



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U
NOVOM SADU



Ivan V. Škiljaica

**RAZVOJ METODA ZA ODREĐIVANJE
TEHNIČKIH I EKSPLOATACIONIH
PARAMETARA BRODOVA POTISKIVAČA I
POTISKIVANIH SASTAVA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Novi Sad, 2018. god



КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:			
Идентификациони број, ИБР:			
Тип документације, ТД:	Монографска документација		
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал		
Врста рада, ВР:	Докторска дисертација		
Аутор, АУ:	Иван Шкиљаица		
Ментор, МН:	Др Илија Танацков, редовни професор		
Наслов рада, НР:	Развој метода за одређивање техничких и експлоатационих параметара бродова потискивача и потискиваних састава		
Језик публикације, ЈП:	Српски		
Језик извода, ЈИ:	Српски		
Земља публикавања, ЗП:	Република Србија		
Уже географско подручје, УГП:	Војводина		
Година, ГО:	2018		
Издавач, ИЗ:	Факултет техничких наука		
Место и адреса, МА:	Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 6		
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	13 поглавља/241 страна/109 цитата/98 табела/89 слика		
Научна област, НО:	Саобраћајно инжењерство		
Научна дисциплина, НД:	Организације и технологије транспорта		
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	брод-потискивач, потискивани склоп/потискивани састав, експлоатациони параметри рада потискивача и састава.		
УДК			
Чува се, ЧУ:	Библиотека Факултета техничких наука у Новом Саду		
Важна напомена, ВН:			
Извод, ИЗ:	<p>Кретање потискиваног склопа/састава је његова способност да се премешта неком брзином услед деловања одређене силе која му је придодата. Ову силу стварају бродски пропелери и при задатој брзини $v=const$ она треба да буде једнака сили отпора средине-воде и ваздуха. Из тог разлога корисна сила коју развијају пропелери брода-потискивача при пловидби са саставом потискивача при $v=const$ треба да савлада не само отпор свих потискивача у саставу већ и сопствени отпор брода. За планере процеса водног превоза неопходно је, осим познавања величине отпора средине при пловидби потискиваних склопова и познавање редукованих и специфичних отпора појединих типова потискиваних теретњака и састава које они чине. Осим тога, предложене су методе за прорачун очекиваних брзина пловидбе у мирној води и очекиваних вредности показатеља статичког оптерећења утврђених на основу обављених експеримената по појединим типовима бродова и потискиваних састава. Такође, предложени су нови технички и експлоатациони показатељи за оцену исправности рада потискивача, који до сада нису примењивани у Србији. На крају дисертације приказане су методе којима се решавају практични задаци превоза по различитим бродовима потискивачима и потискиваним саставима.</p>		
Датум прихватања теме, ДП:	25.11.2015.		
Датум одбране, ДО:			
Чланови комисије, КО:	Председник:	Др Павле Гладовић, редовни професор	
	Члан:	Др Милица Миличић, доцент	
	Члан:	Др Зоран Николић, научни сарадник	
	Члан:	Др Владислав Мараш, доцент	
	Члан:	Др Златко Хрле, редовни професор	Потпис ментора
	Члан, ментор:	Др Илија Танацков, редовни професор	



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monographic publication
Type of record, TR :	Printed textual material
Contents code, CC :	Ph. D. thesis
Author, AU :	Ivan Škiljaica
Mentor, MN :	Ph.D. Ilija Tanackov, Professor
Title, TI :	Developing methods for determining technical and exploitation parameters of push boats and pushed convoys
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	English
Country of publication, CP :	Republic of Serbia
Locality of publication, LP :	Vojvodina
Publication year, PY :	2018
Publisher, PB :	Faculty of Tehnical Sciences
Publication place, PP :	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	13 chapters/241 pages/109 ref./98 tables/89 pictures
Scientific field, SF :	Traffic engineering
Scientific discipline, SD :	Organizations and technologies of transport
Subject/Key words, S/KW :	Push-boat, convoy, pushed convoy, exploitation parameters of push-boats and pushed convoys.
UC	
Holding data, HD :	Library of the Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad
Note, N :	
Abstract, AB :	<p>Movement of convoy/pushed convoy is its ability to change place due to certain force that drives it. This force is created by ship's propellers for given speed $v=\text{const}$ and it should be equal to resistance of surrounding water and air. This is the reason why useful force created by ships propellers (thrust) created by propellers of push-boat while navigating with a convoy at $v=\text{const}$ needs to overcome not only the resistance of barges but push-boat's resistance as well. For planers of transport process it is necessary to know, besides the resistance of surroundings during navigation of pushed convoys, the value of reduced and specific resistance for certain types of barges and convoys that they form. Apart from that methods for calculation of expected speeds of navigation, value of static load of engines based on experimental research. Besides that new exploitation parameters for determination of push-boat's work are proposed, which haven't been used in Serbia. At the end dissertation presents methods to solve practical transportation tasks for different ships with different convoys.</p>
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	25.11.2015.
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	
President:	PhD Pavle Gladović, full professor
Member:	PhD Milica Miličić, assistant professor
Member:	PhD Zoran Nikolić, research associate
Member:	PhD Vladislav Maraš, assistant professor
Member:	PhD Zlatko Hrle, full professor
Member, Mentor:	PhD Ilija Tanackov, full professor
	Mentor's signature

IZJAVA ZAHVALNOSTI

Ova doktorska disertacija nastala je kao rezultat zalaganja više ljudi koji su uložili svoje znanje i vreme da ona dobije konačan oblik.

Na prvom mestu se zahvaljujem mentoru, prof. dr. Iliji Tanackovu na velikom trudu i zalaganju koje je uložio za izradu ove disertacije. Dalje se zahvaljujem ostalim članovima Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije na predlozima, savetima, uloženom trudu i vremenu na osnovu kojih je ova disertacija dobila svoj završni oblik. Pored mentora i komisije, takođe se zahvaljujem prof. dr. Vladeti Čoliću čiji su saveti takođe bili veoma korisni i od velike pomoći.

Izuzetnu zahvalnost takođe upućujem i svome ocu, Vladimiru Škiljaici, za sugestije i savete, kao i za višegodišnje prevođenje stručne ruske literature koja je bila izuzetno korisna prilikom izrade ove disertacije.

Gospođi Katarini Vukadinović iz Direkcije za plovne puteve, Ministarstva građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture zahvaljujem se na rezultatima snimanja profila reke Dunav.

Gospodinu Anti Zaninoviću i njegovim kolegama iz Brodarskog instituta u Zagrebu zahvaljujem se na saradnji i na ustupanju rezultata merenja koje sam koristio za istraživanje.

Zahvaljujem se i kolegama sa Departmana za saobraćaj, Fakulteta tehničkih nauka na podršci i pomoći tokom izrade disertacije.

Na kraju, zahvaljujem se i mojim devojkama, supruzi Sonji i ćerci Loli, kojima sam u poslednje vreme značajno uskratio pažnju, na strpljenju i velikoj podršci.

Mojoj majci Nadi Lujić Škiljaici (1946-2013)

SADRŽAJ

SPISAK SLIKA.....	iv
SPISAK TABELA.....	vii
SPISAK OZNAKA I SKRAĆENICA.....	x
1. UVOD.....	1
1.1 Osnovne karakteristike vodnog saobraćaja – opšta razmatranja.....	1
1.2 Neka pogrešna mišljenja o vodnom transportu.....	5
1.3 Postavka i opis problema.....	5
1.4 Cilj istraživanja i osnovne hipoteze.....	6
2 POSTOJEĆE TEHNOLOGIJE PREVOŽENJA TERETA UNUTRAŠNJIM PLOVNIM PUTEVIMA 8	
2.1 Tegljeni sastavi.....	8
2.2 Potiskivani sklopovi i sastavi.....	9
2.3 Motorni teretnjaci.....	13
3 PREGLED LITERATURE.....	15
4 EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA IZGRAĐENIH BRODOVA U REALNIM USLOVIMA NA PLOVNOM PUTU.....	37
4.1 Opšta razmatranja o eksperimentalnim ispitivanjima izgrađenih brodova potiskivača	37
4.2 Vrste eksperimentalnih ispitivanja izgrađenih brodova u realnim uslovima na plovnom putu.....	44
4.3 Razlike u uslovima sprovođenja eksperimenata sa modelima potiskivača i potisnica i izgrađenim brodovima.....	46
4.4 Merni pribor i uređaji.....	46
5 EKSPLOATACIONI POKAZATELJI KAO KRITERIJUM ZA IZBOR NAJPOVOLJNIJIH TEHNIČKIH I EKSPLOATACIONIH PARAMETARA POTISKIVANIH SASTAVA.....	51
5.1 Uloga eksploatacionih pokazatelja.....	51
5.2 Podela eksploatacionih pokazatelja.....	51
5.3 Način određivanja eksploatacionih pokazatelja.....	53
5.4 Osnovni eksploatacioni pokazatelji.....	54
5.4.1 Pokazatelji po brzini plovidbe.....	54
5.4.2 Pokazatelji iskorišćenja registrovane nosivosti i snage pogonskih motora	55
5.4.2.1 Eksploatacioni pokazatelji po opterećenju (ε), (p).....	56
5.4.2.2 Prevozni učinak (P_U).....	56
5.4.2.3 Eksploatacioni pokazatelj proizvodnje (P).....	57
5.4.3 Rezultativni eksploatacioni pokazatelj (P_r).....	57
5.5 Osnovni ekonomski pokazatelj.....	58

5.6	Analiza rezultativnog eksploatacionog pokazatelja – teorijski pristup	59
6	PREDLOG METODE ISPITIVANJA PARAMETARA U REALNIM USLOVIMA PLOVIDBE NEOPHODNIH ZA ODREĐIVANJE POKAZATELJA RADA BRODOVA-POTISKIVAČA I POTISKIVANIH SASTAVA	64
7	PRIMENA REZULTATA UTVRĐENIH TOKOM SPROVEDENIH EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA	75
7.1	Opis problema istraživanja	75
7.2	Potreba za poznavanjem eksploatacionih pokazatelja rada brodova	80
7.3	Postupak utvrđivanja radnih karakteristika brodova-potiskivača pri radu sa potiskivanim sastavima/sklopovima na osnovu eksperimenata izvršenim u realnim uslovima plovitbe	81
7.4	Prikaz rezultata istraživanja	87
7.4.1	Brod potiskivač “Romanija” – prvo ispitivanje	87
7.4.2	Brod potiskivač “Romanija” – drugo ispitivanje	90
7.4.3	Brod potiskivač “Vinodol”	94
7.4.4	Brod potiskivač “Banat II”	98
7.4.5	Brod potiskivač “Srem”	101
7.4.6	Brod potiskivač „Deligrad“	105
7.4.7	Brod potiskivač „Sloga“	109
7.4.8	Brod potiskivač „Pinki“ – prvo ispitivanje	113
7.4.9	Brod potiskivač „Pinki“ – drugo ispitivanje	117
7.4.10	Brod potiskivač „Panonija“ – prvo ispitivanje	121
7.4.11	Brod potiskivač „Panonija“ – drugo ispitivanje	124
7.4.12	Brod potiskivač „Kablar“	128
7.4.13	Brod potiskivač „Šumadija“	131
7.4.14	Brod potiskivač „Kladovo“	134
7.4.15	Brod potiskivač „Bor“	137
7.4.16	Brod potiskivač „Kadinjača“ – tri motora	140
7.4.17	Brod potiskivač „Kadinjača“ – dva motora	144
7.4.18	Brod potiskivač „Kumanovo“	148
7.4.19	Brod potiskivač „Karađorđe“	152
7.4.20	Brod potiskivač „Kragujevac“	155
7.5	Značaj ispitivanja potiskivanih sklopova/sastava u realnim uslovima plovitbe	158
7.5.1	Primena eksploatacionih pokazatelja na utvrđivanje uticaja tipa potisnica simetričnog oblika trupa na radne karakteristike brodova-potiskivača	160
7.5.2	Primena eksploatacionih pokazatelja na utvrđivanje uticaja tipa potisnica nesimetričnog oblika trupa na radne karakteristike brodova-potiskivača	178
7.5.3	Primena eksploatacionih pokazatelja na utvrđivanje uticaja uslova plovitbe na radne karakteristike brodova-potiskivača	187

7.5.3.1	Primena eksploatacionih pokazatelja na utvrđivanje uticaja uslova plovidbe na radne karakteristike brodova-potiskivača na Srednjem i Gornjem Dunavu..	188
7.5.3.2	Primena eksploatacionih pokazatelja na utvrđivanje uticaja uslova plovidbe na radne karakteristike brodova-potiskivača na Donjem Dunavu	198
8	TERMO-TEHNIČKA I ISPITIVANJA POTROŠNJE GORIVA BRODOVA-POTISKIVAČA U REALNIM USLOVIMA PLOVIDBE.....	203
8.1	Opšte napomene	203
8.2	Rezultati ostvarenih termo-tehničkih ispitivanja realizovanih na brodovima naših brodarskih preduzeća	204
9	UTVRĐIVANJE OSNOVNIH TEHNIČKIH I EKSPLOATACIONIH KARATKTERISTIKA BRODOVA POTISKIVAČA I POTISKIVANIH TERETNJAKA.....	208
10	PREDLOG METODA ZA REŠAVANJE ZADATAKA PREVOŽENJA.....	215
11	ZAKLJUČNA RAZMATRANJA	223
12	PRAVCI DALJIH ISTRAŽIVANJA.....	233
13	OSNOVNA LITERATURA	235

SPISAK SLIKA

1.1 Uporedni prikaz nosivosti sastava potiskivanih teretnjaka i nosivosti vozila železničkog, odnosno drumskog saobraćaja (Izvor: autor).....	3
1.2 Mreža plovnih puteva Evrope (Izvor: VNF, Voies navigables de France).....	4
2.1 Generalni plan tegljenice (Izvor: Dunavbrod, Beograd).....	8
2.2 Generalni plan motornog tegljača (Izvor: Dunavbrod, Beograd).....	9
2.3 Skica tegljenog sastava (Izvor: autor).....	9
2.4 Generalni plan motornog potiskivača (Izvor: Dunavbrod, Beograd).....	12
2.5 Generalni plan nesimetrične potisnice za suvi teret (Izvor: Dunavbrod, Beograd).....	12
2.6 Generalni plan standardne nesimetrične potisnice za tečni teret (Izvor: Dunavbrod, Beograd).....	13
2.7 Potiskivani sastavi sačinjeni od nesimetričnih i simetričnih potisnica (Izvor: Škiljaica i dr. 2015.).....	13
2.8 Potiskivani sklopovi sačinjeni od simetričnih i nesimetričnih potisnica (Izvor: Škiljaica i dr. 2015.).....	13
2.9 Motorni teretnjak u sastavu sa jednom potisnicom.....	14
4.1 Putanja broda tokom sprovođenja eksperimentalnih ispitivanja (Izvor: Van Den Boom i dr. 2006.).....	38
4.2 Putanja broda tokom sprovođenja eksperimentalnih ispitivanja (Izvor: Цурбан 1977).....	38
4.3 Digitalni dinamometar (izvor http://www.wagnerinstruments.com).....	47
4.4 Hidrometrijsko krilo (Izvor: http://www.akim.com.tr).....	48
4.5 Princip merenja pomoću torziometra (Izvor: Jugoslovenski leksikografski zavod Miroslav Krleža (1989), str. 183.).....	49
4.6 Princip merenja pomoću torziometra (Izvor: Jugoslovenski leksikografski zavod Miroslav Krleža (1989), str. 184.).....	50
4.7 Prikaz postavljanja mernih prstenova torziometra na vratilo propelera (Izvor: www.km.kongsberg.com).....	50
6.1 Deo Smederevskog sektora od km1113 do km 1121 (Izvor: Commission du Danube 1990 b).....	66
6.2 Deo Smederevskog sektora od km1104 do km 1112 (Izvor: Commission du Danube 1990 b).....	67
6.3 Grafički prikaz profila dna i poprečnih profila rečnog korita na Smederevskom sektoru pri vodostaju na VMS Smederevo +413 cm (Crtež autor prema podacima: Elaborat snimanja profila Dunava i pritoka, Direkcija za unutrašnje plovne puteve "Plovput", za naručioca Privredno društvo "Hidroelektrane Đerdap" d.o.o. Kladovo, 2010).....	68
6.4 Postupak konstrukcije krivih promene prevoznog učinka, statičkog opterećenja pogonskih motora i rezultativnog eksploatacionog pokazatelja – teorijski pristup (Izvor: autor).....	72
7.1 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Romanija“ – prvo ispitivanje.....	87
7.2 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Romanija“ – drugo ispitivanje.....	90
7.3 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Vinodol“.....	94
7.4 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Banat II“.....	98
7.5 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Srem“.....	101
7.6 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Deligrad“ (motorni potiskivač).....	105
7.7 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Sloga“.....	109
7.8 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Pinki“ – prvo ispitivanje.....	113
7.9 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Pinki“ – drugo ispitivanje.....	117
7.10 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Panonija“ – prvo ispitivanje.....	121
7.11 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Panonija“ – drugo ispitivanje.....	124
7.12 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Kablar“.....	128
7.13 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Šumadija“.....	131
7.14 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Kladovo“.....	134
7.15 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Bor“.....	137
7.16 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Kadinjača“ – tri motora.....	140
7.17 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Kadinjača“ – dva motora.....	144
7.18 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Kumanovo“.....	148
7.19 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Karađorđe“.....	152
7.20 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Kragujevac“.....	155
7.21 Uporedni dijagrami promene statičkog opterećenja pogonskih motora brodova-potiskivača $\bar{p}(\bar{v}_o)$ pri radu sa potisnicama tipa HP71700, BBP77400, BBP78000 i PIM71700.....	165

