaje bočnih odjela ili grupa uvedimo oznaku  $p_s$  i za ove stalne volumene unutar nekog sloja  $s$  napišimo izraz na osnovu (97) i (44):

$$f(\xi_{12}, 0) * p_s = \int_{\xi_1}^{\xi_2} \int_0^{\lambda} f_s(\xi, \eta, \zeta_{s1} \div \zeta_{s2}) d\xi d\eta \quad (99)$$

Izlučivanje značajne veličine  $f(\xi_{12}, 0)$  u umnošku malo kasnije će se pokazati prikladnim. Za sloj koji sadrži dubinu  $\beta$  uvedimo oznaku  $s\beta$  uz slijedeći uvjet:

$$\text{Za: } \zeta_{s1} < \beta \leq \zeta_{s2} \quad ; \quad s = s\beta \quad (100)$$

Opet prikladnosti radi uvedimo i daljnju oznaku ove vjerojatnosti,  $p_{pu}$  pa onda pogledom na sliku 12., a u svezi upućivanja na nju po izrazu (97), napišimo izraze što slijede:

Za bočne odjele ili grupe što ne prelaze sredinu duljine  $L_s$ :

$$\xi_1 \geq 0.5 \quad \text{ili} \quad \xi_2 \leq 0.5 : \quad p_{pui} = p_{pu} \quad (101)$$

$$p_{pu} = \int_0^{\beta} d\zeta \int_{\xi_1}^{\xi_2} \int_0^{\lambda} f_s(\xi, \eta, \zeta_{s1} \div \zeta_{s2}) d\xi d\eta = f(\xi_{12}, 0) \left[ 0.1 \sum_{s=1}^{s\beta-1} p_s + (\beta - \zeta_{s\beta}) p_{s\beta} \right] \quad (102)$$

Izlučivanje  $f(\xi_{12}, 0)$  u (99) povoljno je slijedilo i ovdje.

Preostaje tu još odrediti veličine  $p_s$  pa to prikažimo na primjeru iz slike 14. no mnogo će pomoći i pogled na četvrti sloj u slici 11. Preporuča se pogledati i sliku 8. s dotičnim izvodima, u autorovom radu [36],

koji su ovdje predstavljeni izrazima (13) i (14). Već je ispred izraza (54) opisana sličnost ukupnoga, jediničnog volumena autorove složene raspodjele  $f(\xi, \eta)$  iz slike 1. i volumena trodimenzionalne raspodjele po slojevima u slici 11. Odatle slijedi i sličnost volumena dvodimenzionalne vjerojatnosti  $p_p$  iz izraza (18) i dalje te onih za složeno pregrađivanje po slojevima, prema izrazu (99). Zato će se za izabrani primjer u četvrtome sloju po uzoru izraza (60) ovako postupiti:

U toj slici 14. prikazan je slučaj:

$$\eta_2 \geq \lambda \geq \eta_1 \quad (103)$$

Za volumen značajne veličine  $f_{43}$  uvedimo oznaku  $p_{43}$  pa vrijedi slično izrazu (20):

$$\lambda \leq \eta_3 = \eta_{\max} : \quad p_{43} = f_{43} * a_3 \quad (104)$$

Od toga treba odbiti volumen  $p_{42}$  sličan izrazu (20):

$$\lambda \leq \eta_2 : \quad p_{42} = f_{42} * a_2 \quad (105)$$

Odbija se i volumen  $p_{41}$  sličan izrazu (21):

$$\lambda \geq \eta_1 : \quad p_{41} = f_{41} * b_1 \quad (106)$$

Upotrijebivši izraze (84), (88) i (90), sve u obliku izraza (98) dobijemo:

$$f(\xi_{12}, 0) * p_4 = p_{43} - p_{42} - p_{41} = f(\xi_{12}, 0)(3.2125 a_3 - 1.0537 a_2 - 2.1588 b_1) \quad (107)$$

Odatle:

$$p_s = p_4 = 3.2125 a_3 - 1.0537 a_2 - 2.1588 b_1 \quad (108)$$

$a_3$  i  $a_2$  se računaju po izrazu (13) a  $b_1$  prema (14).

Za koeficijente značajnih veličina uvedimo oznake po primjeru onoga za  $f_{43}$ :

$$k_{sn} = k_{43} = 3.2125 \quad (109)$$

A za umnoške opet slične ovome:

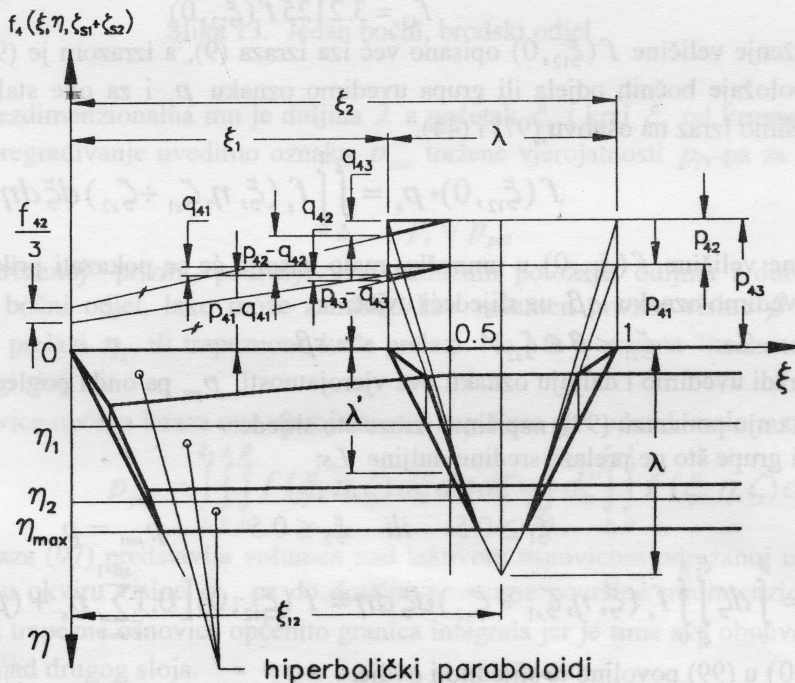
$$k_{sn} * a_n = k_{43} * a_3 = a_{43} = a_{sn} \quad (110)$$