7.22 Uporedni dijagrami promene rezultativnog pokazatelja $\bar{P}_{ro}(\bar{v}_o)$ brodova-potiskivača „Pinki“/„Panonija“, „Vinodol“/„Šumadija“, „Romanija“ i „BanatII“/„Srem“ pri radu sa potisnicama tipa HP71700, BBP77400, BBP78000 i PIM71700.....	165
7.23 Uporedni dijagrami promene rezultativnog pokazatelja $\bar{P}_{ro}(\bar{p}_o)$ brodova-potiskivača „Pinki“/„Panonija“, „Vinodol“/„Šumadija“, „Romanija“ i „BanatII“/„Srem“ pri radu sa potisnicama tipa HP71700, BBP77400, BBP78000 i PIM71700.....	166
7.24 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih sklopova pri radu brodova-potiskivača sa potisnicama tipa HP71700	168
7.25 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih sklopova pri radu brodova-potiskivača sa potisnicama tipa BBP77400	168
7.26 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih sklopova pri radu broda-potiskivača sa potisnicama tipa BBP78000	169
7.27 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih sklopova pri radu brodova-potiskivača sa potisnicama tipa PIM71000	169
7.28 Uporedni dijagram promene pokazatelja koeficijenta tonaže $k_T=f(v)$ za sklopove deplasmana: $D_{P+2+2(HP71700)}=7378,75 t$, $D_{P+2+2(PIM71700)}=7459,93 t$ i $D_{P+3+3+3(BBP77400)}=7249,84 t$	173
7.29 Uporedni dijagram promene pokazatelja specifičnog otpora po deplasmanu $r_D=f(v)$ za sklopove: $D_{P+2+2(HP71700)}=7378,75 t$, $D_{P+2+2(PIM71700)}=7459,93 t$ i $D_{P+3+3+3(BBP77400)}=7249,84 t$	173
7.30 Uporedni dijagram promene koeficijenta kvaliteta tonaže $k_T=f(v)$ sklopova oblika P+3, P+1+1+1, P+2+1 (nesim.), P+2+1 (sim.).....	174
7.31 Uporedni dijagram promene pokazatelja specifičnog otpora po deplasmanu $r_D=f(v)$ za sklopove: P+3; P+1+1+1; P+2+1 (nesim.); P+2+1 (sim.).....	175
7.32 Međusobni položaj krivih promene rezultativnog pokazatelja $Pr(v)$ prema režimima rada pogonskih motora brodova-potiskivača “Pinki”/“Panonija” za ispitivane sklopove pri radu sa potisnicama tipa HP71700	176
7.33 Međusobni položaj krivih promene rezultativnog pokazatelja $Pr(v)$ prema režimima rada pogonskih motora brodova-potiskivača “Banat I”/“Srem” za ispitivane sklopove pri radu sa potisnicama tipa PIM71700	177
7.34 Međusobni položaj krivih promene rezultativnog pokazatelja $Pr(v)$ prema režimima rada pogonskih motora brodova-potiskivača “Vinodol”/“Šumadija” i “Romanija” za ispitivane sklopove pri radu sa potisnicama tipa BBP77300.....	178
7.35 Uporedni dijagrami promene statičkog opterećenja pogonskih motora brodova-potiskivača $\bar{p}(\bar{v}_o)$ pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 i JRB71700.....	180
7.36 Uporedni dijagrami promene rezultativnog pokazatelja $\bar{P}_{ro}(\bar{v}_o)$ brodova-potiskivača pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 i JRB71700/DL81500 ($v^*=_{JRB71300}=9,604 km/h$; $v^*=_{JRB71700}=7,357 km/h$)	180
7.37 Uporedni dijagrami promene rezultativnog pokazatelja $\bar{P}_{ro}(\bar{p}_o)$ za potisnice tipa JRB 71300 i JRB 71700/DL 81500 ($p^*=_{JRB71700}=10,42 t/kW$; $p^*=_{JRB71300}=11,409 km/h$).....	181
7.38 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih sklopova pri radu sa potisnicama tipa JRB71300.....	182
7.39 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih sklopova pri radu sa potisnicama tipa JRB71700/D 81500.....	183
7.40 Uporedni (zajednički) dijagrami promene pokazatelja kvaliteta tonaže (k_T) pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 i tipa JRB71700/D 81500.....	185
7.41 Uporedni (zajednički) dijagrami promene pokazatelja specifičnog otpora po jedinici deplasmana sklopa (r_D) pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 i tipa JRB71700/DL81500.....	185
7.42 Uporedni dijagram promene rezultativnog pokazatelja $P_r(v)$ pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 i tipa JRB71700/DL81500.....	186
7.43 Dijagram promene statičkog opterećenja pogonskih motora broda-potiskivača $p(v)$ pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 na Srednjem Dunavu – slučaj kada potiskivač radi sa dva pogonska motora	190
7.44 Dijagram promene rezultativnog pokazatelja broda-potiskivača $P_r(v)$ pri radu sa potisnicama tipa JRB 71300 na Srednjem Dunavu – slučaj kada potiskivač radi sa dva pogonska motora.....	191
7.45 Dijagram promene rezultativnog pokazatelja broda-potiskivača $P_r(p)$ pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 na Srednjem Dunavu – slučaj kada potiskivač radi sa dva pogonska motora.....	191
7.46 Dijagram promene statičkog opterećenja pogonskih motora broda-potiskivača $p(v)$ pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 na Srednjem Dunavu – slučaj kada potiskivač radi sa tri pogonska motora	192

7.47 Dijagram promene rezultativnog pokazatelja broda-potiskivača $P_r(v)$ pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 na Srednjem Dunavu – slučaj kada potiskivač radi sa tri pogonska motora.....	192
7.48 Dijagram promene rezultativnog pokazatelja broda-potiskivača $P_r(p)$ pri radu sa potisnicama tipa JRB 71300 na Srednjem Dunavu – slučaj kada potiskivač radi sa tri pogonska motora.....	193
7.49 Uporedni dijagrami promene statičkog opterećenja pogonskih motora broda-potiskivača $p(v)$ pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 na Srednjem Dunavu – slučaj kada potiskivač radi sa dva i tri pogonska motora	193
7.50 Uporedni dijagrami promene rezultativnog pokazatelja $P_r(v)$ broda-potiskivača pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 na Srednjem Dunavu – slučaj kada potiskivač radi sa dva i tri pogonska motora	194
7.51 Uporedni dijagrami promene rezultativnog pokazatelja $P_r(p)$ broda-potiskivača pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 na Srednjem Dunavu – slučaj kada potiskivač radi sa dva i tri pogonska motora	195
7.52 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih sklopova pri radu broda-potiskivača sa potisnicama tipa JRB71300 na Srednjem i Gornjem Dunavu.....	196
7.53 Uporedni dijagrami promene pokazatelja kvaliteta tonaže (k_T) pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 u uslovima plovidbe na Srednjem i Gornjem Dunavu	197
7.54 Uporedni dijagrami promene pokazatelja specifičnog otpora po jedinici deplasmana sklopa (r_D) pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 u uslovima plovidbe na Srednjem i Gornjem Dunavu	197
7.55 Dijagram promene statičkog opterećenja pogonskih motora broda-potiskivača $p(v)$ pri radu sa sklopovima nepravilnih oblika na Donjem Dunavu.....	200
7.56 Dijagram promene rezultativnog pokazatelja broda-potiskivača $P_r(v)$ pri radu sa sklopovima nepravilnih oblika na Donjem Dunavu	200
7.57 Dijagram promene rezultativnog pokazatelja broda-potiskivača $P_r(p)$ pri radu sa sklopovima nepravilnih oblika na Donjem Dunavu	201
9.1 Dijagram promene nosivosti potiskivanih teretnjaka u funkciji gaza, $Q_e=f(T_e)$, za simetrične potisnice tipa $Q_r=1466$ t, $Q_r=732$ t i nesimetrične $Q_r=1466$ t i $Q_r=1260$ t.....	210
9.2 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih teretnjaka, $R=f(v)$, za simetrične potisnice tipa $Q_r=1466$ t, $Q_r=732$ t i nesimetrične $Q_r=1466$ t i $Q_r=1260$ t za $T_e=T_r$	210
9.3 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih teretnjaka, $R=f(T)$, tipa $Q_r=1466$ t za brzine plovidbe $v=8,0; 10,0; 12,0, 14,0$ i $16,0$ km/h.....	211
9.4 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih teretnjaka, $R=f(T)$, tipa $Q_r=1690$ t za brzine plovidbe $v=8,0; 10,0; 12,0, 14,0$ i $16,0$ km/h.....	211
9.5 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih teretnjaka, $R=f(T)$, tipa $Q_r=732$ t za brzine plovidbe $v=8,0; 10,0; 12,0, 14,0$ i $16,0$ km/h.....	212
9.6 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih teretnjaka, $R=f(T)$, tipa $Q_r=1260$ t za brzine plovidbe $v=8,0; 10,0; 12,0, 14,0$ i $16,0$ km/h.....	212
9.7 Dijagram promene redukovanoog otpora, $\bar{R} = f(v)$, potiskivanih teretnjaka tipa $Q_r=1466$ t, $Q_r=732$ t, $Q_r=1690$ t i $Q_r=1260$ t kada je $T_e=T_r$	214
9.8 Dijagram promene redukovanoog otpora potiskivanih sastava oblika $2+2$, $\bar{R}_{sast(2+2)}$, formiranih od potiskivanih teretnjaka tipa $Q_r=1466$ t i $Q_r=1690$ t kada je $T_e=T_r$	214
10.1 Dijagram promene sile potiskivanja brodova-potiskivača tipa $\Sigma N_i=758,08$ kW.....	217
10.2 Dijagram promene sile potiskivanja i redukovane sile potiskivanja koja odgovara brodovima tipa $\Sigma N_i=758,08$ kW...	222

SPISAK TABELA

4.1 Uslovi odvijanja eksperimenata (Izvor: autor).....	46
6.1 Postupak utvrđivanja rezultativnog eksploatacionog pokazatelja broda-potiskivača kada plovi sa sastavima različitih oblika (Izvor: autor).....	74
7.1 Osnovne osobenosti potiskivača "Romanija"- prvo ispitivanje i potisnica BBP7740	87
7.2 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Romanija" – prvo ispitivanje.....	87
7.3 Ekspolacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač "Romanija" – prvo ispitivanje	87
7.4 Dijagrami $N_{vr}(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač "Romanija" – prvo ispitivanje	88
7.5 Osnovne osobenosti potiskivača "Romanija"- drugo ispitivanje i potisnica BBP7740 i tegljenica BBP4620.....	90
7.6 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Romanija" – drugo ispitivanje	90
7.7 Ekspolacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač "Romanija" – drugo ispitivanje.....	90
7.8 Dijagrami $N_{vr}(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Romanija“ – drugo ispitivanje	91
7.9 Osnovne osobenosti potiskivača "Vinodol i potisnica BBP7740.....	94
7.10 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Vinodol"	94
7.11 Ekspolacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač "Vinodol"	94
7.12 Dijagrami $N_{vr}(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač "Vinodol".....	95
7.13 Osnovne osobenosti potiskivača "Banat II" i potisnica PIM71700.....	98
7.14 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Banat II"	98
7.15 Ekspolacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač "Banat II"	98
7.16 Dijagrami $N_{vr}(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač "Banat II"	99
7.17 Osnovne osobenosti potiskivača "Srem" i potisnica PIM71800 i PIM71700.....	101
7.18 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Srem"	101
7.19 Ekspolacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač "Srem"	101
7.20 Dijagrami $N_{vr}(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač "Srem"	102
7.21 Osnovne osobenosti potiskivača "Deligrad" i potisnica JRB81200 i JRB71300.....	105
7.22 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Deligrad"	105
7.23 Ekspolacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač "Deligrad"	105
7.24 Dijagrami $N_{vr}(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Deligrad“ (motorni potiskivač).....	106
7.25 Osnovne osobenosti potiskivača "Sloga" i potisnica DL81500.....	109
7.26 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Sloga".....	109
7.27 Ekspolacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač "Sloga"	109
7.28 Dijagrami $N_{vr}(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Sloga“	110
7.29 Osnovne osobenosti potiskivača "Pinki" – prvo ispitivanje i potisnica HP71700 i HP77400.....	113
7.30 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Pinki" – prvo ispitivanje.....	113
7.31 Ekspolacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač "Pinki" – prvo ispitivanje	113
7.32 Dijagrami $N_{vr}(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Pinki“ – prvo ispitivanje	114
7.33 Osnovne osobenosti potiskivača "Pinki" – drugo ispitivanje i potisnica HP71700 i HP77400	117
7.34 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Pinki" – drugo ispitivanje	117
7.35 Ekspolacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač "Pinki" – drugo ispitivanje	117
7.36 Dijagrami $N_{vr}(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Pinki“ – drugo ispitivanje.....	118
7.37 Osnovne osobenosti potiskivača "Panonija" – prvo ispitivanje i potisnica HP71700 i HP77400.....	121
7.38 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Panonija" – prvo ispitivanje.....	121
7.39 Ekspolacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač "Panonija" – prvo ispitivanje	121
7.40 Dijagrami $N_{vr}(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Panonija“ – prvo ispitivanje	122
7.41 Osnovne osobenosti potiskivača "Panonija" – drugo ispitivanje i potisnica HP71700 i HP77400	124
7.42 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Panonija" – drugo ispitivanje	124

7.43 Ekspolatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač "Panonija" – drugo ispitivanje	124
7.44 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Panonija“ – drugo ispitivanje	125
7.45 Osnovne osobenosti potiskivača "Kablar" i potisnica PIM77300.....	128
7.46 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Kablar"	128
7.47 Ekspolatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač "Kablar"	128
7.48 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Kablar“	129
7.49 Osnovne osobenosti potiskivača "Šumadija" i potisnica BBP77400 i BBP78400.....	131
7.50 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Šumadija".....	131
7.51 Ekspolatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova potiskivač "Šumadija"	131
7.52 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Šumadija“	132
7.53 Osnovne osobenosti potiskivača "Kladovo" i potisnica RBK71300 i RBK71700.....	134
7.54 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Kladovo"	134
7.55 Ekspolatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač "Kladovo"	134
7.56 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Kladovo“	135
7.57 Osnovne osobenosti potiskivača "Bor" i potisnica RBK 71300 i RBK71700	137
7.58 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Bor".....	137
7.59 Ekspolatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač "Bor"	137
7.60 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Bor“	138
7.61 Osnovne osobenosti potiskivača "Kadinjača" – tri motora i potisnica JRB71300 i tegljenica JRB21040.....	140
7.62 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Kadinjača" – tri motora	140
7.63 Ekspolatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač "Kadinjača" – tri motora	140
7.64 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Kadinjača“ – tri motora.....	141
7.65 Osnovne osobenosti potiskivača "Kadinjača" – dva motora i potisnica JRB71300 i tegljenica JRB21040.....	144
7.66 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Kadinjača" – dva motora.....	144
7.67 Ekspolatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač "Kadinjača" – dva motora	144
7.68 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Kadinjača“ – dva motora.....	145
7.69 Osnovne osobenosti potiskivača "Kumanovo" i potisnica JRB81200, JRB81500 i JRB71300 i tegljenica JBR01000 .	148
7.70 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Kumanovo".....	148
7.71 Ekspolatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač "Kumanovo"	148
7.72 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Kumanovo“	149
7.73 Osnovne osobenosti potiskivača "Karađorđe" i potisnica JRB71300 i JRB71700.....	152
7.74 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Karađorđe"	152
7.75 Ekspolatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač "Karađorđe"	152
7.76 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Karađorđe“	153
7.77 Osnovne osobenosti potiskivača "Kragujevac" i potisnica JRB81200 i JRB81500.....	155
7.78 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Kragujevac"	155
7.79 Ekspolatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač "Kragujevac"	155
7.80 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Kragujevac“	156
7.81 Očekivane vrednosti pokazatelja brodova „Pinki“/“Panonija“ pri radu sa sklopom oblika P+2+2 (potisnice tip HP71700, deplasman $D=1760$ t, nosivost $Q_r=1466,31$ t).....	161
7.82 Očekivane vrednosti pokazatelja koje ostvaruju brodovi „Pinki“/“Panonija“ pri radu sa ostalim sklopovima (potisnice tip HP71700, deplasman $D=1760$ t, nosivost $Q_r=1466,31$ t).....	162
7.83 Očekivane vrednosti pokazatelja brodova „Vinodol“/“Šumadija“ pri radu sa sklopovima (potisnice tip BBP77400, deplasman $D=893$ t, nosivost $Q_r=731,99$ t).....	163
7.84 Očekivane vrednosti pokazatelja brodova „Banat II“/“Srem“ pri radu sa sklopovima (potisnice tip PIM71700, deplasman $D=1812,98$ t, nosivost $Q_r=1521,95$ t).....	163
7.85 Očekivane vrednosti pokazatelja broda „Romanija“ pri radu sa sklopovima (potisnice tip BBP78000, deplasman $D=994,21$ t, nosivost $Q_r=805,53$ t).....	164

7.86	Vrednosti pokazatelja kvaliteta tonaže (k_T), specifičnog otpora po nosivosti (r_D) i specifičnog otpora po deplasmanu sklopa (r_D) za brzine plovidbe u mirnoj vodi $v=8,0; 10,0; 12,0$ i $14,0$ km/h za brodove „Pinki“/“Panonija“ pri radu sa potisnicama HP71700.....	167
7.87	Prikaz izračunatih vrednosti kvaliteta tonaže (k_T), specifičnog otpora po deplasmanu (r_D) i specifičnog otpora po nosivosti (r_D) za potisnice tipa HP71700	170
7.88	Prikaz izračunatih vrednosti kvaliteta tonaže (k_T), specifičnog otpora po deplasmanu (r_D) i specifičnog otpora po nosivosti (r_D) za potisnice tipa BBP77400	171
7.89	Prikaz izračunatih vrednosti kvaliteta tonaže (k_T), specifičnog otpora po deplasmanu (r_D) i specifičnog otpora po nosivosti (r_D) za potisnice tipa BBP78000	171
7.90	Prikaz izračunatih vrednosti kvaliteta tonaže (k_T), specifičnog otpora po deplasmanu (r_D) i specifičnog otpora po nosivosti (r_D) za potisnice tipa PIM71000.....	172
7.91	Očekivane vrednosti pokazatelja koje ostvaruje brod „Deligrad“ pri radu sa sklopovima formiranih od potisnice tipa JRB71300 (deplasman $D=1470,68$ t, nosivost $Q_r=1242,00$ t)	181
7.92	Očekivane vrednosti pokazatelja koje ostvaruje brod „Sloga“ pri radu sa sklopovima formiranih od potisnica tipa JRB71700/DL81500 (deplasman $D=2020,018$ t, nosivost $Q_r=1729,94$ t)	182
7.93	Prikaz izračunatih vrednosti kvaliteta tonaže (k_T), specifičnog otpora po deplasmanu (r_D) i specifičnog otpora po nosivosti (r_D) za potisnice tipa JRB71300.....	183
7.94	Prikaz izračunatih vrednosti kvaliteta tonaže (k_T), specifičnog otpora po deplasmanu (r_D) i specifičnog otpora po nosivosti (r_D) za potisnice tipa JRB71700/D 81500	184
11.1	Rezultati uporednih ispitivanja potiskivanih sklopova koji sadrže tri istovetne potisnice	225
11.2	Koeficijent utilizacije za različitet tipove potisnica	226

SPISAK OZNAKA I SKRAĆENICA

- B – konstruktivna širina trupa
 B – širina
BBP – “Brodarsko bagersko preduzeće”
 B_{kvl} – širina na konstruktivnoj vodnoj liniji
 B_{sast} – ukupna širina potiskivanog sastva
 c – Jedinični troškovi
 C_0 – koeficijent ostalog otpora teretnjaka
 \bar{C}_s – srednji broj tehnički ispravnih i za rad spremnih brodova u plovnom parku
 D – prečnik propelera (mm)
 D_i – izlazni prečnik sapnice
DL – “Dunavski lojd”
 D_m – deplasman
 D_{skl} – deplasman potiskivanog sklopa
 D_u – ulazni prečnik sapnice
 F_p – efektivna potisna sila broda-potiskivača
 \bar{F} – redukovana potisna sila kompleksa propeler-sapnica
 Fr – Frudov broj
 g – gravitaciona konstanta zemlje
 H – bočna visina
 H – bočna visina trupa
 h – dubina u plovnom putu
 h – dubina vode na mernoj stazi
 h – dubine plovnog puta
 h/T – relativna dubina
 h_{min} – minimalna dubina vode na mernoj stazi
HP – “Heroj Pinki”
 H_p – korak propelera
 H_{sast} – bočna visina potiskivanog sastava
 i – prenosni odnos reduktora
JRB – “Jugoslovensko rečno brodarstvo”
 k – koeficijent smanjenja sopstvenog otpora broda-potiskivača zbog rada propelera u zoni sustrujanja (povratnog strujanja) sastava,
 $k_{S.S.}$ – koeficijent oblika sekcionog potiskivanog sastava
 k_{sast} – koeficijent oblika potiskivanog sastava poznatog oblika,
 k_{sast} – koeficijent oblika sastava potiskivanih teretnjaka

k_{skl} – koeficijent oblika potiskivanog sklopa
 k_T – kvalitet tonaže
 k_T – pokazatelj kvaliteta tonaže
 L – dužina
 \bar{l} – srednja dužina prevoženja jedne tone tereta
 l_H – dužina sapnice sapnice
 L_{kvl} – dužina i na konstruktivnoj vodnoj liniji
 L_{KVL} – dužina na konstruktivnoj vodnoj liniji
 L_{sast} – ukupna dužina potiskivanog sastva
 L_{ao} – dužina preko svega
 n – broj obrtaja propelerskog vratila
 n – broj obrtaja vratila motora
 n – broj parova potisnica postavljenih u oblik 1+1
 n – ukupan broj potiskivanih teretnjaka od kojih je formiran sastav
 n_0 – nominalni broj obrtaja
 N_0 – nominalnu snagu
 N_e – snaga izmerena na propelerskom vratilu i predata na propeler
 N_i – ugrađena snaga pogonskih motora
 N_p – snaga predata propeleru
 p – specifično opterećenje pogonskih motora broda
PIM – Preduzeće “Ivan Milutinović”
 P_{mb} – Eksploatacioni pokazatelj proizvodnje motornog broda
 p_{pg} – od specifična potrošnje goriva
 P_{pg} – ukupna količina potrošenog pogonskog goriva
 $P_r(p)$ – rezultativni pokazatelj u funkciji statičkog opterećenja
 $P_r(v)$ – rezultativni pokazatelj u funkciji brzine
 P_{rmb} – Rezultativni eksploatacioni pokazatelj odnosno motornih brodova
 P_{rt} – Rezultativni eksploatacioni pokazatelj rada teretnjaka
 P_t – Eksploatacioni pokazatelj proizvodnje teretnjaka
 PU – prevozni učinak
 q – specifična nosivost brodova za prevoz tereta-potisnica po 1 cm gaza
 Q_e – eksploataciona nosivost brodova (tegljenih i potiskivanih teretnjaka)
 Q_r – registrovana nosivost brodova (tegljenih i potiskivanih teretnjaka)
RBK – Rečno brodarstvo “Krajina”
 r_D – specifični otpor po deplasmanu
 r_D – specifični otpor potiskivanog sastava po 1 t deplasmana
 $R_{i(1+1)}$ – ukupni otpor jednog para potiskivanih teretnjaka u sekcionom sastavu
 R_{pot} – ukupni otpor broda-potiskivača kada plovi bez sastava potiskivanih teretnjaka
 r_Q – specifični otpor po nosivosti

r_Q – specifični otpor potiskivanog sastava po 1 t nosivosti

\bar{R}_e – vrednost redukovanog otpora potiskivanog teretnjaka pri bilo kom gasu T_e .

\bar{R}_0 – vrednost redukovanog otpora potiskivanog teretnjaka pri najmanjem gasu, T_0 .

\bar{r} – redukovani otpor jednog potiskivanog teretnjaka

$\sum_{i=1}^n R_i$ - ukupni otpor svih potiskivanih teretnjaka u sastavu

$\sum_{i=1}^n R_{i(1+1)}$ - ukupni otpor svih potisnica u sekcionom sastavu

\bar{R}_{skl} , – redukovani otpor potiskivanog sklopa

R_r – ukupni otpor potiskivanog teretnjaka

$R_{S.S.}$ – ukupni otpor sekcionog potiskivanog sastava

R_{skl} – ukupni otpor svih potiskivanih teretnjaka u sastavu i broda-potiskivača

R_{ter} – ukupni otpor jednog potiskivanog teretnjaka iz sastava

R_{ter} – vrednosti otpora svakog teretnjaka u sastavu

\bar{R}_{sast} – redukovani otpor potiskivanog sastava

\bar{R}_i – redukovani otpor svakog od teretnjaka koji čine jedan potiskivani sastav.

S – okvašena površina trupa

T – gaženje broda odnosno potisnica u potiskivanom sastavu

T – gaz

T_0 – gaženje praznog broda/teretnjaka

T_e – eksploatacioni gaz brodova za prevoz tereta

T_k – kalendarski period rada brodova

T_{max} – najveći gaz

T_n – trajanje perioda tehnički neispravnog i za rad nespremnog broda

t_{pl} – vreme trajanja plovidbe koje u sebi može da sadrži i vremena tehničkih operacija u toku plovidbe (ukoliko postoje)

\bar{t}_d – srednje trajanje dostave tereta

\bar{t}_o – srednje trajanje obrta

\bar{T}_n – srednje trajanje navigacionog perioda

T_f – trajanje perioda tehnički ispravnog broda kada nije u radu

T_r – trajanje perioda broda provedenog u radu

T_s – trajanje perioda tehnički ispravnog i za rad spremnog broda

T_{sast} – srednje gaženje svih potiskivanih teretnjaka u sastavu

t_{Φ} – trajanje plovidbe transportnih brodova u povratnom smeru kada se kreću bez tereta

V – istisnina

v – brzina plovidbe u mirnoj vodi

$\uparrow v_t$ – izmerena tehnička brzina broda u uzvodnoj plovidbi
 $\downarrow v_t$ – izmerena tehnička brzina broda u nizvodnoj plovidbi
 Δv – Brzina rečnog toka
 v_e – brzina plovidbe u odnosu na vodu potiskivanih sklopova pri izmerenoj snazi pogonskih motora broda-potiskivača
 v_k – komercijalna brzina
 v_o – očekivana brzina plovidbe u odnosu na vodu potiskivanih sklopova
 v_{pl} – brzina plovidbe broda u mirnoj vodi
 v_{put} – putna brzina
 v_t – brzina plovidbe potiskivanog sklopa sa teretom u potisnicama
 v_t – izmerena tehnička brzina broda
 v_t – tehnička brzina plovidbe
 x – broj propelerskih vratila
 z – broj krila propelera
 \bar{Z} – srednji broj obrta na određenoj relaciji
 α – koeficijent punoće vodne linije
 α_H – koeficijent oblika sapnice
 β – koeficijent punoće glavnog rebra.
 β_H – koeficijent širenja sapnice
 δ – koeficijent punoće istisnine
 δ – koeficijent punoće istisnine
 δ_s – keficijent punoće istisnine potisnica potiskivanog sastava; usvaja se kao srednja vrednost koeficijenta punoće istisnine svih potisnica u sastavu.
 ε – koeficijent iskorišćenja nosivosti jedne potisnice
 ε – stepen iskorišćenja nosivosti
 ε_s – koeficijent iskorišćenja nosivosti svih potisnica u potiskivanom sastavu
 η_{dw} – koeficijent utilizacije
 η_m – u sebi sadrži stepen iskorišćenja pogonskog motora
 η_{pr} – koeficijent prenosa snage iznosi
 η_{pr} – koeficijent prenosa snage
 η_r – stepen iskorišćenja prenosnika
 η_{vr} – stepen iskorišćenja ležaja propelerskih vratila
 θ – odnos površina diskova propelera
 ΣA – ukupno ostvaren transportni rad u istom periodu
 ΣC_i – ukupan broj brodova identičnih tehničkih i eksploatacionih karakteristika
 ΣC_r – ukupan broj brodova koji su u radu
 ΣD – ukupni deplasman svih potisnica u potiskivanom sastavu
 ΣG – ukupno prevezena količina tereta u posmatranom periodu
 ΣG – ukupno prevezeno tereta u toku navigacionog perioda

$\Sigma G \cdot L_t$ – ukupno ostvaren transportni rad u posmatranom periodu
 ΣL – ukupna dužina puta koji brod prevali u određenom periodu
 ΣL_\emptyset – ukupno pređeni put broda bez tereta u posmatranom periodu
 ΣL_t – ukupno pređeni put broda sa teretom u posmatranom periodu
 ΣL_t – ukupno pređeni put brodova sa teretom u toku navigacionog perioda
 ΣN_e – ukupno izmerena snaga pogonskih motora broda-potiskivača
 ΣN_i – ukupno angažovano snage pogonskih uređaja u periodu
 ΣN_o – ukupno očekivana snaga pogonskih motora broda-potiskivača
 ΣQ_e – ukupna eksploataciona nosivost svih potiskivanih teretnjaka u sklopu
 ΣQ_r – ukupna registrovana nosivost potiskivanog sastava
 ΣQ_r – ukupna registrovana nosivost
 ΣR – ukupni otpor svih potisnica u potiskivanom sastavu
 Σt_{ist} – ukupno trajanje vremena istovara broda u toku posmatranog perioda
 ΣT_n – ukupno trajanje navigacionog perioda
 Σt_\emptyset – ukupno trajanje plovidbe bez tereta
 Σt_o – ukupno trajanje svih obrta u posmatranom periodu
 ΣTR – ukupni troškovi nastali neposredno u toku prevoza tereta
 Σt_t – ukupno trajanje plovidbe sa teretom u posmatranom periodu
 $\Sigma t_{top(i)}$ – ukupno trajanje tehničkih i tehnoloških operacija u luci istovara
 $\Sigma t_{top(u)}$ – ukupno trajanje tehničkih i tehnoloških operacija u luci utovara
 Σt_{ut} – ukupno trajanje vremena utovara broda u toku posmatranog perioda
 ΣV – ukupna istisnina potiskivanog sastava
 ΣZ – ukupno ostvaren broj obrta u posmatranom periodu
 ΣZ – ukupno ostvareno transportnih procesa u navigacionom periodu

REZIME

U okviru disertacije, u uvodnom delu prikazuju se osnovne karakteristike, prednosti i nedostaci vodnog transporta. Pored toga, prikazani su ciljevi istraživanja, dve osnovne i jedna pomoćna hipoteza na osnovu kojih se dalje pristupilo izradi disertacije.

Drugo poglavlje daje pregled postojećih tehnologija za prevoženje tereta na unutrašnjim plovnim putevima sa njihovim osnovnim karakteristikama.

Treće poglavlje predstavlja pregled domaće i strane literature koja se odnosi na eksploataciju brodova i potiskivanih sastava.

Četvrto poglavlje opisuje tok vršenja eksperimentalnog ispitivanja brodova u realnim uslovima plovidbe i rezultate. Pored uslova za vršenje eksperimenata prikazuju se i kriterijumi koji moraju biti ispunjeni prilikom vršenja eksperimenata. Dalje se prikazuju vrste eksperimentalnih ispitivanja, razlike između eksperimenata sa modelima brodova i stvarnim brodovima kao i merni uređaji i pribor koji se koriste prilikom eksperimentalnih ispitivanja.

Peto poglavlje prikazuje ulogu eksploatacionih pokazatelja i njihovu podelu, način njihovog određivanja, osnovne eksploatacione i ekonomske pokazatelje kao i analizu rezultativnog eksploatacionog pokazatelja. Pored ovoga još se detaljno prikazuje opis eksploatacionih pokazatelja rada brodova i njihov način proračuna.

Šesto poglavlje razmatra predlog metode za ispitivanje parametara koji su neophodni za određivanje optimalne brzine i optimalne nosivosti potiskivanih sastava. Na osnovu utvrđenih faza određuju se osnovni parametri rada brodova-potiskivača. Na osnovu izračunatih pokazatelja tabelarno je prikazan postupak vršenja eksperimenata i grafički prikaz konstrukcije krivih promena eksploatacionih pokazatelja.

U okviru sedmog poglavlja dat je opis problema istraživanja kao i postupci za utvrđivanje radnih karakteristika brodova-potiskivača prilikom rada sa potiskivanim sastavima na osnovu eksperimentalnih ispitivanja izvršenih u realnim uslovima plovidbe. U okviru ovog poglavlja prikazani su detaljni rezultati proračuna osnovnih karakteristika potiskivanih sklopova i delova merne staze na kojima su vršena ispitivanja zajedno sa eksploatacionim pokazateljima prema brodovima i oblicima potiskivanih sklopova. Pored rezultata razmatra se i značaj ispitivanja sastava/sklopova u realnim uslovima plovidbe.

Osmo poglavlje opisuje termo-tehnička ispitivanja i ispitivanja potrošnje goriva brodova-potiskivača u realnim uslovima plovidbe. U ovom poglavlju opisan je postupak termo-tehničkih ispitivanja brodova rečne flote kao i neki rezultati ovakvih ispitivanja.

Deveto poglavlje grafički i analitičkim izrazima prikazuje dijagrame promena nosivosti pojedinih tipova potisnica simetričnog i nesimetričnog oblika u funkciji gaza kao i dijagrami promene ukupnog otpora istih potiskivanih teretnjaka u funkciji brzine plovidbe. U ovom poglavlju još su i definisani dijagrami promene redukovanoog otpora usvojenih tipova potisnica i nekoliko oblika potiskivanih sastava,

Deseto poglavlje utvrđuje da je za optimalnu organizaciju prevoženja potrebno detaljno poznavanje karakteristika plovila i plovnih puteva i navode se tri moguće metode za rešavanje praktičnih problema prevoženja u brodarskim kompanijama. Takođe opisani su postupci za određivanje karakteristika broda potiskivača prema postavljenim uslovima prevoza.

Jedanaesto poglavlje predstavlja zaključci sa posebnim osvrtom na značaj i važnost uloge eksploatacionih pokazatelja prilikom ocenjivanja radnih karakteristika broda-potiskivača dok su u dvanaestom prikazani pravci daljih istraživanja. Poslednje, trinaesto poglavlje predstavlja popis literature.

ABSTRACT

In the introductory chapter basic characteristics, advantages and disadvantages of water transport are presented. Besides this, goals of the research together with two basic and one auxiliary hypothesis are presented which were the basis for the work on the thesis.

Second chapter gives an overview of existing technologies for transport on inland waterways with their basic characteristics.

Third chapter analyses domestic and foreign literature which refers to exploitation of ships and pushed convoys.

Fourth chapter describes the order in which experimental research is conducted in real navigating conditions and results. Apart from terms and conditions for experiments criteria that need to be fulfilled during experiments are shown as well. Further types and differences between different experimental methods are shown for experiments with real ships and models, along with measuring devices and equipment.

Fifth chapter presents the role of exploitation parameters and their division, means of their determination, basic exploitation and economic parameters as well as the analysis of the resulting exploitation parameter. This chapter also presents detailed description of exploitation parameters of ship's work and their calculation methods.

Sixth chapter discusses the proposition of a method for examination of the parameters which are necessary for determination of optimal speed of navigation and optimal carrying capacity of convoys. Based on determined phases basic working parameters of push-boats can be determined. Based on determined parameters procedure for performing experiments is presented in form of a table together with graphical construction of exploitation parameters changes.

Within the seventh chapter the description of the research problem together with procedures for determination of working characteristics of push-boats during their work with convoys based on experimental research conducted in real navigating conditions. This chapter presents detailed results of calculation of basic characteristics of pushed convoys and parts of measuring tracks on which experiments have been conducted together with exploitation parameters according to ships and shapes of pushed convoys. Apart from presenting the results of research this chapter discusses the significance of real navigation examination.

Eighth chapter describes thermo-technical examinations and measurements of fuel consumption for push-boats in real navigating conditions. This chapter describes procedures for thermo-technical examinations for river fleet ships with some results of these examinations.

Ninth chapter uses graphics and analytic expressions to show diagrams of change in carrying capacity of certain types of barges being symmetrical or asymmetrical shape as a function of their draught together with diagrams of change of total resistance of the same barges as function of speed. This chapter also defines diagrams of change of reduced resistance of adopted types of barges and several shapes of pushed convoys.

Tenth chapter determines that for optimal organization of transport it is necessary to know in detail the characteristics of ships and waterways and three possible methods for solving such tasks are described. Procedures for choosing the push-boat's characteristics according to presented conditions of transport task.

Eleventh chapter are conclusions with special attention towards the role and significance of exploitation parameters during evaluation of working characteristics of push-boats while twelfth chapter presents the directions of further research. The last, thirteenth chapter is a list of references.

1. UVOD

1.1 Osnovne karakteristike vodnog saobraćaja – opšta razmatranja

Rečni saobraćaj kako u Srbiji, a tako i u svetu (pod nazivom transport na unutrašnjim vodnim putevima ili unutrašnji vodni transport ili unutrašnja plovidba) je vrlo značajan vid u pogledu transporta tereta (Čolić i dr., 2005.). Istovremeno, rečni saobraćaj ima neznatnu ulogu u prevozu putnika u odnosu na druge kopnene vidove putničkog saobraćaja. Kada se posmatra uloga rečnog saobraćaja u procesu transporta tereta, zahvaljujući niskim troškovim prevoza i pretovara, veliki deo industrije u svetu razvija se na rečnim tokovima. Neke industrijske grane izlaze na tržište jedino posredstvom unutrašnjeg vodnog transporta iz razloga što drugi vidovi transporta nisu prihvatljivi.

Treba naglasiti da rečni transport u velikoj meri zavisi od uslova koji vladaju na mreži unutrašnjih plovnih puteva (Čolić i dr., 2005.), od kojih su najznačajniji: dubina i širina u plovnom putu, kretanje i brzina rečnog toka, poluprečnici rečnih krivina, posebno, malih dimenzija, održavanje i obeležavanje plovnog puta, nivo razvijenosti informacionog sistema, opremljenost luka za prihvat brodova velike nosivosti, ali i specifičnih (posebno opasnih) vrsta tereta. Posebno treba naglasiti uslove koji vladaju na tržištu roba koje se prevoze, pa time mesto i ulogu rečnog transporta u raspodeli tereta.

Istovremeno, savremena tehnologija koja, između ostalog, podrazumeva razvoj plovnih sredstava unutrašnjeg vodnog saobraćaja dozvoljava potpunu integraciju unutrašnjih plovnih puteva s preookeanskom plovidbom ili pomorskim saobraćajem (Čolić, 2005.) tako da potiskivani teretnjaci čine neku vrstu plovnih kontejnera i plovnih skladišta, na primer, sistemi LASH, SEABEE i BACAT.