Time izraz (108) dobiva novi oblik:

$$p_s = p_4 = a_{43} - a_{42} - a_{41} \quad (111)$$

Ovim će se primjerom u slijedećem poglavlju napisati izrazi za  $p_s$  i za sve ostale slučajeve kada bočni odjeli ili grupe, bilo krmeni ili pramčani, ne prelaze sredinu duljine  $L_s$ . Opet po sličnosti s autorovim postupkom za poprečno pregrađivanje preostaje odrediti odbitke, slične onome  $q_p$  iz izraza (19), za bočne odjele ili grupe što u svojem rasponu sadrže i sredinu duljine  $L_s$ .

Jedan je primjer opet prikazan unutar četvrtoga sloja na slici 15.



Slika 15. Bočni odjel ili grupa sadrže sredinu duljine  $L_s$ , unutar četvrtoga sloja, za

$$\eta_2 \geq \lambda' \geq \eta_1, \text{ i } \lambda > \eta_{\max}.$$



Složenije se prilike ovdje nastojalo što zornije predočiti pa su umjesto značajnih veličina unešene oznake dotičnih volumena, naprimjer  $p_{43}$  umjesto  $f_{43}$ , a na stranicama trokutnih osnovica oznake dotičnih volumena odbitaka, kao  $q_{43}$ . U prikazanom je slučaju položaj sredine duljine bočnog odjela, određen s  $\xi_{12}$ , na pramčanoj polovini duljine  $L_s$  pa su sve ravnine pramčanih raspodjela produžene i na krmeni dio odjela gdje vrijede prostorne površine hiperboličkih paraboloida, a između po dvije pripadajuće od tih nalaze se traženi odbitci  $q_{sn}$ . Osnovice su tih odbitaka deblje izvučeni trokuti. Na krmenome kraju duljine  $L_s$  vladaju zakonitosti iskazane primjerom veličine  $f_{42}/3$ . Opet može pomoći i pogled na četvrti sloj u slici 11., no jer ćemo koristiti izraze (15) i (16) upućuje se i na sliku 9., s dotičnim izvodima, autorovog rada [36]. U punoj nam mjeri i ovdje mogu poslužiti predhodna razmatranja počam od izraza (97) koji i ovdje u potpunosti vrijedi. Odmah zaključimo kako će i volumeni odbitaka biti stalni po cijeloj debljini svakog, pojedinog sloja i uvedimo im oznaku  $q_s$  sličnu onoj  $p_s$ . Zbrajajući sve te odbitke po slojevima sve do dubine  $\beta$  dobijemo ukupni odbitak za dotični bočni odjel s novom oznakom  $q_{pu}$ . Radi prikladnosti naznačene iza izraza (99) ovdje  $q_s$  treba množiti s veličinom  $f(1,0)$  jer to traži sličnost s izrazima (22) i (23), pa po uzoru na (102) odmah napišimo konačni izraz:

$$q_{pu} = f(1,0) \left[ 0.1 \sum_{s=1}^{s\beta-1} q_s + (\beta - \zeta_{s\beta}) q_{s\beta} \right] \quad (112)$$

Za vjerojatnost  $p_{pui}$  iz izraza (96) ovdje od one,  $p_{pu}$  prema (102) treba oduzeti ukupni odbitak,  $q_{pu}$  :

$$p_{pui} = p_{pu} - q_{pu} \quad (113)$$

Prema slici 15. prikažimo proračun odbitka  $q_s$  za prikazani primjer u četvrtome sloju, zaključujući kako prvo treba odbijanje izvršiti po slojevima, nazovimo ih 43, 42 i 41.

Slično izrazu (107) ovdje treba pisati:

$$\begin{aligned} f(\xi_{12}, 0) * p_4 - f(1,0) * q_4 &= (p_{43} - q_{43}) - (p_{42} - q_{42}) - (p_{41} - q_{41}) = \\ &= (p_{43} - p_{42} - p_{41}) - (q_{43} - q_{42} - q_{41}) \end{aligned} \quad (114)$$

Odavde:

$$f(1,0) * q_4 = q_{43} - q_{42} - q_{41} \quad (115)$$

I kod odbitaka je zadržan, dakle redosljed odbijanja iz izraza (60). Pojedine ćemo odbitke odrediti redosljedom sličnosti s postupkom od izraza (103) do (106):