Prednosti unutrašnjeg vodnog transporta (Čolić i dr., 2005.), na osnovu podataka Ekonomske Komisije za Evropu - Komiteta za kopneni transport Ujedinjenih nacija sa sedištem u Ženevi, Komisije ministara transporta država članica Evropske zajednice, raznih nacionalnih udruženja i naučnih organizacija, ogledaju se u sledećem:

1. **Ekonomičnost** unutrašnjeg vodnog transporta može da se sagleda na više načina i kroz različite pokazatelje. Na primer, dve potisnice tipa Evropa II ukupne nosivosti 4400 tona, u pogledu prevoznog kapaciteta, mogu da zamene 110 železničkih vagona po 40 tona pojedinačne nosivosti ili 176 kamiona pojedinačne nosivosti od 25 tona (slika 1.1). Takođe, specifični investicioni troškovi su najmanji u unutrašnjem vodnom transportu, što se ogleda u, na primer, veku trajanja broda, koji je za 1,5 puta duži od železničkih vozila i više od 5 puta od kamiona. Isto tako, prema nemačkim statističkim podacima, troškovi prevoza po 1 tkm u drumskom transportu iznose 0,243 €, u železničkom transportu 0,127 €, a u unutrašnjoj plovidbi 0,039 €.

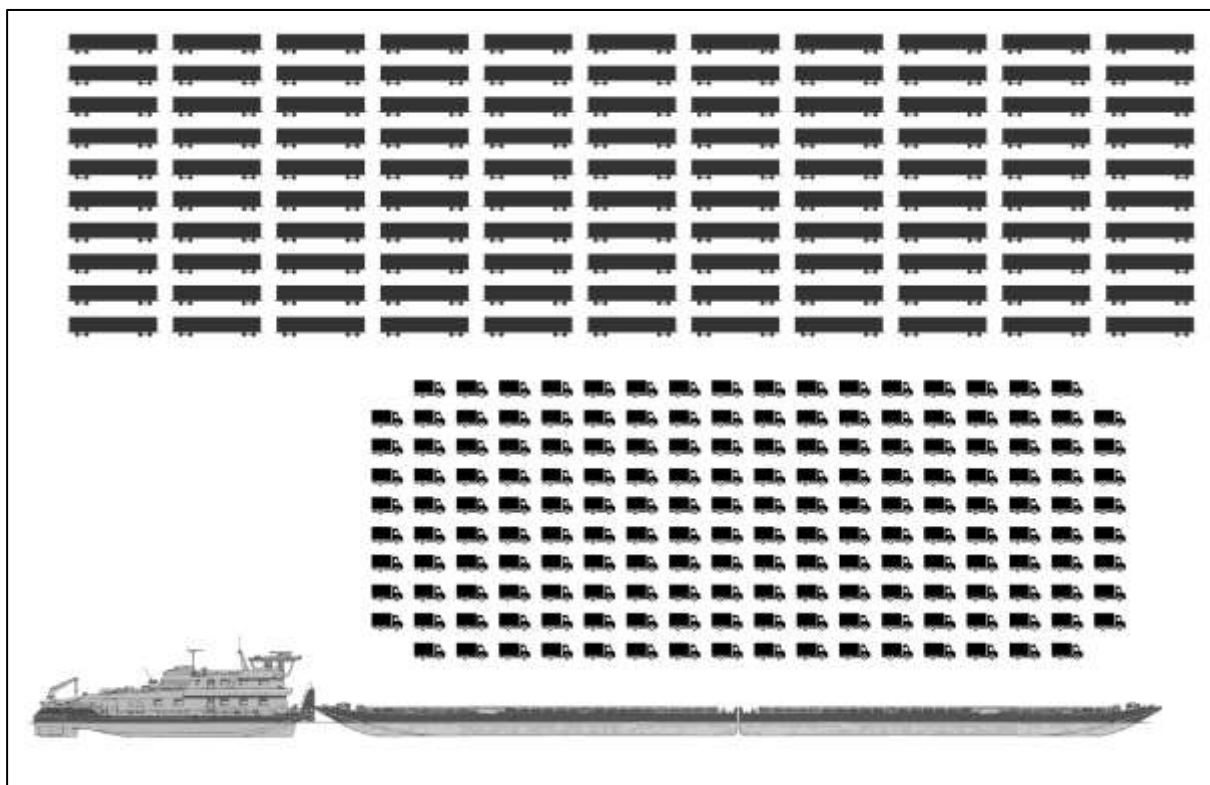
2. Budući da je potrebno angažovati malu snagu pogonskih uređaja brodova u prevozu po jedinici tereta, a što se posebno odnosi na potiskivane sastave velikih nosivosti rečni transport karakteriše **najmanja potrošnja pogonske energije**. Na osnovu podataka Ministarstva transporta SAD potiskivani sastav jednom litrom goriva ostvari prosečno 127,5 tkm, u železničkom transportu jednom litrom goriva ostvari se 76 tkm, dok drumska vozila ostvare 23 tkm.
3. Brdovi unutrašnje plovidbe zahtevaju **najmanju količinu materijala neophodnih za gradnju prevoznih sredstava**, čime se štedi, ne samo na osnovnom materijalu, već i na energiji za njihovu izradu. Za izradu potiskivanih teretnjaka potrebno je upotrebiti 170 kg čelika po toni nosivosti, dok je za železnička vozila potrebno upotrebiti 250 kg po toni nosivosti (podaci Ministarstva transporta SAD).
4. Transport na unutrašnjim vodnim putevima odlikuje visoki nivo **bezbednosti plovidbe**, koja proističe iz relativno male gustine saobraćaja u odnosu na ostale kopnene vidove transporta. U unutrašnjem vodnom saobraćaju plovidbene nezgode koje uzrokuju veće materijalne štete ili teže ljudske povrede se vrlo retko dešavaju, što ima posebnog značaja u prevozu opasnih tereta.
5. Unutrašnja plovidba je najčistiji vid transporta zbog čega je, istovremeno, **ekološki najpogodniji vid transporta tereta**. U odnosu na ostale vidove kopnenog transporta brodovi unutrašnje plovidbe stvaraju najmanje zagađenje vode, vazduha i buke, što doprinosi poboljšanju kvaliteta života ljudi, biljnog i životinjskog sveta.
6. Realna prednost unutrašnjeg vodnog saobraćaja ogleda se kroz **najmanju potrebu za zemljištem**. Unutrašnja plovidba ima potrebe za zemljištem samo u slučajevima kada je potrebno graditi veštačke plovne puteve (plovne kanale) i luke.

Osnovni nedostaci unutrašnje plovidbe (Čolić i dr., 2005.) su:

1. U pogledu prirodne raspodele i pravicima pružanja unutrašnjih vodnih puteva unutrašnja plovidba ima **ograničeno geografsko širenje**. Osnovu unutrašnjih plovnih puteva Evrope (slika 1.2) predstavljaju plovne reke koje prirodno nisu povezane, izuzimajući pritoke, tako da je potrebna, kako bi se formirala mreža plovnih puteva, izgradnja veštačkih plovnih puteva - plovnih kanala. Budući da se raspoloživa mreža unutrašnjih plovnih puteva ne poklapa uvek sa pravicima glavnih robnih tokova, neophodno je organizovati posebne pretovare i prenose tereta sa sredstava unutrašnjeg vodnog transtorta na druge vidove kopnenog transporta, što predstavlja poseban problem i iziskuje dodatne troškove.
2. **Uticao hidroloških i meteoroloških uslova**, kao što su pojave visokog i, pogotovo, niskog vodostaja, pojave ledostaja i ledohoda, kao i jakih vetrova ima sezonski karakter na koje se u procesu planiranja transporta brodovima mora obratiti posebna pažnja. U pojedinim delovima godine po nekim sektorima unutrašnjih vodnih puteva, a zbog delovanja opisanih hidroloških i meteoroloških uslova, plovidba se vrlo teško

odvija, a mogu da se pojave i ozbiljni prekidi saobraćaja. Pojava prekida saobraćaja na plovnim putevima znatno smanjuje ekonomičnost i pouzdanost unutrašnje plovidbe.

3. **Kvalitet transportne usluge** u vodnom transportu odlikuje se određenim specifičnostima u odnosu na druge vidove kopnenog transporta. Kao parametri za ocenu nivoa kvaliteta transportne usluge koriste se pouzdanost prevoza, brzina dostave tereta, sposobnost prevoza tereta po tzv. sistemu “od vrata do vrata”, sigurnost, prilagodljivost, postojanost i iskorišćenje energije. Pouzdanost prevoza u unutrašnjoj plovidbi zavisi kako od trenutnih hidroloških i meteoroloških uslova koji vladaju, tako i od tehničkih i eksploatacionih uslova vodnog puta koji mogu da budu promenljivi i da utiču na količinu utovarenog tereta i broj plovila u sastavima. Treba istaći, da je na unutrašnjim plovnim putevima sposobnost prevoza tereta po sistemu “od vrata do vrata” najmanja zbog čega moraju da se organizuju distributivni transportni lanci u lukama uz korišćenje sredstava drumskog i/ili železničkog transporta. Budući da u vodnom saobraćaju praktično ne postoje zagušenja transportna vremena mogu pouzdano da se planiraju.



Slika 1.1 Uporedni prikaz nosivosti sastava potiskivanih teretnjaka i nosivosti vozila železničkog, odnosno drumskog saobraćaja (Izvor: autor)



Slika 1.2 Mreža plovnih puteva Evrope (Izvor: VNF, Voies navigables de France)

1.2 Neka pogrešna mišljenja o vodnom transportu

1. Budući da brodovi unutrašnje plovidbe imaju brzine kretanja koje se nalaze u granicama od 10 do 20 km/h u literaturi vlada mišljenje da je **unutrašnji vodni transport spor**. Razume se da su brzine kretanja brodova u unutrašnjem vodnom saobraćaju manje u odnosu na brzine koje razvijaju železnička, odnosno drumska transportna sredstva. Međutim, treba znati da brodovi unutrašnje plovidbe rade neprekidno 24 časa, te se iz tog razloga mogu planirati rokovi isporuke tereta i poštovanje reda plovidbe.

2. **Vrsta tereta** je vrlo važan činilac koji opredeljuje vrstu prevoznog sredstva u kopnenim transportnim lancima. Ukoliko se tereti prevoze u velikim količinama (posebno rasuti i tečni tereti) unutrašnji vodni transport ima nezamenljivu ulogu. Međutim, najnoviji razvoj brodova unutrašnje plovidbe i tehnologije transporta vodnim putevima, kao što su to brodovi za prevoz kontejnera ili RO-RO brodovi, pružaju mogućnost znatno većeg učešća vodnog saobraćaja u ukupnom prevozu tereta.

3. Činjenicom da su pojedini delovi unutrašnjih vodnih puteva Evrope geografski, uglavnom, vezani za ravničarske predele, te da ih je teško i skupo povezati u celinu pravda se mišljenje da je **unutrašnji vodni transport izolovan i zastareo tehnološki sistem**. Iz tog razloga ukoliko se unutrašnji vodni transport kao sistem razmatra izdvojeno, proizlazi da ima manju vrednost u odnosu na železnički ili drumski transport.

1.3 Postavka i opis problema

Danas, glavni cilj saobraćajne politike pri stalnom i brzom rastu količina tereta koji treba da se preveze, je izbor takvog vida transporta koji pravi najmanje štete okolini i najmanje koristi postojeću infrastrukturu. U tom pogledu, nema sumnje da je vodni transport u celini, pa i unutrašnji vodni transport, najmanje štetan vid i da se njegova prirodna infrastruktura može koristiti daleko najefikasnije.

Evidentno je da su se dosadašnja istraživanja obavljena sa potiskivanim sastavima u sklopu sa motornim potiskivačima odnosila, prvenstveno, na utvrđivanje stvarnog stanja pogonskih uređaja na brodovima-potiskivačima, a potom, na konstataciju o stanju propelera i stepena opterećenja potiskivanog sastava na pogonske motore (tj. da li potiskivani sastav datog oblika u datom momentu odgovara ili, pak, ne odgovara utvrđenom stanju pogonskih motora), kao i na uticaj broja i rasporeda potiskivanih teretnjaka na brzinu plovidbe.

Dosadašnja istraživanja koja su se odnosila na sistem potiskivanja u realnim uslovima plovidbe imala su dva cilja. Prvi cilj bio je da se obave termo-tehnička ispitivanja na pogonskim motorima brodova-potiskivača koja su obuhvatala: pomoću indikatora merenje pritisaka kompresije i ekspanzije, potrošnje goriva (ukupne i specifične) kao i temperature izduvnih gasova i vode za hlađenje, a potom, pomoću postavljenih torziometara da se utvrde broj obrtaja i snaga na propelerskim vratilima u zavisnosti od režima rada pogonskih motora.

Osim ovih ispitivanja, rađena su još i ispitivanja i analize propulzionih i potisnih osobnosti dunavskih motornih potiskivača i ispitivanja uticaja broja i rasporeda potisnica u potiskivanim sastavima na brzinu plovidbe.

Drugi cilj ispitivanja brodova-potiskivača i potiskivanih sastava u realnim uslovima sastojao se od utvrđivanja stvarnih vrednosti eksploatacionih mogućnosti brodova pri datom tehničkom stanju koje je utvrđeno tokom eksperimenta. Istovremeno sa navedenim ispitivanjima tokom eksperimenata merene su brzine plovidbe potiskivanih sklopova različitih nosivosti, oblika i veličina, takođe, u zavisnosti od režima rada pogonskih motora.

1.4 Cilj istraživanja i osnovne hipoteze

Evidentno je da su se dosadašnja istraživanja obavljena sa potiskivanim sastavima i potiskivanim sklopovima u realnim uslovima plovidbe odnosila, prvenstveno, ali i na zahtev naručioca ispitivanja, na utvrđivanje stvarnog stanja pogonskih i propulzivnih uređaja na brodovima-potiskivačima, konstataciju o stanju propelera i stepena opterećenja potiskivanog sastava na pogonske motore (tj. da li potiskivani sastav u datom obliku i količinom tereta odgovara ili, pak, ne odgovara stanju pogonskih motora u datom tehničkom stanju), kao i na uticaj broja i rasporeda teretnjaka na brzinu plovidbe. Eksperimenti vršeni sa potiskivačima i potiskivanim sastavima vršeni na mernim stazama u realnom plovnom putu zasnivali su se na utvrđivanju tri veličine, i to:

1. snaga izmerena na propelerskom vratilu i predata na propeler, N_e ;
2. broj obrtaja propelerskog vratila, n ;
3. brzina plovidbe potiskivanih sklopova u odnosu na vodu, v .

Podaci o izmerenoj snazi na propelerskim vratilima (N_e) i broju obrtaja vratila (n), u fazi razrade izveštaja, preračunavani su u cilju utvrđivanja stvarnog stanja pogonskih motora (N_m) i njihovog broja obrtaja (n_m) i, potom, prikazivani grafički u zavisnosti od brzine plovidbe (v) da bi, na kraju, bili upoređivani sa parametrima koji su izmereni na probnom stolu opitne stanice proizvođača.

Tokom procesa eksploatacije brodova saobraćajne službe u brodarstvima nužno rešavaju veliki broj zadataka koji se odnose na određivanje brzine plovidbe, veličinu i oblik potiskivanog sastava, zbog čega je za tehnologe-planere procesa vodnog prevoženja neophodno da poznaju veličine otpora sredine pri plovidbi brodova i potiskivanih sastava/sklopova. Jedan od osnovnih zadataka koji se, pri tom rešava, je da se odredi brod-potiskivač takvih karakteristika koji su neophodni da potiskivani sastav/sklop određene veličine (poznatog oblika, deplasmana, nosivosti) postigne željenu brzinu. Isti zadatak može da se posmatra i na drugačiji način, tj., koji oblik potiskivanog sastava/sklopa je najpovoljniji kako bi brod-motorni potiskivač određenih karakteristika postigao zahtevanu brzinu s najmanjom snagom pogonskih uređaja.

U tehničkom, tehnološkom i organizacionom smislu upotrebna vrednost brodova-potiskivača i potiskivanih sastava, kao i njihova podobnost za primenu u eksploataciji može da se utvrdi na dva načina, i to na osnovu:

1. hidrodinamičke efektivnosti sastava/sklopa, koja se izražava pomoću *koeficijenta oblika sastava/sklopa* kojim se ocenjuje uticaj svih činilaca (karakteristike broda-potiskivača, potiskivanih teretnjaka u sastavu, plovnog puta, ukupne nosivosti i drugih parametara) na veličinu ukupnog otpora vode pri njegovom kretanju.
2. odabranih *eksploatacionih pokazatelja rada brodova-potiskivača i potiskivanih sastava* na temelju sprovedenih ispitivanja brodova naših brodarskih kompanija u različitim i realnim uslovima plovidbe. Pri tom, potrebno je da se vrednosti eksploatacionih pokazatelja zasnivaju na veličinama koje su utvrđene tokom sprovedenih eksperimenata.

Tezom je obuhvaćen veliki broj pokazatelja, postojećih ali i novopredloženih, pri čemu će svaki od njih imati svoju ulogu u procesu utvrđivanja upotrebne vrednosti pojedinih tehničkih i eksploatacionih parametara potiskivanih sastava/sklopova i brodova-potiskivača utvrđenih eksperimentima. *Pri tom, posebna uloga dodeljuje se pokazateljima kao što su, specifično opterećenje pogonskih motora broda, p , prevozni učinak, PU , rezultativni pokazatelj u funkciji brzine $P_r(v)$, rezultativni pokazatelj u funkciji statičkog opterećenja $P_r(p)$, kvalitet tonaže, k_T , specifični otpor po nosivosti, r_Q , i specifični otpor po deplasmanu, r_D .*

Osim toga, cilj teze je da na prikladan način predstavi načine korišćenja odabranih eksploatacionih pokazatelja u različitim metodama rešavanja zadataka prevoženja primenom tehnologije potiskivanja.

Na osnovu postavljenog problema i definisanog cilja disertacije postavljene su dve osnovne hipoteze, i to:

Osnovna hipoteza 1: Polazeći od kompleksnosti koju obuhvataju rezultativni pokazatelji po brzini plovidbe $P_r(v)$ i po statičkom opterećenju pogonskih motora $P_r(p)$ moguće je da se definišu osnovni parametri rada potiskivanih sklopova (v, p) takvi, da ova dva rezultativna pokazatelja postignu svoje najveće vrednosti.

Osnovna hipoteza 2: Uvođenjem novih parametara-pokazatelja kao što su kvalitet tonaže k_T , specifični otpor sklopa po nosivosti, r_Q i specifični otpor sklopa po deplasmanu, r_D potvrđuje se pretpostavka o mogućnosti definisanja osnovnih parametara rada potiskivanih sklopova (v, p) takvih da postoji korelacija sa najvećim vrednostima rezultativnih pokazatelja.

Literatura koja je bila dostupna tokom izrade teze ne poznaje opisani način postavljanja problema i postupke određivanja optimalnih parametara rada brodova-potiskivača u datom tehničkom stanju primenom veličina izmerenih u realnim uslovima plovidbe.

2 POSTOJEĆE TEHNOLOGIJE PREVOŽENJA TERETA UNUTRAŠNJIM PLOVNIM PUTEVIMA

U nastavku neophodno je predstaviti postojeće tehnologije prevoženja tereta na unutrašnjim plovim putevima pri čemu se pravi jasna razlika između prevoženja tereta motornim brodovima i sastavima plovila. Pod terminom sastav plovila podrazumeva se skup plovila od kojih je barem jedno sa ugrađenim pogonskim motorima dok su ostala plovila nesamohodna.

Razlikuju se sledeće tehnologije prevoženja tereta na unutrašnjim plovim putevima (Лесников 1982, Škiljaca i Bačkalić, 2009):

- tegljeni sastavi
- potiskivani sastavi
- motorni teretnjaci.

2.1 Tegljeni sastavi

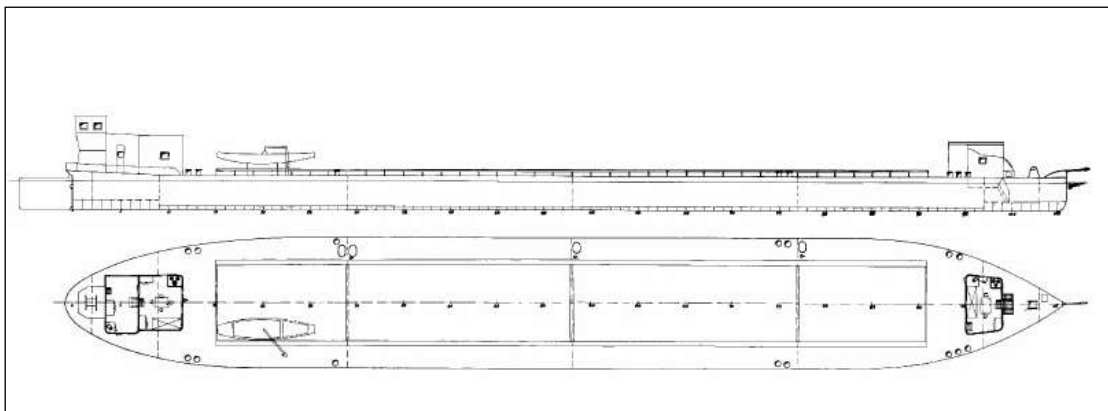
Tegljeni sastavi sastoje se od broda tegljača koji iza sebe vuče–tegli nesamohodna plovila–tegljenice.

Tegljenica (slika 2.1) je nesamohodno plovilo koje osim prostora za smeštaj tereta ima sistem za krmilarenje i prostor za smeštaj posade. Broj tegljenica u tegljenom sastavu zavisi od jačine pogonskih motora broda tegljača, veličine (nosivosti) tegljenica koje čine sastav, karakteristika plovnog puta i drugih činilaca.

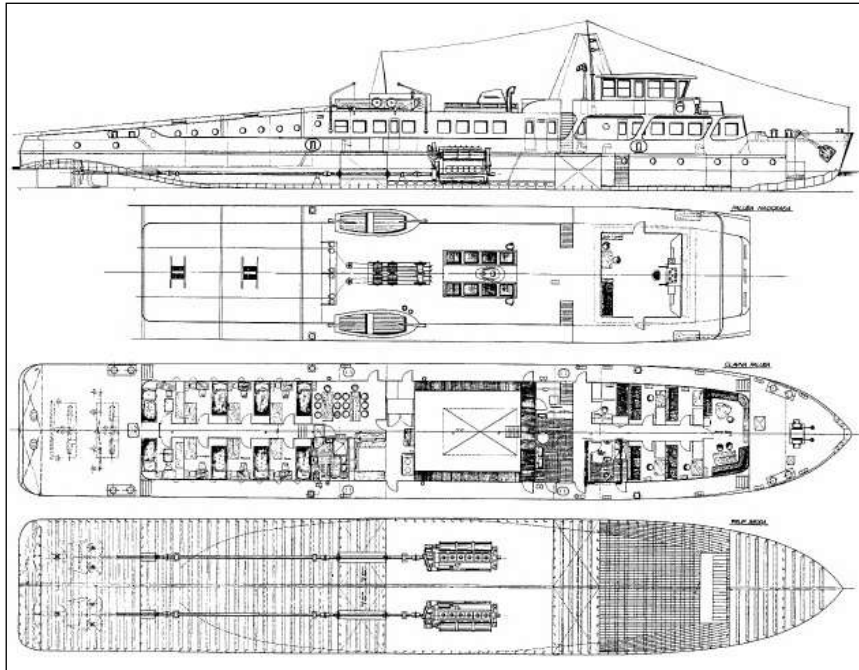
Kod rečnih motornih tegljača (slika 2.2) u trupu broda nalaze se mašinski prostor, stambene prostorije, i tankovi za gorivo, a u nadgrađu stambene, društvene prostorije i krmilarnica. Tegljenje nesamohodnih teretnjaka ostvaruje se pomoću vučnog vitla.

Slika 2.3 šematski prikazuje izgled jednog tegljenog sastava kojeg čine brod tegljač i dve bočno povezane tegljenice.

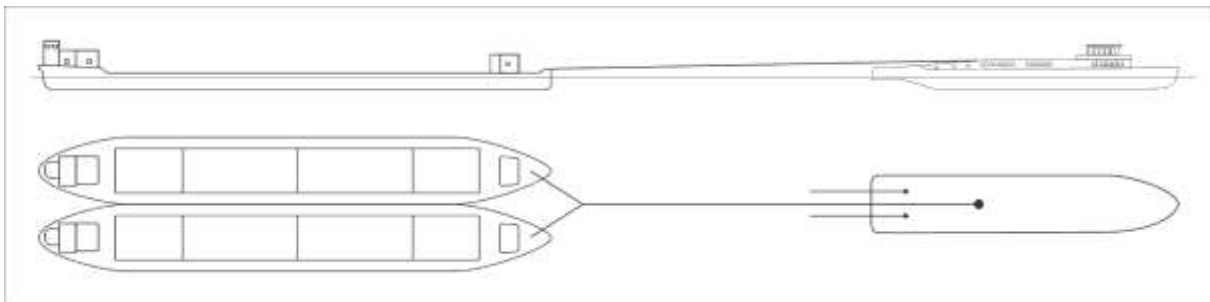
Tehnologija tegljenja nije više u primeni na unutrašnjim plovim putevima kako u našim brodarskim kompanijama, tako i u stranim.



Slika 2.1 Generalni plan tegljenice (Izvor: Dunavbrod, Beograd)



Slika 2.2 Generalni plan motornog tegljača (Izvor: Dunavbrod, Beograd)



Slika 2.3 Skica tegljenog sastava (Izvor: autor)

2.2 Potiskivani sklopovi i sastavi

Primena potiskivanja nesamohodnih teretnjaka zahteva naročite motorne brodove-potiskivače (slika 2.4) koji se znatno razlikuju od tegljača (Лесников 1982, Jovanović 2002, Škiljaca i Bačkalić 2009). Na prvom mestu, kraći su od tegljača istih snaga kako bi im propeleri radili u zoni povratnog strujanja sklopa. Umesto uređaja za tegljenje na pramcu su postavljeni naročiti nasloni (oslonci) pomoću kojih se sastav potiskuje, dok se na krmu broda nalaze sidreni uređaji.

Radi postizanja potrebnih manevarskih svojstava potiskivači imaju posebne uređaje za krmilarenje, tzv. „flankirajuća“ krmila¹. Osim navedenih osobnosti, potiskivači imaju i visoko postavljenu nadgradnju kako bi se obezbedila dobra vidljivost iz krmilarnice.

¹ Krmila koja se koriste za plovidbu unazad ili za bočno pomeranje broda-potiskivača zajedno sa satavom.

Potiskivači se pretežno grade kao dvopropelerni ili tropropelerni. Na evropskim rekama pretežno se koriste dvopropelerni potiskivači. Uspešnom primenom potiskivanih sastava na Dunavu, a naročito formiranjem uspora posle izgradnje HE „Đerdap I“, čime su savladane teškoće u plovidbi potiskivanih sastava velikih dimenzija, započela je izgradnja potiskivača velikih snaga pogonskih uređaja sa tri propelera tegljača (Jovanović 2002).

Postupkom koncipiranja i projektovanja brodova-potiskivača neophodno je da se obezbede sledeći osnovni sistemi (Лесников 1982, Bilen 1996, Škiljaca i Bačkalić 2009):

1. Mašinski prostor. Budući da potiskivači ne poseduju prostor za smeštaj tereta, a da je posada po pravilu smeštena u nadgradnji, tada ceo trup broda ostaje na raspolaganju za smeštaj mašinske opreme. Mašinska oprema deli se na glavnu i pomoćnu. U glavnu mašinsku opremu spadaju svi elementi sistema za ostvarenje propulzije, dok u pomoćnu mašinsku opremu spadaju delovi koji opslužuju brod i propulzivni sistem.
2. Pogonski uređaji (glavni motori) i njihovi sistemi. Propulzivni kompleks sačinjavaju brodski uređaji i sistemi koji direktno ili indirektno služe za ostvarenje propulzije, odnosno pogon broda. Propulzija broda podrazumeva stvaranje mehaničke energije u pogonskim motorima, njen prenos do propelera, koji ovu energiju pretvaraju u energiju mlaza čijom se reakcijom brod pokreće. Prema tome, osnovni delovi propulzivnog kompleksa su:
 - pogonski dizel motori u kojima se toplotna energija goriva pretvara u mehaničku energiju;
 - reduktori-prekretnici, spojnice, vratila sa ležajevima, hidraulični cevovodi ili električni vodovi kojima se ostvaruje prenos energije od pogonskih motora prema propelerima;
 - brodski propeleri, kojima se ostvaruje transformacija mehaničke energije u energiju mlaza vode.
3. U ostalu opremu i uređaje mašinskog prostora spadaju: pomoćni motori, kotlovi, kompresori, brodske pumpe, sistem za krmilarenje, hidraulički i električni sistemi, sanitarni sistemi.

Potisnice za prevoz suvog tereta (slika 2.5) su takva nesamohodna plovila koja imaju prostor za smeštaj tereta, a ne poseduju pogonsku grupu, sistem za krmilarenje i prostor za smeštaj posade. Osnovna konstruktivna osobenost ovih plovila su dvostruka dna i dvostruki bokovi. Osim toga, postavljanjem poprečnih pregrada unutrašnji prostor broskog trupa predviđen za smeštaj tereta, može da bude podeljen na pojedine delove – skladišta. Ukoliko je potisnica građena tako da poseduje veliku širinu, u predelu teretnih skladišta može da se postavi uzdužna pregrada po osi simetrije broda, čime se broj skladišta udvostručuje.

Potisnice za prevoz tečnog tereta (slika 2.6) su, u većini, takva plovila kod kojih se teret smešta neposredno u njihov trup. Izuzetak čine brodovi sa umetnutim-nestrukturim tankovima koji se pričvršćuju za konstrukciju trupa broda.

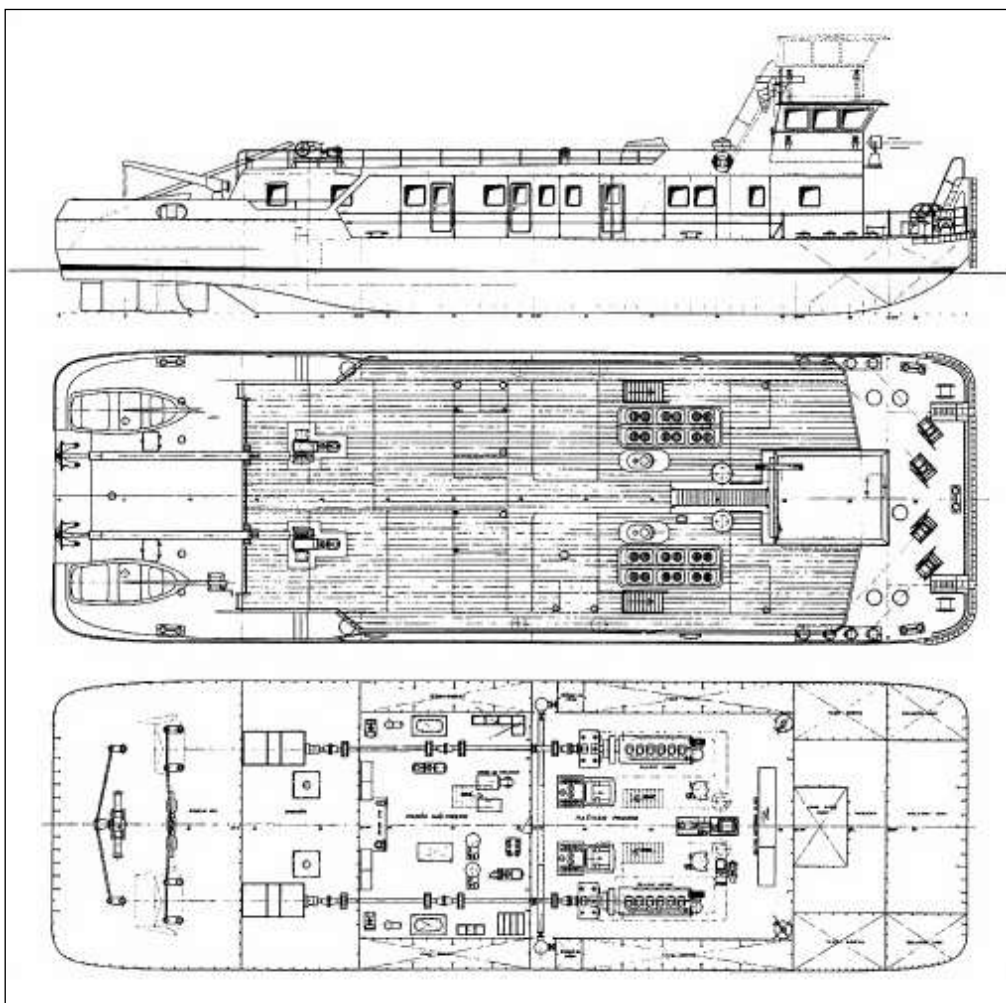
Potisnice za prevoz tečnog tereta standardne gradnje nemaju dvostruko dno niti dvostruke bokove. Da bi se osigurali stabilitet, čvrstoća i podjednako gaženje njihov trup je podeljen poprečnim i podužnim pregradama na veći broj komora, tzv. strukturnih tankova.

Konstrukcija potisnice sa dvostrukim dnom ima niz dobrih eksploatacionih osobina, od kojih su najznačajnije: olakšano čišćenje tovarnog prostora; smanjeni gubici toplote pri prevozu sirove nafte i njenih derivata; povećana konstruktivna zaštita reka od zagađenja i dr. U istom cilju služe i dvostruki bokovi koji se ugrađuju na velikom broju brodova za prevoz tečnih tereta.

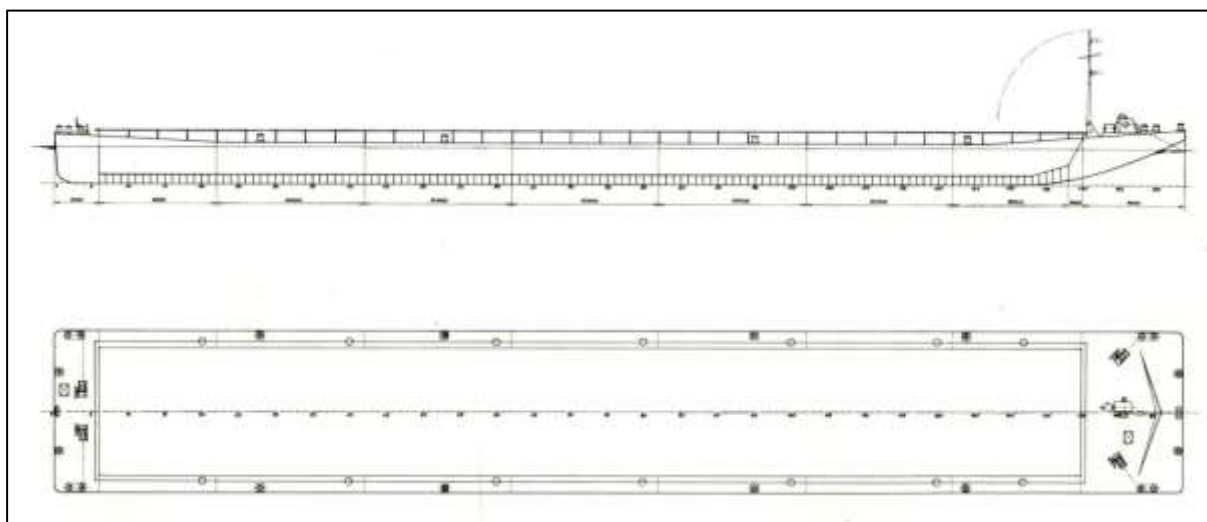
Svi brodovi za prevoz tečnih tereta, u unutrašnjosti tovarnih prostora, imaju ugrađene grejače koji se koriste kod prevoza tereta pri niskim temperaturama. Osim toga, na palubi ovih plovila nalaze se postavljene cevi i odgovarajući ventili kojima se obavlja utovar odnosno istovar tečnog tereta.

Potiskivane sastave čine nesamohodna plovila-potisnice (za suve i/ili tečne terete) čvrsto međusobno izvezane koje potiskuje brod potiskivač. Brod potiskivač i sastav potisnica zajedno čine *potiskivani sklop*. Broj potisnica u sastavu i oblik sastava zavise od jačine pogonskih motora potiskivača, veličine (nosivosti) potisnica, karakteristika plovnog puta, smeru plovidbe (uzvodno/nizvodno), brzine rečnog toka, dimenzija plovnog puta i drugih činilaca.

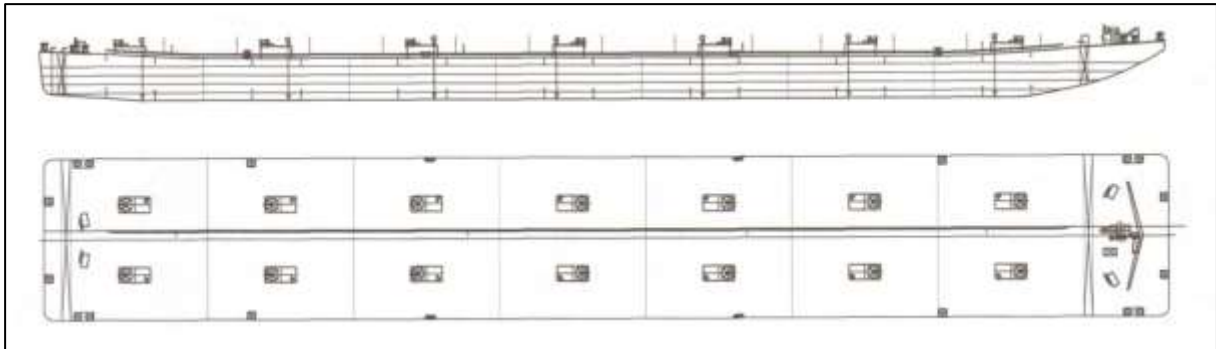
Razlika između potiskivanog sastava (slika 2.7) i potiskivanog sklopa (slika 2.8), je u tome što se potiskivani sastav sastoji od skupa potisnica povezanih u jednu celinu, dok se potiskivani sklop sastoji od skupa potisnica povezanih u jednu celinu (potiskivani sastav) i potiskivača tako da zajedno formiraju potiskivani sklop.