U slici je 15. prikazan slučaj:

$$\eta_2 \geq \lambda' \geq \eta_1 \quad (116)$$

Time za odbitak  $q_{43}$  sa značajnom veličinom  $f_{43}$  vrijedi slično izrazu (22):

$$\lambda' \leq \eta_3 = \eta_{\max} : q_{43} = f_{43} * c_3 \quad (117)$$

Za odbitak  $q_{42}$  postoji sličnost s izrazom (22):

$$\lambda' \leq \eta_2 : q_{42} = f_{42} * c_2 \quad (118)$$

Za  $q_{41}$  je uvjet opet sličan onome u izrazu (23):

$$\lambda' \geq \eta_1 : q_{41} = f_{41} * d_1 \quad (119)$$

No tu, radi već spomenutih oblika izraza (22) i (23), značajne veličine uvijek treba pisati samo u obliku izraza (84), na primjeru veličine  $f_{43}$ . Upotrijebiv koeficijente  $k_{sn}$  po primjeru izraza (109) tada izraz (115) možemo pisati u novom obliku :

$$f(1,0) * q_4 = f(1,0) (k_{43} * c_3 - k_{42} * c_2 - k_{41} * d_1) \quad (120)$$

Kada zatim postupimo slično izrazu (110) onda iz (120) konačno imamo:

$$q_s = q_4 = c_{43} - c_{42} - d_{41} \quad (121)$$

Ovaj će primjer poslužiti u slijedećemu poglavlju za pisanje izraza za  $q_s$  i u svim ostalim slučajevima kada bočni odjeli ili grupe u svojem rasponu sadrže i sredinu duljine  $L_s$ .

Preostaje odrediti vjerojatnost,  $p_i$ , istovremene naplave i bočnog i susjednog mu središnjeg odjela ili grupe. Iz slike se 13. lijepo vidi kako to mogu uzrokovati samo dubine proboja od  $\beta$  do najvećih mogućih, 0.5. Zato je lako napisati dotični izraz sličan onome (97) i odmah ga razviti uz pomoć izraza (17), (29) i još jednom (97) :

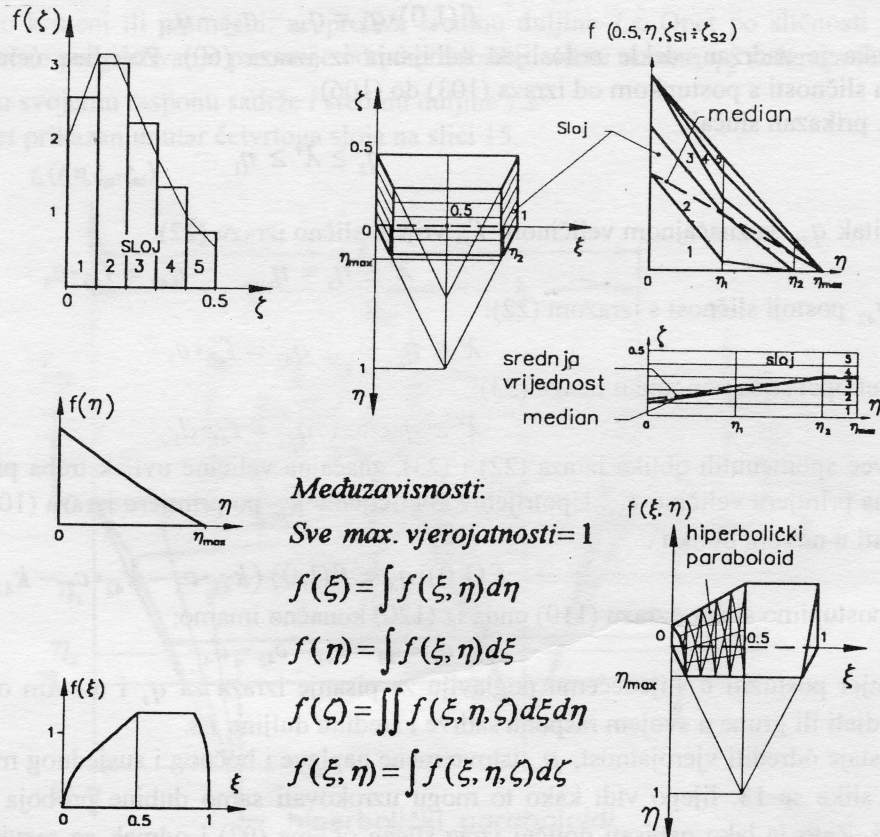
$$\begin{aligned}
 p_i &= \int_{\xi_1=0}^{\xi_2} \int_0^\lambda \int_0^{0.5} f(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta = \int_{\xi_1=0}^{\xi_2} \int_0^\lambda \int_0^{0.5} f(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta - \\
 &\quad - \int_{\xi_1=0}^{\xi_2} \int_0^\lambda \int_0^{0.5} f(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta = \int_{\xi_1=0}^{\xi_2} \int_0^\lambda d\xi d\eta \int_0^{0.5} f(\xi, \eta, \zeta) d\zeta - p_{pui} = \\
 &\quad = \int_{\xi_1=0}^{\xi_2} \int_0^\lambda f(\xi, \eta) d\xi d\eta - p_{pui} = p_{pi} - p_{pui}
 \end{aligned}
 \tag{122}$$

Ovdje  $p_{pi}$  znači vjerojatnost naplave jedinstvenoga odjela ili grupe, bez uzdužne pregrade, za samo poprečno pregrađivanje a  $p_{pui}$  se, prema (97) odnosi samo na dotični bočni odjel. Sličnim zaključivanjem treba postupiti ako između boka broda i uzdužne simetralne ravnine postoje dvije uzdužne pregrade a time i dva bočna odjela ili grupe, vanjski i unutarnji.