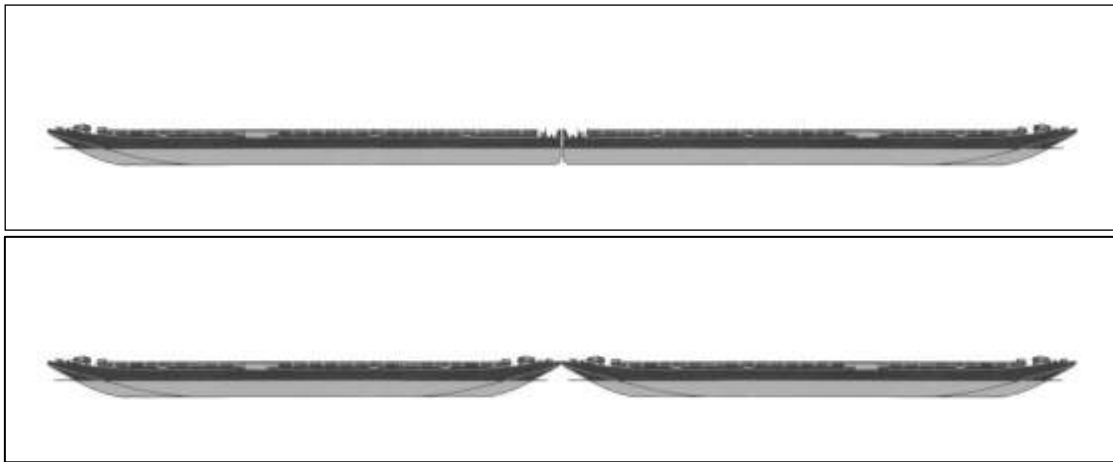
Slika 2.4 Generalni plan motornog potiskivača (Izvor: Dunavbrod, Beograd)



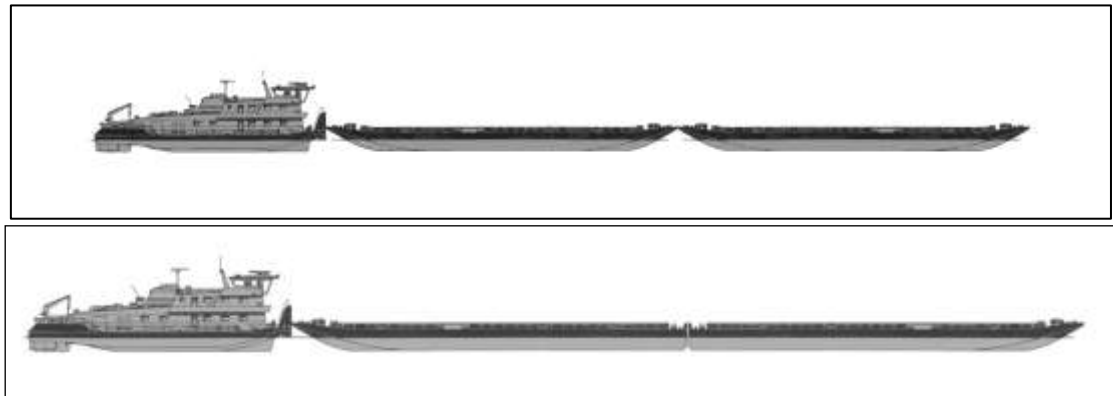
Slika 2.5 Generalni plan nesimetrične potisnice za suvi teret (Izvor: Dunavbrod, Beograd)



Slika 2.6 Generalni plan standardne nesimetrične potisnice za tečni teret (Izvor: Dunavbrod, Beograd)



Slika 2.7 Potiskivani sastavi sačinjeni od nesimetričnih i simetričnih potisnica (Izvor: Škiljaica i dr. 2015.)



Slika 2.8 Potiskivani sklopovi sačinjeni os simetričnih i nesimetričnih potisnica (Izvor: Škiljaica i dr. 2015.)

2.3 Motorni teretnjaci

Kod samohodnih teretnih brodova-motornih teretnjaka (slika 2.9), osim prostora za teret predviđa se prostor za smeštaj mašinskog odeljenja u koji se postavlja brodski pogonski

uređaj (Лесников 1982, Škiljaca i Vačkalić 2009) kao i prostor predviđen za smeštaj posade broda. Nezavisno od konstruktivnog tipa motornog teretnjaka, celishodno je postaviti mašinsko odeljenje u krmeni deo broskog trupa, neposredno ispred krmenog pika. Savremeni motorni teretnjaci opremljeni su i posebnim urađijma za potiskivanje jednog ili više teretnjaka bez sopstvenog pogona (slika 2.9). Konstruktivni tip broda za prevoz tereta, u osnovi, zavisi od njegove namene. Kod brodova za prevoz tereta veliki uticaj na izbor konstruktivnog tipa imaju, takođe, vrsta i osnovne osobenosti tereta koji se prevozi. Glavne konstruktivne karakteristike brodova unutrašnje plovidbe su:

- međusobni odnos glavnih dimenzija: L/B , L/H , T/B i B/H (pri čemu su dužina L , širina B , bočna visina H i gaz T);
- broj i međusobni raspored poprečnih i uzdužnih pregrada;
- broj i raspored paluba i platformi;
- postojanje dvostrukog dna i dvostrukog boka;
- dužina i širina otvora nad prostorom za smeštaj tereta (grotlo).



Slika 2.9 Motorni teretnjak u sastavu sa jednom potisnicom

3 PREGLED LITERATURE

Poslednje tri decenije kako u svetu, tako i u našim krajevima, sproveden je veliki broj eksperimentalnih i teorijskih istraživanja na polju propulzivnih karakteristika brodova-tegljača, potiskivača i motornih brodova za prevoz tereta. Cilj istraživanja bio je da se utvrde najbolji odnosi između snage pogonskih uređaja brodova, brzine plovidbe i njihove nosivosti. Na tom polju u svetu, a prema autoru dostupnoj literaturi, najveći broj eksperimenata sa modelima brodova i već izgrađenim brodovima u realnim uslovima plovidbe na kanalima i rekama obavljani su u naučno-istraživačkim institutima bivšeg Sovjetskog saveza, odnosno, Ruskoj federaciji. U nekadašnjoj Jugoslaviji, odnosno u republici Srbiji, najveći broj istraživanja kako iz svere propulzivnih karakteristika, tako i eksploatacionih pokazatelja rada brodova obavili su Laboratorija za ispitivanje brodova i plovnih puteva Saobraćajnog fakulteta Univerziteta u Beogradu i Brodarski institut iz Zagreba. Potrebno je posebno istaći rad Laboratorije za ispitivanje brodova i plovnih puteva Saobraćajnog fakulteta koja je, na osnovu velikog broja eksperimenata u realnim uslovima plovidbe, usavršila metode merenja, kako otpora već izgrađenih brodova, tako i propulzivnih karakteristika brodova tegljača, potiskivača i brodova za prevoz tereta sa sopstvenim pogonom.

Osnovne veličine koje karakterišu brodski kompleks i najviše utiču na izlazne rezultate merenja su: glavne (konstruktivne) dimenzije brodova - dužina i širina na konstruktivnoj vodnoj liniji L_{kvl} odnosno B_{kvl} ; najveći i najmanji gaz T_{max} ; i T_0 ; deplasman - D_m ; registrovana nosivost brodova (tegljenih i potiskivanih teretnjaka) - Q_r i eksploataciona nosivost brodova - Q_e ; ugrađena snaga pogonskih motora brodova-tegljača, potiskivača i brodova za prevoz tereta - N_i ; brzina plovidbe u mirnoj vodi - v .

Radovi objavljeni u stranoj i domaćoj literaturi u proteklom periodu iz domena eksploatacije brodova, uslovno, mogu da se podele u sledeće kategorije istraživanja:

- ▶ iz domena propulzivnih karakteristika brodova, koji obuhvataju ispitivanje odnosa i usklađenosti rada između pogonskih motora i propelera;
- ▶ termo-tehnička iz domena ispitivanja rada pogonskih motora i njihove usklađenosti sa parametrima dobijenim merenjima na probnom stolu;
- ▶ iz domena utvrđivanja veličine koeficijenta sastava kako tegljenih, tako i potiskivanih sastava, odnosno sklopova;
- ▶ iz domena utvrđivanja eksploatacionih pokazatelja kvaliteta rada brodova pojedinih tipova.

(Lalošević i drugi 1960) u svom radu u uvodnom delu daju prikaz i analizu merenja pokazatelja potiskivanih sklopova sačinjenih od tegljenih teretnjaka sastavljenih u cilju ocene plovidbenih uslova takvih sklopova na našoj mreži unutrašnjih plovnih puteva. Na osnovu ovih istraživanja doneta je odluka da se izgradi potiskivačka flota u nas. U drugom delu rada prikazuju se rezultati modelskih ispitivanja različitih potiskivanih sklopova sačinjenih od

tegljenih teretnjaka u cilju utvrđivanja optimalnog rešenja imajući u vidu veličinu pojedinačnih plovila. U poslednjem, trećem, delu rada prikazan je projekat potiskivača sa ugrađenom snagom pogonskih motora 2x500KS sa svom pomoćnom opremom.

Principe organizacije i eksploatacije flote detaljno je u knjizi obrazložio (Jović 1970.). Knjiga, u svom prvom poglavlju sadrži opis transportnih procesa na unutrašnjim plovnim putevima sa opisom tehnoloških procesa rada brodova i postupcima za organizaciju i tehnologiju formiranja sastava. Nadalje, autor izlaže popis eksploatacionih pokazatelja rada brodova, zavisnost eksploatacionih pokazatelja od uslova rada i načine njihovog određivanja. Posebna poglavlja odnose se na određivanje prevozne sposobnosti plovila i izbor tegljenog ili potiskivanog sastava. Na osnovu ovih parametara autor izlaže metodu za planiranje potreba za flotom. Evidencija i analiza rada brodova zauzimaju posebno mesto u knjizi. Posebno mesto u knjizi dobijaju metode za proračun troškova prevoza tereta, sa osvrtom na specifične (jedinične) eksploatacione troškove i njihovu zavisnost od nosivosti i snage pogonskih uređaja brodova. Posebno poglavlje odnosi se na eksploataciona i ekonomska obrazloženja u rečnom saobraćaju koja se odnose, na primer, na obrazloženje izbora nosivosti i snage pogonskih uređaja, izbora glavnih dimenzija, brzine kretanja i td. Na kraju, obrazlažu se eksploatacione i tehničke karakteristike plovila pri čemu se opisuju vučna i potisna svojstva brodova, kao i otpor vode pri kretanju plovila.

Rezultate eksperimentalnih ispitivanja u realnim uslovima plovidbe na Dunavu izloženi su u radu (Jovanović 1973). U uvodnom delu rada opisani su namena potiskivača i njegove glavne karakteristike i dimenzije. Potom, detaljno su izloženi: pogon i propulzija, krmilarenje, palubna oprema, navigaciona i ostala oprema, elektro instalacije, oprema i uređaji prostorija. Poseban deo rada odnosi se na dinamometrijske i rezultate ispitivanja brzine plovidbe na mernoj stazi na Dunavu. Eksperiment je rađen na dve merne staze i to: od km 1110 do km 1111 (kod Smedereva) i od km 1242 do km 1243 (kod Sremskih Karlovaca). Srednja dubina vode u plovnom putu bila je 12,5 m, odnosno 10,5 m. Tokom ispitivanja utvrđena je brzina vode na obe merne staze. Ispitivanja su obuhvatila, pored rada „u mestu“ još sedam različitih oblika potiskivanih sastava. U radu posebno mesto zauzeli su rezultati proračuna eksploatacionih pokazatelja, i to prevoznog učinka (U , tkm/h) i jediničnog prevoznog učinka broda (p_k , tkm/KSh) u funkciji brzine plovidbe u odnosu na vodu. Osim ovih pokazatelja u radu su prikazane vrednosti specifične snage po 1 toni nosivosti (S_1 , KS/t) i specifične snage po 1 toni istisnine (S_2 , KS/t), takođe u funkciji brzine plovidbe u odnosu na vodu. U zaključnom razmatranju autor zapaža veliku vrednost eksperimenata izvedenih sa brodovima u realnim uslovima u cilju kako orijentacije perspektivnog razvoja brodarskih preduzeća, tako i u povećanju ekonomičnosti u eksploataciji dok, istovremeno, omogućuju projektantima da prognoziraju potrebnu snagu potiskivača za tražene uslove.

Osnove organizacije rada flote prikazali su (Головников i dr. 1976). Knjiga sadrži sledeća poglavlja: 1). Vučna, potisna i brzinska svojstva brodova, koje sadrži potpoglavlja

„Otpor pri kretanju u dubokoj vodi“, „Otpor vode pri kretanju sastava u plovnom putu ograničenih dimenzija“, „Brodsko kretna sredstva“, „Propeleri“, „Praktični metodi za proračun propelera“, 2). Proračun brzinskih, potisnih i vučnih karakteristika brodova, koji se sastoji od dva potpoglavlja „Određivanje brzine kretanja brodova i rešavanje zadataka vuče“ i „Termotehnička i dinamometrijska ispitivanja brodova i sastava“.

Vučna, potisna i brzinska svojstva brodova unutrašnje plovidbe detaljno su opisali (Анфимов i dr 1978) u svojoj monografiji, koja se sastoji od tri osnovna poglavlja, i to: 1). Otpori pri kretanju brodova, 2). Brodska kretna sredstva i 3). Određivanje vučnih, potisnih i brzinskih svojstava brodova i sastava. Monografija, osim teorijskog pristupa problemima, pruža jasno definisane postupke za proračun otpora pojedinačnih brodova, tegljenih i potiskivanih sastava i brodova za prevoz tereta sa sopstvenim pogonom. U monografiji posebna pažnja posvećena je ulozi eksperimentalnih ispitivanja kako modela, tako i dinamometrijskim ispitivanjima izgrađenih brodova u realnim uslovima plovidbe. Posebno poglavlje odnosi se na opis metodologije za određivanje vučnih, potisnih i brzinskih karakteristika pomoću eksperimenata.

(Гаринов 1979.) je u knjizi pod naslovom „Planiranje i analiza rada flote“ izložio metodološke preporuke i predložio praktične savete u pogledu proračuna proizvodnosti i prevozne sposobnosti flote prilikom sastavljanja godišnjih i perspektivnih planova prevoza tereta, kao i planiranja rada brodarstava pri izvršenju mesečnih i dnevnih planova rada flote. Izložen je, takođe, sastav eksploatacionih pokazatelja kojima se procenjuje stepen iskorišćenja flote, potom, opisane su metode njihovog proračuna i analize i, na kraju, predloženi su pravci daljeg usavršavanja sistema za ocenu rada brodova transportne flote. U uvodnom delu poglavlja pod naslovom *Klasifikacija i sastav pokazatelja* autor deli pokazatelje na eksploatacione i ekonomske. Eksploatacioni pokazatelji dele se na pokazatelje prevoza tereta i pokazatelje koji se odnose na rad flote. Pokazatelji koji se odnose na flotu koriste se u postupku planiranja njenog rada (npr. obrazlaganje potrebe za flotom, proračun prevozne sposobnosti, razrada grafikona kretanja brodova, razrada mesečnog plana rada brodarstva i td.), operativne kontrole rada brodova, za analizu i ocenu izvršenja planiranog rada. U ekonomske pokazatelje spadaju finansijski i pokazatelji produktivnosti rada. Svi pokazatelji (kako eksploatacioni, tako i ekonomski) dele se na kvantitativne i kvalitativne. Skup kvantitativnih pokazatelja karakteriše rad flote po upotrebljenoj količini brodova u saobraćaju (registrovane tone nosivosti, nominalna snaga motora, broj plovila po vidovima i sl.). Kvalitativni pokazatelji karakterišu rad, npr. 1 tone tonaže (ili 1 kW ugrađene snage brodova) i odražavaju stepen iskorišćenja transportnih brodova.

Mogućnost plovidbe potiskivanih sastava velike nosivosti na reci Suhoni opisali su u svom radu (Воронин i Генералов 1980.). U uvodnom delu, autori su opisali činioce koji vladaju u plovnom putu i ograničavaju primenu i razvoj metode potiskivanja, kao što su poluprečnici krivina, širine i dubine na pojedinim sektorima. Kako bi se ispitila moguća primena potiskivanih sastava na ovom plovnom putu tokom 1979. godine sprovedeni su

eksperimenti u realnim uslovima plovidbe kojima je obuhvaćeno nekoliko različitih tipova potiskivača i potisnica, sa različitim formacijama sastava. Rezultati obavljenih eksperimenata podeljeni su u dve grupe, i to na manevarska svojstva potiskivanih sklopova i eksploatacione (radne) karakteristike brodova. Od eksploatacionih pokazatelja rada brodova-potiskivača autori posebno naglašavaju značajni porast produktivnosti rada (gotovo dva puta u odnosu na tegljene sastave iste nosivosti) dok se troškovi transporta smanjuju za 16÷18%. Autori su, na bazi izračunatih eksploatacionih pokazatelja i pri nepromenjenom robnom toku, odnosno, ukupnoj količini transportnog rada proračunali, takođe, potrebnu flotu brodova – potiskivača i potisnica.

Мogućности експлоатације потискиваних састава велике носивости на реци Лени изнели су у свом раду (Ваганов и Воронин 1980.). У одводном делу рада аутори су истакли да се на овом пловном путу основни превози остварују системом (методом) теглјенја, уз скромну примену система потискивања. Основни састав несамородне флоте чине теретњаци-теглјенице носивости 1000 т, који немају уградене уређаје за потискивање. Из тог разлога оптерећење бродова по јединици снаге погонских уређаја није веће од 2,9 т/кВ. У циљу увођења система потискиваних приступило се специјалним испитивањима (1979. г.), водећи рачуна о правцима робних токова и њиховим величинама, узимајући у обзир постојеће димензије пловног пута, постојеће норме за обраду терета у луканама, као и чињеницу о постојећој флоти несамородних теретњака. Извршеним експериментима током испитивања утврђено је да резултативни показатељ потискивача достиже до 376 т·км/кВ-дан, а тонаже 49 т·км/тн-дан, продуктивност рада износи 19×10^3 т·км/човек-дан, док трошкови превоза износе 4,06 коп/10 т·км. Оптимални однос вуће и тонаже у разматраним условима износи 7,74 т/кВ. У поређењу са постојећим теглјеним саставима потискивачи састави постижу повећање резултативног показатеља за 10,5% и продуктивности рада за 71%, док се трошкови превоза смањују за 15,7%.