Ovime završavamo prikaz autorovog postupka proračuna vjerojatnosti sudarnih naplava brodova pregrađenih i poprečno i uzdužno, smatrajući kako je to dovoljno zorno i iscrpno učinjeno.

#### 4.Pregled konačnih izraza autorovih postupaka.

Ovim će se pregledom dobiti zgusnuta slika autorovih postupaka i onoga za samo poprečno pregrađivanje i za složeno, poprečno i uzdužno. Osnovani su na jedinstvenim pristupima, sve su zakonitosti međuovisnosti ispunjene, i zajednički prikaz, u slijedu, najbolje pokazuje njihovu podobnost za buduća poboljšanja međunarodnih propisa, IMO, o pregrađivanju. Početi ćemo slikom 16. koja sve to najzornije prikazuje.



Slika 16. Jakićeve pojedinačne i složene, dvo- i tro- dimenzionalne gustoće raspodjela uzdužnih položaja, duljina i dubina sudarnih, naplavnih proboja brodova.



Zajednički izrazi:

$$\lambda = \frac{l}{L_s}; \quad \xi_1 = \frac{x_1}{L_s}; \quad \xi_2 = \frac{x_2}{L_s}; \quad \xi_{12} = 0.5(\xi_1 + \xi_2);$$

Za:  $\xi_1 < 0.5 < \xi_2$  :

i za:  $\xi_{12} \leq 0.5$  :  $\lambda' = 2\xi_2 - 1$

i za:  $\xi_{12} \geq 0.5$  :  $\lambda' = 1 - 2\xi_1$

$$0.24 \geq \eta_{\max} = \frac{48}{L_s}$$

$$f(1,0) = \frac{72}{\eta_{\max}(30 - 8\eta_{\max} - \eta_{\max}^2)}$$

$$f(1,0) \geq f(\xi_{12},0) = \frac{f(1,0)}{3}(1 + 4\xi_{12})$$

$$a_n = 0.5\lambda^2 \left(1 - \frac{\lambda}{3\eta_n}\right)$$

$$b_n = 0.5\lambda \eta_n \left(1 - \frac{\eta_n}{3\lambda}\right)$$

$$c_n = \frac{1}{18}(\lambda')^3 \left(1 - 0.25\frac{\lambda'}{\eta_n}\right)$$

$$d_n = \frac{1}{6}\eta_n \left[0.5(\lambda')^2 - \frac{\lambda'\eta_n}{3} + \frac{\eta_n^2}{12}\right]$$

$$\eta_3 = \eta_{\max}$$

Samo poprečno pregrađivanje:

$$p_i = p_{pi}$$

Za:  $\xi_1 \geq 0.5$  ili  $\xi_2 \leq 0.5$  :  $p_{pi} = p_p$

Za:  $\xi_1 < 0.5 < \xi_2$  :  $p_{pi} = p_p - q_p$

Za:  $\lambda \leq \eta_{\max}$  :  $p_p = f(\xi_{12},0) \cdot a_3$

Za:  $\lambda \geq \eta_{\max}$  :  $p_p = f(\xi_{12},0) \cdot b_3$

Za:  $\lambda' \leq \eta_{\max}$  :  $q_p = f(1,0) \cdot c_3$

Za:  $\lambda' \geq \eta_{\max}$  :  $q_p = f(1,0) \cdot d_3$

Složeno, poprečno i uzdužno pregrađivanje:

$$\beta = \frac{b}{B}$$

$$\zeta_{\max} = 0.5$$

Za:  $\zeta_{s1} < \beta \leq \zeta_{s2}$  :  $s = s\beta$

$$\zeta_{11} = 0;$$

$$\zeta_{12} = \zeta_{21} = 0.1; \quad \zeta_{22} = \zeta_{31} = 0.2; \quad \zeta_{32} = \zeta_{41} = 0.3; \quad \zeta_{42} = \zeta_{51} = 0.4;$$

$$\zeta_{52} = 0.5;$$

$$p_i = p_{pui}$$

Za:  $\xi_1 \geq 0.5$  ili  $\xi_2 \leq 0.5$  :  $p_{pui} = p_{pu}$

Za:  $\xi_1 < 0.5 < \xi_2$  :  $p_{pui} = p_{pu} - q_{pu}$

$$p_{pu} = f(\xi_{12},0) \left[ 0.1 \sum_{s=1}^{s\beta-1} p_s + (\beta - \zeta_{s\beta}) p_{s\beta} \right]$$

$$q_{pui} = f(1,0) \left[ 0.1 \sum_{s=1}^{s\beta-1} q_s + (\beta - \zeta_{s\beta}) q_{s\beta} \right]$$