Potrebu za usavršavanjem pokazatelja iskorišćenja flote u svom radu izlaže (Баракин 1980). У уводном делу аутор приказује постојеће начине за израчунавање показатеља експлоатације бродова унутрашње пловидбе, при чему се производност 1 тоне тонаже (по тони регистроване носивости) на дан утврђује на основу величина, и то: количина терета по отпреми, техничка брзина пловидбе са теретом и коефицијент искоришćenја времена за пловидбу са теретом. Аутор сматра да, ова завосност не открива све чиниоце који утичу на ниво производности бродова због тога што, на пример, показатељ по оптерећењу зависи од врсте терета и количине терета утовареног у брод. Исто тако, техничка брзина пловидбе са теретом, будући да има непосредног утицаја на величину показатеља, разликује се према појединим секторима пловног пута због чега је неопходно извршити посебну, допунску, анализу. Према мишљењу аутора, што је изложено у раду, показатељ производности треба рачунати тако да се у израз за прорачун, осим набројаних величина, уведе и укупно време трајања једног обрта, тако да је овај коефицијент директно пропорционалан коефицијенту оптереćenја тонаже и средње дужине превоза, а обрнуто прпорционалан у односу на средње трајање обрта.

O problemu izbora pokazatelja u cilju ocene efektivnosti prevoza svoje stavove izložile su u radu (Скобелева i Селезнева 1981.). Autorke navode da su osnovni pokazatelji za ocenu efektivnosti rečnog transporta produktivnost rada, potrošnja goriva (ukupna i specifična), troškovi prevoza i stepen iskorišćenja raspoloživih novčanih sredstava. Pri oceni dinamike efektivnosti i planiranja povećanja efektivnosti potrebno je dodatno proračunati tempo promene pokazatelja a, takođe, i moguće oslobađanje pojedinih vrsta resursa (radnih, materijala, brodova, obrtnih sredstava). Budući da su navedeni pokazatelji tesno međusobom povezani to omogućava da se dobije potpuna slika promene efektivnosti prevoza, a pri planiranju njegovog povećanja – da se dostigne ravnoteža svih činilaca, te da se na toj osnovi, odredi pouzdana dinamika njihovog rasta. Znajući da su troškovi osnovni društveni pokazatelj efektivnosti prevoza, autorke postavljaju funkciju kojom troškove transporta povezuju sa sledećim parametrima: produktivnost rada, uložena sredstva, prosečna plata radnika angažovanih na prevozu, prosečna stopa amortizacije osnovnih sredstava, potrošnja goriva i troškovi održavanja.

Istraživanja i metode eksperimentalnih određivanja tehničkih i eksploatacionih osobnosti brodova Dunavske plovne mreže (deo: Otpori broda) prikazali su u monografiji (Kreculj i Čolić 1982). U monografiji opisan je razvoj teorije i naučnih istraživanja otpora pri plovidbi brodova u svetu i u nas. Posebno poglavlje posvećeno je ispitivanjima modela brodova, kao i ispitivanjima koja je sprovedla Laboratorija za ispitivanje brodova i plovnih puteva Saobraćajnog fakulteta. Prikazan je postupak za izbor dimenzija modela broda, kao i postupak za preračunavanje otpora broda na osnovu veličine otpora modela izmerenog u bazenu. Rezultati ispitivanja modela i izgrađenih brodova prikazani su tabelarno i grafički.

Problem optimalnog režima rada brodova-potiskivača i potiskivanih sastava opisali su u radu (Коваленко i Прилепко 1982.). Svoja istraživanja bazirali su na plovidbi pri ograničenoj dubini koja, po njihovm mišljenju, izaziva neophodnost izbora i određivanja optimalnih režima rada pogonskih motora koji, često pri tom, rade u režimu preopterećenja, što utiče na skraćenje njihovog resursa i povećanje potrošnje goriva. U tom smislu pristupilo se posebnim ispitivanjima potrešnje goriva na nekoliko tipova brodova-potiskivača i sa sastavima različitih oblika i nosivosti. Prema rezultatima ispitivanja grafički su prikazane zavisnosti brzine kretanja sklopova, časovna potrošnja goriva i razvijena snaga motora u funkciji relativne dubine plovnog puta (H/T). Na osnovu ovih podataka rešavaju se mnogi praktični problemi u eksploataciji. Tako na primer, ukoliko se potiskivani sastav kreće brzinom takvom, da će u luku prijema stići ranije u odnosu na mogućnost početka obrade potisnica iz svog sastava, tada zapovednik broda, dobivši o tome informaciju od dispečerske službe, može da usvoji rešenje o kretanju sastava ekonomičnijom brzinom. U takvim slučajevima za potrebe izbora odgovarajućeg režima rada pogonskih uređaja razrađuju su grafici zavisnosti broja obrtaja motora u funkciji rezerve vremena plovidbe, dajući tako mogućnost da se odredi veličina uštede goriva.

Problem utvrđivanja optimalne snage brodova-potiskivača opisali su (Варахов и Сазнов 1983.). U uvodnom delu autori su, na osnovu sprovedenih eksperimenata, izneli podatak da brodovi pri jednakim uslovima (nosivosti sastava od 15.000 t) postižu različite vrednosti koeficijenta opterećenja, koji se kreću u granicama od 5,8 do 10,8 t/kW. Utvrdili su da, značajan deo snage potiskivnja se koristi u uslovima koji ne odgovaraju predviđenim projektnim zadatkom, što smanjuje ekonomske pokazatelje rada sastava velikih nosivosti. Do toga dolazi, u najvećoj meri, zbog nedostatka tonaže i nedovoljnog broja pristajališnih mesta u lukama za obradu istovremeno pristiglih potisnica. Autori naglašavaju da je prilikom određivanja snage pogonskih motora potiskivača neophodno uzeti u obzir sve tehničke, eksploatacione i ekonomske parametre kojima se osigurava mogućnost normalne eksploatacije i efikasnost korišćenja sastava. Nadalje, u tekstu autori prezentuju izraz za proračun efektivne snage potiskivača kojom se obezbeđuje potrebna upravljivost sastava za zadate vrednosti brzine vetra. Na osnovu toga, postavlja se pitanje koju brzinu vetra treba odabrati pri određivanju snage pogonskih motora broda-potiskivača. Istovremeno autori daju odgovor: treba odabrati takvu brzinu vetra koja odgovara minimumu troškova prevoza tereta pod uslovom da je ispunjen uslov osiguranja potrebne upravljivosti uz prikaz računskog izraza za proračun jediničnih troškova.

Principe optimizacije glavnih karakteristika brodova sa sistemskim pristupom optimizaciji i opisima matematičkih modela, kao i optimizaciju popune flote izložio je u monografiji (Пашин 1983). Monografija se sastoji od sledećih poglavlja: 1). Optimizacija karakteristika brodova i popune flote sa potpoglavljima „Postavka i osobenosti zadatka“, „Optimizacija karakteristika brodova i popune flote“, „Optimizacija karakteristika brodova i formulacija matematičkog modela“, „Pravci daljeg usavršavanja metoda optimizacije karakteristika brodova i popune flote“, 2). Matematički model saglasan optimizaciji broda kao složenog sistema sa potpoglavljima „Pitanja koordinacije višeg i nižeg nivoa projektovanja“, „Aparat dvostrukih ocena – osnova sistema optimizacije brodova“, „Primeri formiranja lokalnih kriterija“, 3). Optimizacija broda sa potpoglavljima „Određivanje elemenata broda“ i „Određivanje elemenata osnovnih podsistema broda“.

U radu pod naslovom *Novi tipovi brodova-prednosti i nedostaci* koji je objavljen 1984. godine autor (Варахов 1984). analizira sve aspekte brodova unutrašnje plovidbe predviđenih za gradnju u narednom periodu za potrebe ruske privrede, i to sa stanovišta tehničkih, eksploatacionih i ekonomskih pokazatelja. Uporednim prikazom tehničkih, eksploatacionih i ekonomskih pokazatelja analiziraju se prednosti i nedostaci potiskivanih sastava velikih nosivosti u odnosu na flotu motornih brodova za prevoz tereta (takođe, velikih nosivosti), potisnica simetričnog i nesimetričnog oblika, brodova-potiskivača i motornih brodova za prevoz tereta za reke koje se odlikuju malim dubinama, kao i kombinovanih brodova. Na osnovu istraživanja autor zaključuje da produktivnost motornih teretnjaka tipa „Volgo-Don“ u sklopu sa potisnicama (ukupne nosivosti 10.000 t) tokom plovidbene sezone 1983. godine, je za 40% manja u odnosu na potiskivane sastave čija ukupna nosivost iznosi 15.000 tona, dok

su troškovi prevoza veći za 25%. Na osnovu prednosti prevoza tereta u oba smera, autor preporučuje gradnju kombinovanih brodova, nosivosti do oko 3.000 tona. Na osnovu ispitivanja u realnim uslovima plovidbe autor obrazlaže prednosti gradnje brodova-potiskivača snage pogonskih motora 1760 kW (2400 KS) za potrebe plovidbe po reci Volgi. Osim navedenog, obrazlažu se prednosti gradnje nesimetričnih potisnica (sekcija) za prevoz suvih tereta nosivosti 4650 t i nesimetričnih potisnica za prevoz nafte nosivosti 4000 tona.

Problem tehničkog i ekonomskog obrazloženja izbora tipa rečnih brodova izložili su u svom radu (Земляновский и Подгорный 1985.). Autori ističu da su pri analizi i razradi tipskih brodova po grupama istraživani: ekonomska opravdanost korišćenja motornih brodova za prevoz tereta i potiskivanih sastava, zatim, eksploatacioni pokazatelji rada flote variranjem načina eksploatacije (sa „vezanom“ vučom i bez vezivanja vuče za potisnice iz sastava), potom, zavisnost troškova prevoza u funkciji ukupne nosivosti sastava i snage pogonskih motora brodova-potiskivača, i na kraju, uticaj potrošnje pogonskog goriva i upotrebjenog čelika za gradnju na efekat optimizacije brodova. Sprovedena istraživanja pokazala su da nesamohodna flota, praktično, u svim slučajevima postiže bolje ekonomske pokazatelje u odnosu na samohodnu flotu. Pažnju zaslužuju rezultati istraživanja uticaja snage pogonskih motora potiskivača na efikasnost prevoženja pri nepromenjenoj nosivosti sastava. Tako, utvrđeno je da, povećanje snage pogonskih motora potiskivača (za sastav od četiri sekcije) do 2200 kW ne dovodi do vidljivog pogoršanja osnovnog kriterijuma optimizacije – jediničnih troškova prevoza, a istovremeno omogućava suštinsko povećanje pokazatelja produktivnosti rada. Proračuni su pokazali, takođe, da prelazak sa sistema sa stalno vezanim potiskivačem na organizaciju bez stalnog vezivanja dovodi do smanjenja jediničnih troškova i povećanja produktivnosti rada. Autori napominju da izbor optimalne strukture flote može da bude osiguran samo pod uslovom da se njeno formiranje bazira na efikasnoj organizaciji transportnih sistema te, iz tog razloga, smatraju da ograničene mogućnosti pretovara tereta u lukama sprečavaju formiranje potiskivanih sastava velikih nosivosti. Takođe, autori razmatraju mogućnost uvođenja zbirnih potiskivanih sastava, čime se omogućava povećanje njihove nosivosti, skraćivanje stajanja potiskivača u krajnjim tačkama i stajanja nesamohodnih brodova-potisnica u lukama na račun istovremene obrade na nekoliko istovarno/utovarnih mesta različite namene.

O izboru režima rada pogonskih uređaja svoje stavove izložili su u svom radu (Захаров и други 1985.) polazeći od stava da eksploatacija brodskih pogonskih motora u najekonomičnijim režimima, odabranih u zavisnosti od uslova u plovnom putu i hidroloških i meteoroloških uslova, omogućuju da se znatno umanju potrošnja goriva. Predloženo je nekoliko metoda kojima se obrazlaže izbor ekonomskih režima rada brodskih pogonskih uređaja, pri čemu se kao kriterijumi optimalnosti usvajaju: potrošnja goriva (po jedinici snage; ili po jedinici transportnog rada; ili po jednom kilometru pređenog puta; ili srednja eksploataciona), koeficijent korisnog dejstva broda, troškovi prevoza. Kao najkompleksniji kriterijum javlja se minimum troškova transporta tereta, budući da taj pokazatelj uzima u

obzir ne samo energetske i tehničke činioce, već i ekonomske činioce kao što su cena goriva, amortizacija, plata radnicima i drugi troškovi nastali tokom rada. Kao rezultat sprovedene sistemske analize uticaja različitih parametara na troškove prevoza razrađeni su matematički modeli i algoritmi za računanje i izbor optimalnog režima rada brodskih pogonskih uređaja. Dobijeni izrazi za određivanje optimalnog režima u zavisnosti od brzine rečnog toka i dubine u plovnom putu su dovoljno jednostavni, što daje mogućnost izbora takvog režima rada neposredno na brodu bez primene složene računarske tehnike čime se, praktično, ostvaruje optimalna eksploatacija broskog pogonskog uređaja.

Ispitivanje propulzije i upravljivosti izvršili su saradnici Brodarskog instituta iz Zagreba sa brodom-potiskivačem *Leningrad* (1985.). Na mernoj stazi kod Tekije (km 936 do km 940) izvršeno je dinamometrijsko ispitivanje snage pogonskih motora i ispitivanje brzine broda pri radu pogonskih motora nominalnim brojem obrtaja, ispitivanje krugova okretaja, zaustavljanje-usporavanje broda inercijom, kao i naglo zaustavljanje preketom rada pogonskih motora. Sva ispitivanja izvedena su sa sastavom od šest potiskivanih teretnjaka u formaciji P+3+3. Na kraju izveštaja tabelarno i grafički prikazani su rezultati utvrđeni merenjem tokom eksperimenta.

Principe izbora potiskivača za rad na reci Volgi obrazložili su u svom radu (Ильп и Пасторьев 1986.) uzimajući u obzir, osim hidroloških uslova koji vladaju, i problem prolaska potiskivanih sklopova kroz brodske prevodnice bez njihovog rasformiranja. Eksperimenti su pokazali da je eksploatacija potiskivanih sastava na veštačkim jezerima na Volgi moguća pri opterećenjima ne većim od 9,5÷11 t/kW (7÷8 t/KS). Polazeći od ovako definisanog pokazatelja opterećenja, a za unapred definisanu ukupnu nosivost svih potisnica u sastavu od 20.000 tona, ustanovljeno je da snaga pogonskih motora potiskivača treba da se nalazi u granicama 1800÷2000 kW (2450÷3000 KS). U daljem tekstu, a na osnovu izvršenih eksperimenata, autori obrazlažu izbor brzine plovidbe potiskivanih sklopova, izbor tipa pogonskih uređaja, izbor parametara propelera, proračun potisne sile propelera, rezerve snage za slučaj plovidbe u teškim meteorološkim uslovima, kao i manevarska svojstva sklopova – što sve nije predmet predložene doktorske teze.

Principe izbora potiskivača za rad na reci Volgi izložio je u radu (Баранов 1986.) polazeći od unapred usvojene činjenice da se na ovoj reci formiraju sasravi velikih nosivosti, od 12.000 do 18.000 tona, a da u toku navigacionog perioda treba da ostvare prevoz od 200×10^3 do 400×10^3 tona i transportni rad koji se nalazi u granicama od $200 \div 500 \times 10^6$ t·km. Kao osnovni parametar za određivanje optimalnih karakteristika potiskivača za rad na reci Volgi autor usvaja minimum troškova eksploatacije. Na osnovu sprovedenih eksperimenata autor je ustanovio da je nivo ukupnih troškova prevoza i troškova prevoza tereta po jedinici za sastave koje pokreću potiskivači većih snaga veći u odnosu na potiskivače manjih snaga, zbog veće jedinične cene gradnje brorova, što važi i za cene gradnje sekcija većih nosivosti. Autor

smatra, takođe, da primena potiskivanih sastava nosivosti 30÷37 hiljada tona na Volgi još uvek nije moguća zbog toga što nisu ispunjeni osnovni uslovi eksploatacije, i to: nedostaju linije sa izrazito jakim robnim tokovima; u lukama nedostaju pristajališna mesta za istovremenu obradu potisnica iz sastava; postoje veliki gubici vremena pri prolasku kroz brodske prevodnice zbog rastavljanja ovako velikih sastava; nedostaje potreban broj potisnica kako bi se formirali sastavi ovih nosivosti. Sve nabrojano ne omogućava da se postignu bolji pokazatelji iskorišćenja flote u poređenju sa sastavima manjih nosivosti.

Naučnu analizu eksperimentalnih ispitivanja veličine otpora pri plovidbi savremenih brodova Dunavske plovne mreže izložio je u monografiji (Čolić 1986). U monografiji izložene su iskustvene računске metode za određivanje otpora brodova (sa sopstvenim pogonom i bez sopstvenog pogona) na plovnom putu dovoljne dubine i dovoljne širine. U okviru ovih metoda prikazani su načini za određivanje okvašenih površina brodova, koeficijenta otpora na osnovu ispitivanja modela i izgrađenih brodova, kao i načini za određivanje koeficijenta ostalog otpora (C_0). Posebno poglavlje monografije posvećeno je postupku za određivanje koeficijenta sastava (k_{sast}) tegljenih i potiskivanih teretnjaka.

Vučna, potisna i brzinska svojstva brodova unutrašnje plovidbe obradili su (Баранов i dr.1986). Knjiga sadrži sledeća poglavlja: 1). Proračun otpora vode pri kretanju brodova i sastava, sa potpoglavljima „Određivanje otpora brodova na osnovu modelskih ispitivanja“, Proračun otpora po empirijskim formulama“, „Proračun otpora pri kretanju brodova u plovnom putu ograničenih dimenzija“, „Određivanje otpora pri kretanju sastava“, „Otpor pri kretanju sekcionih sastava“, Redukovani i specifični otpor“ i „Pokazatelj kvaliteta tonaže“, 2). Praktični proračun brodskih kretnih sredstava sa potpoglavljima „Osnovni elementi i međusobni odnosi broskog propelera“, „Vrste proračuna propelera“, „Preliminarni proračun propelera“, „Osnovni elementi i princip dejstva dizne (sapnice)“, „Proračun kompleksa propeler-dizna sa potpunim iskorišćenjem snage pogonskih motora“, 3). Proračun vučne i potisne sile, u kojem se opisuju vučne, potisne i brzinske karakteristike brodova, postupak njihovog proračuna, 4). Metode za određivanje brzine kretanja brodova i sastava, u kojem su opisani postupci pri dinamometrijskim ispitivanjima brodova, izrada brodskih dokumentacionih karakteristika, rešavanje vučnih i brzinskih zadataka i uticaj promenljivosti malih dubina na brzinu kretanja brodova i sastava.