$$\eta_1 = 0.418 \eta_{\max}$$

$$\eta_2 = 0.836 \eta_{\max}$$

$$\eta_3 = \eta_{\max}$$

$$a_{sn} = k_{sn} * a_n$$

$$b_{sn} = k_{sn} * b_n$$

$$c_{sn} = k_{sn} * c_n$$

$$d_{sn} = k_{sn} * d_n$$

s			1	2	3	4	5	
$k_{sn}$			n=1	4.02	2.42	1.76	2.1588	1.2012
			2	0.98	4.84	4.18	1.0537	0.5863
			3	0	0	5	3.2125	1.7875
$\eta_1 \geq$	$\lambda$	$\geq 0$	$p_s$	$a_{11} + a_{12}$	$a_{22} - a_{21}$	$a_{33} - a_{32} + a_{31}$	$a_{43} - a_{42} - a_{41}$	$a_{53} - a_{52} - a_{51}$
	$\lambda'$		$q_s$	$c_{11} + c_{12}$	$c_{22} - c_{21}$	$c_{33} - c_{32} + c_{31}$	$c_{43} - c_{42} - c_{41}$	$c_{53} - c_{52} - c_{51}$
$\eta_2 \geq$	$\lambda$	$\geq \eta_1$	$p_s$	$b_{11} + a_{12}$	$a_{22} - b_{21}$	$a_{33} - a_{32} + b_{31}$	$a_{43} - a_{42} - b_{41}$	$a_{53} - a_{52} - b_{51}$
	$\lambda'$		$q_s$	$d_{11} + c_{12}$	$c_{22} - d_{21}$	$c_{33} - c_{32} + d_{31}$	$c_{43} - c_{42} - d_{41}$	$c_{53} - c_{52} - d_{51}$
$\eta_{\max} \geq$	$\lambda$	$\geq \eta_2$	$p_s$	$b_{11} + b_{12}$	$b_{22} - b_{21}$	$a_{33} - b_{32} + b_{31}$	$a_{43} - b_{42} - b_{41}$	$a_{53} - b_{52} - b_{51}$
	$\lambda'$		$q_s$	$d_{11} + d_{12}$	$d_{22} - d_{21}$	$c_{33} - d_{32} + d_{31}$	$c_{43} - d_{42} - d_{41}$	$c_{53} - d_{52} - d_{51}$
	$\lambda$	$\geq \eta_{\max}$	$p_s$	$b_{11} + b_{12}$	$b_{22} - b_{21}$	$b_{33} - b_{32} + b_{31}$	$b_{43} - b_{42} - b_{41}$	$b_{53} - b_{52} - b_{51}$
	$\lambda'$		$q_s$	$d_{11} + d_{12}$	$d_{22} - d_{21}$	$d_{33} - d_{32} + d_{31}$	$d_{43} - d_{42} - d_{41}$	$d_{53} - d_{52} - d_{51}$

Istovremena naplava bočnog i središnjeg odjela ili grupe:

$$p_i = P_{pi} - P_{pui}$$

ovdje znače:

$P_{pi}$  - jedinstveno, za bočni i središnji odjel ili grupu, bez uzdužne pregrade.

$P_{pui}$  - za bočni odjel.

Korisno je ovdje u prikazanoj tabeli izvršiti provjeru daje li zbroj izraza za svih pet slojeva one za samo poprečno pregrađivanje, kako to mora biti prema dokazima iz predhodnoga poglavlja. Primjera radi učinimo to za područja:

$$\eta_2 \geq \lambda \geq \eta_1$$

$$\eta_2 \geq \lambda' \geq \eta_1$$

$$\sum_{s=1}^5 p_s = (b_{11} + a_{12}) + (a_{22} - b_{21}) + (a_{33} - a_{32} + b_{31}) +$$

$$+ (a_{43} - a_{42} - b_{41}) + (a_{53} - a_{52} - b_{51}) =$$

$$= 4.02b_1 + 0.98a_2 + 4.84a_2 - 2.42b_1 + 5a_3 - 4.18a_2 + 1.76b_1 +$$

$$+ 3.2125a_3 - 1.0537a_2 - 2.1588b_1 + 1.7875a_3 - 0.5863a_2 - 1.2012b_1 = 10a_3$$

Prema izrazima (102) i (20) :



$$p_{pu} = f(\xi_{12}, 0) \cdot 0.1 \sum_{s=1}^5 p_s = f(\xi_{12}, 0) a_3 = p_p \quad ; \quad \text{za: } \lambda \leq \eta_{\max}$$

$$\sum_{s=1}^5 q_s = (d_{11} + c_{12}) + (c_{22} - d_{21}) + (c_{33} - c_{32} + d_{31}) + (c_{43} - c_{42} - d_{41}) +$$

$$+ (c_{53} - c_{52} - d_{51}) = 4.02 d_1 + 0.98 c_2 + 4.84 c_2 - 2.42 d_1 +$$

$$+ 5c_3 - 4.18 c_2 + 1.76 d_1 + 3.2125 c_3 - 1.0537 c_2 - 2.1588 d_1 +$$

$$+ 1.7875 c_3 - 0.5863 c_2 - 1.2012 d_1 = 10c_3$$

Prema izrazima (112) i (22) :

$$q_{pu} = f(1, 0) \cdot 0.1 \sum_{s=1}^5 q_s = f(1, 0) c_3 = q_p \quad ; \quad \text{za: } \lambda' \leq \eta_{\max}$$

Ovakova posvemašnja točnost ovoga postupka postoji i u svim ostalim područjima. Bio je to i koristan primjer upotrebe ove jednostavne tabele.

## 5. Usporedba autorovog i IMO-postupka za složeno, poprečno i uzdužno pregrađivanje.

Za takovo složeno pregrađivanje IMO Dokument [17] propisuje nalaženje vjerojatnosti pojave dotičnoga trodimenzionalnog događaja,  $p_i$ , množenjem vjerojatnosti za samo poprečno pregrađivanje "redukcionim faktorom",  $r$ .

S našim oznakama tu, dakle vrijedi izraz:

$$P_{pui} = r * P_{pi} \quad (123)$$

Faktor se  $r$  ovako računa:

$$\text{Za: } \lambda \geq 0.2 \frac{b}{B} :$$

$$r = \frac{b}{B} \left( 2.3 + \frac{0.08}{\lambda + 0.02} \right) + 0.1 ; \quad \text{ako je } : \frac{b}{B} \leq 0.2 ; \quad (124)$$

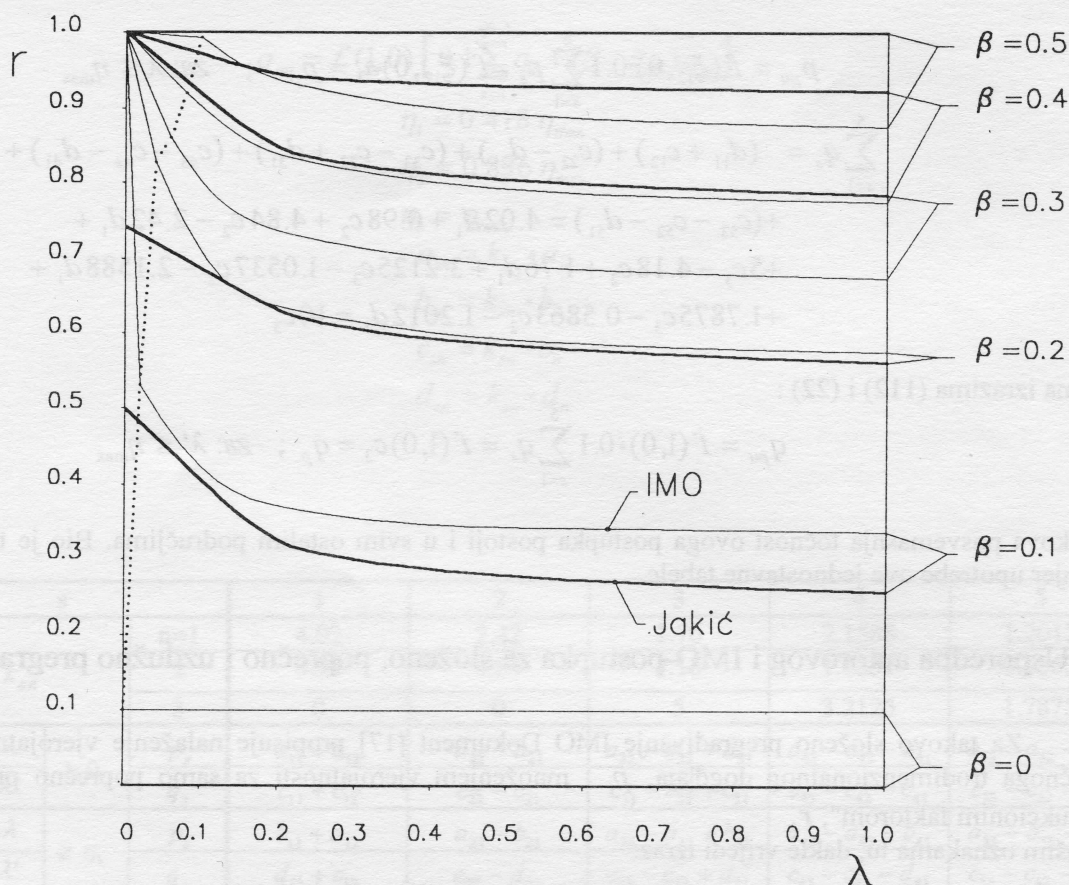
$$r = \frac{0.016}{\lambda + 0.02} + \frac{b}{B} + 0.36 ; \quad \text{ako je } : \frac{b}{B} > 0.2 ; \quad (125)$$

Za  $\lambda < 0.2b/B$  redukcioni se faktor  $r$  određuje linearnim interpoliranjem između  $r=1$ , za  $\lambda=0$ , i vrijednosti  $r$  izračunatih prema izrazima (124) i (125), za  $\lambda = 0.2b/B$ .

Ovakav postupak nije uspjelo podvesti pod općevrijedne zakonitosti na kojima je, u Poglavlju 3., osnovan autorov postupak za ovo složeno pregrađivanje. Dotična se vjerojatnost  $P_{pui}$  tamo izravno računa, bez upotrebe ovoga faktora  $r$ . Samo radi ove usporedbe taj je faktor izračunat i za autorove postupke po izrazu što slijedi iz (123) :

$$r = \frac{P_{pui}}{P_{pi}} \quad (126)$$

Izračunat je i prema ovome, IMO-postupku i skupa su prikazani u slici 17. prema uzoru iz rada [25].



Slika 17. r - dijagram

Ovo je bila još jedna dobra prilika i za numeričku provjeru autorovog postupka: Svagdje je dokazana podpuna točnost postignućem jedinične vrijednosti zbroja za svih pet autorovih slojeva, kako to i mora biti za  $\beta = 0.5$ . Vrijednosti se za  $\beta = 0.2$  ne razlikuju značajnije, ispod toga su IMO-ve višlje a iznad su višlje autorove. Nedostatci su IMO-vog postupka tok  $r$ -krivulje za  $\beta = 0.5$  znatno niže ispod jedinične vrijednosti i stalna vrijednost 0.1 za  $\beta = 0$ . Za vrijednosti  $\lambda$  različite od nule tada vjerojatnost  $p_{pi}$  ima konačnu vrijednost veću od nule pa prema izrazu (123) izlazi kako kod 10% događaja sudarnih nesreća nema proboja vanjske oplata broda. To znači određenu, nul-vrijednost dubine proboja pa prema osnovnom vjerojatnostnom načelu tu i  $p_{pui}$  mora imati nul-vrijednost a ne desetinu vrijednosti  $p_{pi}$ .

## 6. Zaključci.

Vjerojatnostni je pristup provjere pouzdanosti brodova u plovnosti i stabilnosti kod sudarnih naplava nedvojbeno prihvaćen kao najpodobniji i već se primjenjuje u međunarodnim, IMO-propisima o pregrađivanju i stabilnosti u tome stanju. Pri tome se stalno nastoji na usavršavanju postupaka. Autor smatra kako njegovi postupci o vjerojatnosti pojava ovih nesreća kod poprečnoga i složenog, poprečnog i uzdužnog pregrađivanja mogu poslužiti za značajna buduća poboljšanja tih, međunarodnih propisa: Oba su postupka međusobno posve sukladna, posve zorna, svi su vjerojatnostni međuodnosi posve točno ispunjeni i prilagođeni IMCO-vim statističkim podacima. Time bi se kod sadašnjega IMO-postupka uklonile nejednolikosti uzrokovane "impulsima" u dijelu za poprečno pregrađivanje i netočnosti  $r$ -postupka za ono složeno, poprečno i uzdužno. Zato su autori prijedlozi ovdje u Poglavlju 4. prikazani u obliku posve spremnom za izravnu primjenu u tim propisima. Opseg im je povoljno sažet no kad bi i širi bio, za suvremenu je primjenu računala to daleko manji zahtjev od proračuna veličine  $s_i$ , to jest stabilnosti sudarno naplavljenog broda, za nala'enje glavnoga podatka, postignutoga indeksa pregrađivanja, A.



## Literatura:

- [1] Wendel, K., Die Wahrscheinlichkeit des Überstehens von Verletzungen, *Schiffstechnik*, Vol. 36, No. 7 (1960).
- [2] Krappinger, O., Über Leckverteilungen, *Schiffstechnik*, Vol. 11, No. 57 (1964).
- [3] Krappinger, O., 'Die Wahrscheinlichkeit für das Überstehen von Verletzungen', Handbuch der Werften, Band VIII, Hamburg, 1965.
- [4] Abicht, W., 'Die Berechnung der Wahrscheinlichkeit des Überstehens von Verletzungen bei durch Querschotte unterteilten Schiffen', Handbuch der Werften, Band VIII, Hamburg, 1965.
- [5] IMCO Resolution A. 265 (VIII), 'Regulations on subdivision and stability of passenger ships as an equivalent to Part B of Chapter II of the Int. Conv. for the Safety of Life at Sea, 1960', 1973.
- [6] Malcev, N.J., Dorogostajsky, D.V. and Pritkov, J.K., 'Teorija nepotopljajemosti sudna', Sankt Peterburg, 1973.
- [7] Ugland, T.B., 'Ro-Ro vessels and safety aspects of marine transportation in the future', Proc. 1st Int. Congr. of I.M.A.E.M., Istanbul, 1978.
- [8] Pawlowski, M., 'The determination of the probability of flooding a given group of compartments as a result of ship collision', Univ. of Newcastle upon Tyne, Dept. Naval Architecture and Shipbuild., Report, Dec. 1980.
- [9] Grochowalski, S. and Pawlowski, M., 'The safety of Ro-Ro vessels in the light of the probabilistic concept for standardizing unsinkability', *Int. Shipbuild. Progr.*, Vol. 28, No. 319 (1981).
- [10] Caldwell, J.B., Hegazy, E.H. and Pawlowski, M., 'Safety of ships after collision', 2nd Int. Congr. of I.M.A.E.M., Trieste, 1981.
- [11] Kobylinski, L., 'Safety of ships against capsizing', Proc. 3rd Int. Congr. of I.M.A.E.M., Athens, 1984.
- [12] Document IMO SLF 31/3 Agenda item 3, 'Subdivision and damage stability of dry cargo ships including Ro-Ro ships based on probabilistic concept of survival', submitted by Norway, 14 Febr. 1986.
- [13] Spouge, J.R., 'The technical investigation of the sinking of the Ro-Ro ferry European Gateway', *The Naval Architect*, March 1986.
- [14] Sigurdson, M. and Rusaas, S., 'Subdivision standard and damage stability for dry cargo ships based on the probabilistic concept of survival', Proc. 3rd Int. Conf. STAB '86, Gdansk, 1986.
- [15] Roždestvenski, V.V., Lugovski, V.V., Borisov, R.V. and Mirohin, B.V., 'Statika korablja', Sankt Peterburg, 1986.
- [16] Jakić, K., 'Flotation and stability of Ro-Ro vessel in the damage conditions', *Int. Shipbuild. Progr.*, Vol. 34, No. 393 (1987).
- [17] Document IMO Circular MSC/Circ. 484, 'Subdivision and damage stability of dry cargo ships including Ro-Ro ships', 6 May 1988.
- [18] Document IMO SLF 33/12 Annex 6, 'Draft explanatory notes to the regulations on subdivision and damage stability of dry cargo ships including Ro-Ro ships', 1988.
- [19] Gerigk, M. and Krzeminska, M., 'Probability of flooding any group of compartments according to the Polish concept of a ship surviving a collision', *Int. Shipbuild. Progr.*, Vol. 35, No. 403 (1988).
- [20] Spouge, J.R., 'The safety of Ro-Ro passenger ferries', *The Naval Architect*, Jan. 1989.
- [21] Dand, I.W., 'Hydrodynamic aspects of the sinking of the ferry Herald of Free Enterprise', *The Naval Architect*, May 1989.
- [22] Jakić, K., 'Suggestions for improvements of the probabilistic approach, adopted by IMO, to the appearance of longitudinal locations and extents of ship collision damage', *Int. Shipbuild. Progr.*, Vol. 36, No. 406 (1989).
- [23] Abicht, W., 'New formulas for calculation the probability of compartment flooding in the case of side damage', *Schiffstechnik*, Vol. 36, No. 2 (1989).
- [24] Magill, C.M., 'Forthcoming IMO legislation for the subdivision and damage stability of Ro-Ro and other dry cargo ships', RORO 90 Conference, Trieste, 1990.
- [25] Fisker-Andersen, N., Dalgaard, J. and Schilder, E., 'The 'Stab-90 Rules' influence on Ro-Ro newbuildings and conversions', RORO 90 Conference, Trieste, 1990.
- [26] Mathiesen, T.C., 'RoRo Safety-a need for total approach', RORO 90 Conference, Trieste, 1990.
- [27] Brown, J.G., 'Enhancing the stability/survivability of Ro Ro vessels', RORO 90 Conference, Trieste, 1990.
- [28] Plaza, F. and Semenov, V.Y., 'Work of the International Maritime Organization related to the survivability of Ro Ro ships', RORO 90 Conference, Trieste, 1990.
- [29] Abicht, W., 'The probability of compartment and wing compartment flooding in the case of side damage - New formulas for practical application', Proc. 4th Int. Conf. STAB'90, Napoli, 1990.
- [30] Plaza, F. and Semenov, V.Y., 'Latest work of the International Maritime Organization related to the stability of ships', Proc. 4th Int. Conf. STAB'90, Napoli, 1990.
- [31] Magill, C.M. and Holland, D.J., 'Subdivision and damage stability of dry cargo ships; An approval authority view', 4th Int. Conf. STAB'90, Napoli, 1990.
- [32] Kuo, C., 'A preventive framework for achieving effective safety', 4th Int. Conf. STAB'90, Napoli, 1990.
- [33] Document IMO SLF 35/WP. 8 Agenda item 4, Annex Draft Assembly Resolution, Explanatory notes to the regulations on subdivision and damage stability of dry cargo ships including Ro-Ro ships of 100 metres in length and over, 7 February 1991.
- [34] Brown, J.G., 'Buoyant wing spaces: a cost-effective ro-ro solution', *The Naval Architect*, June 1991.
- [35] Document IMO Circular MSC/Circ. 574, 'The calculation procedure to assess the survivability characteristics of existing Ro-Ro passenger ships when using a simplified method based upon Resolution A.265 (VIII)', 3 June 1991.
- [36] Jakić, K., 'Probability of the appearance of longitudinal locations and extents of ship collision damage - Analysis of recent IMO efforts and new proposals for improvements', *Int. Shipbuild. Progr.*, Vol. 38, No. 414 (1991).

- [37] Document IMO MSC 60/21 Annex 2 Resolution MSC 26 (60) (adopted on 10 April 1992), Adoption of amendments to Chapter II-1 of the Int. Conv. for the Safety of Life at Sea, 1974., Existing Ro-Ro passenger ships.
- [38] Jakić, K., Probability of the appearance of damage penetrations in addition to longitudinal locations and extents of ship collision damage, Proc. 5th Int. Symp. PRADS'92, Newcastle upon Tyne, 1992.

## ABSTRACT

The Jakić's second approach to longitudinal locations and extents of ship collision damage was published in its entirety in his paper [36] and he considers it has advantages over other existing approaches. In [38] Jakić developed the procedure for cases in which it is necessary to introduce damage penetrations as well. Further research resulted in important improvements and congruencies for both approaches, and the new results will be presented here. In their new form these results can serve for significant future improvements of international regulations of the International Maritime Organization, IMO, on ship subdivision and damage stability.



**CROATIA**  
OSIGURANJE d.d.  
UTEMELJENA 1884.



## CROATIA OSIGURANJE d.d.

FILIJALA ZA OSIGURANJE TRANSPORTA  
I KREDITA - DUBROVNIK

OSIGURANJE BRODOVA, ČAMACA, ROBE U  
DOMAĆEM I MEĐUNARODNOM PROMETU

PRUŽANJE USLUGA DOMAĆIM I STRANIM  
OSIGURAVAJUĆIM ORGANIZACIJAMA

**Adresa:** Dr. Ante Starčevića 53, 50000 DUBROVNIK

**Poštanski pregradak** 85

**TELEFONI:** Centrala (050) 22 - 788, Direktor: (050) 412 - 979

**TELEX:** 27 - 585

**TELEFAX:** (050) 27 - 790