U knjizi pod naslovom „Efektivnost rečnog prevoza i načini za njegovo povećanje“ autori (Цельковский i drugi 1988.) razmatrali su pitanje eksploatacione delatnosti u rečnom transportu: suštinu i sistem pokazatelja efektivnosti, način njihovog proračuna i analize. Otvorena su pitanja koja se odnose na otkrivanje rezervi u prevozu i na načine za povećanje efektivnosti prevoza tereta na osnovu primenjenih naučnih principa i uvođenja novih transportnih sredstava. U poglavlju *Transportna proizvodnost i pokazatelji efektivnosti rečnog prevoza* opisan je pojam transportne proizvodnje i načini za njeno merenje, potom, sistem pokazatelja efektivnosti prevoza tereta, pokazatelji efikasnosti korišćenja rada radnika na brodovima, pokazatelji efektivnosti korišćenja osnovnih fondova, obrtnih sredstava i

kapitalnih ulaganja, pokazatelji efektivnosti korišćenja materijalnih resursa i pokazatelji efektivnosti primene nove transportne tehnike. U poglavlju *Ekonomska analiza efektivnosti rečnog prevoza* opisani su značaj i zadaci ekonomske analize u oceni efektivnosti prevoza, kao i kompleksna ocena uticaja tehno-ekonomskih pokazatelja na efektivnost prevoza. U poglavlju *Rezerve i načini za povećanje efektivnosti rečnog prevoza* prezentovani su osnovni pravci kojima se postiže povećanje efektivnosti u radu brodova transportne flote, ali i uloga naučnih i tehničkih dostignuća u rečnom transportu.

O pokazateljima iskorišćenja flote u rečnom transportu svoj stav izneli su u (Гаринов и други 1988.). Polazeći od činjenice da se više od 80% troškova odnosi na transportne brodove smatraju da poboljšanje njihovog iskorišćenja ima velikog značaja za rad transportnih preduzeća. Iznose tvrdnju da se stepen iskorišćenja flote ocenjuje pomoću ekonomskih (ukupni i troškovi po jedinici transporta) i eksploatacionih pokazatelja. Kao osnovni eksploatacioni pokazatelj koji se koristi prilikom planiranja potreba za flotom i ocene izvršenja njenog rada u upotrebi je *rezultativni pokazatelj proizvodnosti*, računat iz odnosa ostvarenog transportnog rada po jedinici tonaže na dan transportnih brodova u eksploataciji (t·km/tn-dan), odnosno po jedinici snage pogonskih motora brodova-potiskivača (t·km/kW-dan). Autori smatraju da je neophodno da se proširi sastav osnovnih pokazatelja u koje bi trebalo da uđu: obim i struktura prevezenog tereta prema vrsti i pravcu, produktivnost, ali i ukupni prihod ostvaren transportom kome treba dati veću ulogu (kao i ukupnim troškovima). Ostvareni prihod po jedinici tonaže (jedinici snage) neposredno je u vezi sa ekonomikom transporta tereta. Razmatrajući pozitivne i negativne strane svakog pokazatelja može da se izvede zaključak da je ocenjivanje i analiziranje rada flote celishodno izvršiti prema ukupnim ekonomskim i eksploatacionim pokazateljima, pri čemu ekonomski pokazatelji treba da budu osnovni, dok eksploatacioni pokazatelji treba da budu dopunski.

Problem poboljšanja radnih karakteristika brodova na osnovu obavljenih eksperimenata u realnim uslovima plovidbe opisao je (Филатов 1988.). U realnim uslovima eksploatacije tehničko stanje brodova i uslovi plovidbe često se razlikuju od projektovanih-računskih, pri čemu se pod računskim režimom podrazumeva kretanje broda (potiskivanog sklopa) sa nominalnim opterećenjem na pravolinijskom kursu u dubokoj i mirnoj vodi. Pri tom režimu postiže se saglasnost rada pogonskog motora i propelera uz uslov ostvarenja maksimalno moguće vrednosti koeficijenta propulzije i potpunog iskorišćenja nominalne snage pogonskog postrojenja. Eksperimentima i obradom statističkih podataka utvrđeno je da se plovidba u „normalnim“ uslovima (na pravolinijskom kursu, u dubokoj i mirnoj vodi) odvija ne više od 45% ukupnog trajanja navigacionog perioda, a da se ostali deo plovidbenog perioda odvija u uslovima delovanja talasa (10%), delovanja vetra (10%), pri niskim vodostajima (20%), na krivolinijskim delovima rečnog toka sa čestim otklonima krmilarskog uređaja (više od 10%). Prema tome, više od polovine vremena provedenog u plovidbi brod radi u uslovima koji se razlikuju od računskih. Iz tog razloga snaga koja se predaje na propeler, takođe, se razlikuje od računске tako da nastaju periodi rada motora sa „teškim“

odnosno „lakim“ propelerom pri čemu se postiže nedovoljno iskorišćenje njegove nominalne snage. Kao rezultat toga brodovi se kreću brzinama koje iznose samo 60÷85% u odnosu na računsku, što značajno snižava vrednosti eksploatacionih pokazatelja.

Značaj obavljanja termo-tehničkih ispitivanja brodova u realnim uslovima plovidbe opisao je u radu (Тумаринсон 1988.). Poznato je da se u uslovima eksploatacije snaga pogonskih motora određuje indirektnim metodama ili prema količini potrošenog goriva i broju obrtaja vratila ili pomoću grafika u funkciji izmerenog srednjeg efektivnog pritiska p_e . Utvrđeno je da se događa povećanje potrošnje goriva u realnim uslovima eksploatacije (u poređenju sa izmerenom na probnom stolu) zbog istrošenosti delova i lošeg tehničkog stanja motora. Što se tiče ispitivanja radnih karakteristika brodova-tegljača uopšte, preporučuje da se rezultati ispitivanja predstave u vidu grafika i to: promena snage u funkciji brzine plovidbe, promena sile na kuki u funkciji brzine plovidbe, potrošnja goriva i temperatura izduvnih gasova, takođe, u funkciji brzine plovidbe za usvojene brojeve obrtaja motora. Za potiskivače predviđena su ispitivanja u plovidbi sa različitim oblicima i veličinama sastava, u mestu, uz preporuku da se izvrši ocena saglasnosti propelera i vučnih pokazatelja pri računskoj brzini. Svi izračunati parametri treba da budu upoređeni sa istima koji su očitani na probnom stolu proizvođača motora.

U knjizi „Planiranje rada flote i luka“ (Бутов и Лероастаев 1988.) autori su razmatrali metode planiranja rada brodarstava i luka, razradili grafike kretanja brodova transportne flote, optimalnog režima rada luka, proizvodno-finansijske planove rada brodova i druge aspekte tekućeg planiranja. Izloženi su osnovi za operativno planiranje rada brodova na nivou brodarstva kao i pitanja operativnog i dispečerskog planiranja. Prikazane su konkretne preporuke u pogledu primene matematičkih metoda optimizacije i upotrebe računara u postupku tekućeg i operativnog planiranja. U poglavljima koja se odnose na planiranje rada brodova posebno su izložena poglavlja koja se odnose na: sadržaj i postupke za razradu grafika kretanja brodova (koji obuhvata organizaciju potoka roba za prevoz, proračun potrebne flote, organizaciju rada brodova po pojedinim linijama), kao i plan opsluživanja vučom (koji sadrži izbor načina za opsluživanje vučom, optimizaciju plana opsluživanja potrebnom vučom, eksploatacione pokazatelje).

Prilog o novim pokazateljima iskorišćenja flote izložio je u radu (Воронов 1989.). Autor potvrđuje da se efektivnost korišćenja flote za prevoz tereta ocenjuje pomoću *rezultativnog pokazatelja proizvodnje*, koji se meri odnosom izvršenog transportnog rada ($t \cdot km$) i utrošene tonaže na dan (tn -dan), tj. $t \cdot km / tn$ -dan. Na identičan način ocenjuje se efektivnost korišćenja motornih brodova i opisuje veličinom $t \cdot km / tkW$ -dan. Taj pokazatelj je kompleksna veličina kojom se opisuje korišćenja brodova prema količini tereta, brzini plovidbe, utrošenom vremenu na tehnološke operacije i daljini transporta. Ispitivanja koja je sproveo autor omogućila su da se predloži novi oblik za proračun pokazatelja iskorišćenja brodova, koji u svoj sastav uvodi veličinu *koeficijent iskorišćenja vremena za plovidbu sa teretom* (α), a koji se određuje iz odnosa vremena provedenog u plovidbi sa teretom i ukupnog

trajanja obrta. Pri tom, neophodno je da se vreme punog obrta predstavi u matematičkom obliku kao zbir komponenata, pri čemu vreme u plovidbi sa teretom i bez tereta treba zameniti poznatim veličinama, kao što su dužina transporta i tehnička brzina plovidbe. Na taj način, novi pokazatelj iskorišćenja rada brodova omogućava da se pravilnije analizira njihov rad.

Kriterijum efektivnosti kao kriterijum za ocenu rada flote na unutrašnjim plovnim putevima opisao je u radu (Суханов 1990.). Autor smatra da rezultativni pokazatelj poseduje neophodnu kompleksnost kojom može da se ocenjuje kvalitet iskorišćenja transportne flote, ali njegov suštinski nedostatak sastoji se u tome što on ne odražava ekonomsku stranu transportnog procesa. Autor predlaže da ovaj nedostatak bude otklonjen ukoliko se kao kriterijum za ocenu rada brodova usvoji pokazatelj efektivnosti k_{ef} koji se računa iz odnosa ukupno ostvarenog prihoda i nastalih eksploatacionih troškova. Kada se pokazatelj efektivnosti (k_{ef}) proširi sa rezultativnim pokazateljem proizvodnje (P_B), dobija se novi pokazatelj koji u sebi sadrži, osim količine tereta za transport, korišćene tonaže (ili snage pogonskih motora), relacije transporta i tehničke brzine plovidbe, još i jediničnu cenu transporta (ugovorenu ili po tarifi) i dnevne troškove držanja jedne tone tonaže (ili jednog kW snage pogonskih motora). Prednost predloženog kriterijuma ogleda se tome što se sve navedene komponente mogu na jednostavan način utvrditi (statistički ili opitom u realnim uslovima plovidbe). Osim neposredne veze sa ekonomikom transporta, pokazatelj efektivnosti (k_{ef}) ima još jednu prednost u odnosu na druge pokazatelje u obliku jasno utvrđene granice: pri $k_{ef} > 1,0$ prevoz je rentabilan, dok pri $k_{ef} < 1,0$ prevoz ostvaruje gubitak.

Sistematski prikaz eksperimentalnih ispitivanja veličine otpora pri plovidbi savremenih brodova Dunavske plovne mreže i određivanje najpovoljnijih računskih metoda na osnovu rezultata ispitivanja prikazao je u monografiji (Čolić 1993). U monografiji detaljno su opisana ispitivanja otpora i propulzije brodova unutrašnje plovidbe, metodologija proračuna veličine otpora brodova pri različitim gaženjima, određivanje koeficijenta sastava tegljenih i potiskivanih teretnjaka, metodologija određivanja koeficijenta povećanja otpora pri plovidbi u plovnom putu ograničene dubine i dovoljne širine, kao i metodologija određivanja koeficijenta povećanja otpora pri plovidbi brodova u plovnim kanalima.

Postupak projektovanja broda u cilj postizanja efektivnosti i ekonomičnosti opisali su u monografiji (Schneekluth i Bertram 1998). Monografija se sastoji od sledećih poglavlja: glavne dimenzije i njihovi uobičajeni odnosi, projektovanje brodskih linija; postupak optimizacije projekta; određivanje težišta broskog sistema; neka nekonvencionalna rešenja propulzije; propulzija broda. Posebna pažnja poklonjena je brodovima koji plove po unutrašnjim plovnim putevima. Pored poznatih postupaka kojima se određuju i proračunavaju glavne karakteristike broda, monografija prikazuje proračun uticaja troškova i brzine plovidbe u procesu optimizacije broda. Monografija, takođe, daje prikaz uticaja dizne (sapnice) na efektivnost propulzije. Na kraju, prikazuje se odnos (interakcija) između trupa broda i propelera, sa iznošenjem postupka za proračun koeficijenta usisavanja i koeficijenta povratnog strujanja.

Postupak proračuna i predlog metode za izračunavanje prevoznih učinaka savremenih tegljenih i potiskivanih sastava u monografiji izložio je (Čolić 1998). Metodologija proračuna prevoznih učinaka brodova-tegljača i potiskivača prikazuje način određivanja mehaničkog rada i učinke vučne sile brodova-tegljača, odnosno potiskujuće sile brodova-potiskivača. Na kraju, u monografiji prikazan je primer proračuna prevoznog učinka na osnovu određivanja mehaničkog rada i učinka potiskujuće sile zasnovan na izvršenim merenjima brodova u realnim uslovima na plovnom putu.

Eksploataciju brodskih dizel motora opisali su u knjizi (Škiljaica i Hrle 1999). Knjiga sadrži sledeća poglavlja: 1). Konstrukcija brodskih pogonskih motora sa unutrašnjim sagorevanjem, u kojem su opisani osnovni delovi motora i njegovi sistemi za gorivo, podmazivanje, hlađenje, usisavanje vazduha i evakuaciju produkata sagorevanja, prehranjivanje, za prekretanje i startovanje, daljinsko i automatizovano upravljanje, 2). Osnovi teorije brodskih dizel motora u kojem su opisani osnovi teorije radnih procesa, osnovi dinamike klipnih motora, utvrđivanje dimenzija osnovnih delova i sklopova motora, 3). Tehnička eksploatacija brodskih dizel motora, koja se odnosi na osnovne pokazatelje rada, brzinske karakteristike i karakteristike opterećenja motora.

Principe brodske energetike opisali su (Hrle i dr 2002). Knjiga sadrži poglavlja: 1). Opšti pojmovi o brodskim pogonskim postrojenjima, koje obuhvata glavne elemente, zahteve koje treba da ispune brodska pogonska postojenja i brodska pogonska goriva, 2). Motori sa unutrašnjim sagorevanjem, sa detaljnim opisom koji se odnosi na ovu vrstu pogona, 3). Brodski parni kotlovi, 4). Parne turbine, 5). Gasne turbine, 6). Električna pogonska postrojenja, 7). Brodska atomska postrojenja, 8). Kombinovana pogonska postrojenja, 9). Prenos snage od glavnog postrojenja do propelera broda, gde su opisani svi elementi mehaničkog prenosa motor-propeler, 10). Glavni brodski prenosnici (reduktori) i spojnice, 11). Propulzori-brodska kretna sredstva, u kojem su opisane geometrijske karakteristike propelera, dizne (sapnice) i primena tunela na brodovima, 12). Opis uzajamnog rada pogonskih postrojenja i propulzora.

Glavne principe projektovanja brodova unutrašnje plovidbe izložio je u knjizi (Jovanović 2002). Knjiga sadrži sledeća poglavlja: 1). Projektovanje-uopšte, koje sadrži opšte principe projektovanja i polazne osnove za projektovanje broda, 2). Uticajne veličine i karakteristike plovnog puta, u kojem autor obrazlaže parametre koji su od uticaja na osnovne elemente broda ili sastava, 3). Brzina broda, u kojem se opisuju postupak za proračun brzine plovidbe broda, odnosno potiskivanog sastava, 4). Određivanje glavnih dimenzija i karakteristika broda, u kojem se precizno navode postupci za proračun glavnih dimenzija (L, B, H, T), 5). Koncipiranje broda, u kojem se opisuju osnovna grupa masa i preliminarno određivanje mase broda, 6). Oblici broda-linije, 7). Otpori broda, sa detaljnim navođenjem svih vrsta otpora koji se javljaju pri plovidbi broda ili sastava, 8). Propulzija broda, u kojem su opisani glavne dimenzije propelera, izbor propelera, propeler u dizni (sapnici), proračun

sile propulzije koju razvija propeler, 9). Krmilarenje brodom, 10). Čvrstoća broda. U prilogu knjige prikazani su propelerski dijagrami.

Osnovna istraživanja veličine otpora pri plovidbi Dunavskih teretnih, već izgrađenih, brodova izložili su u svojoj monografiji (Čolić i Vukadinović 2004). Monografija sadrži 12 poglavlja, od kojih se 9 odnosi na ispitivanje veličine ukupnog otpora tegljenih teretnjaka različitih tipova, dok se dva poglavlja odnose na ispitivanje ukupnog otpora brodova za prevoz tereta sa sopstvenim pogonom. Sva poglavlja monografije detaljno opisuju postupak rada tokom eksperimenta i uticaj dubine u plovnom putu na izmerene rezultate. Rezultati dobijeni merenjem u plovnom putu sistematično su prikazani tabelarno i grafički. Poseban deo monografije, po poglavljima, odnosi se na proračun koeficijenta ostalog otpora (C_0) svakog od ispitivanih teretnjaka.

Monografija čiji naslov je *Istraživanje propulzionih, vučnih i energetskih osobnosti Dunavskih brodova tegljača* autora (Čolić 2005.) daje prikaz rezultata eksperimentalnih ispitivanja brodova-tegljača izvršenih u realnim uslovima plovidbe na plovnom putu. Eksperimenti sa tegljenim teretnjacima-tegljenicama različitih tipova po dimenzijama i nosivosti, postavljenih u odgovarajuće oblike sastava obavljani su u plovnom putu poznatih karakteristika (dubina, širina i poluprečnik krivina). Tokom eksperimenata, posebnim uređajem (dinamometrom), utvrđene su veličina sile otpora jedne tegljenice (R), različitih oblika sastava (R_{sast}) i veličina vučne sile (P_v), brzina plovidbe u odnosu na vodu (v) pomoću hidrometrijskog krila, postavljenim torziometrima izmerene su snage na propelerskim vratilima (N_{vr}) i brojevi obrtaja propelerskih vratila (n) za različite režime rada. Osim navedenih, posebnim merenjima utvrđeni su (indiciranjem) veličina pritiska kompresije i ekspanzije pogonskih motora (p), ukupna (G) i specifična potrošnje goriva (g), kao i nivoi vibracija i buke. Na kraju izloženi rezultati ispitivanja, dobijeni obradom podataka, mogu veoma korisno da posluže kako brodarskim organizacijama u eksploataciji ove vrste brodova, tako i projektantima.

Monografija *Istraživanje plovidbenih, prevoznih, energetskih i propulziono-potisnih osobnosti Dunavskih brodova potiskivača* autora (Čolić 2006.) daje prikaz 23 obavljena eksperimenta sa potiskivačima i potiskivanim sastavima u realnim uslovima plovidbe na Dunavu. Tokom navedenih eksperimenata, pomoću postavljenih uređaja, merene su vrednosti snage na propelerskim vratilima (N_{vr}) i brojevi obrtaja propelerskih vratila (n), veličina pritiska kompresije i ekspanzije pogonskih motora (p), brzina plovidbe u odnosu na vodu (v) kao i ukupna (G) i specifična potrošnje goriva (g) za različite režime rada pogonskih motora. Sva merenja obavljena su u uzvodnoj plovidbi za različite oblike potiskivanih sastava i poznate dubine na mernoj stazi. Svaki od izveštaja obavljenih eksperimenata sadrži upoređenje izmerenih vrednosti snage na vratilima i broja obrtaja propelerskih vratila sa istim podacima dobijenih od proizvođača pogonskih motora, na osnovu čega se utvrđuje stepen usklađenosti rada motora sa karakteristikama propelera. U zaključnim razmatranjima

sagledavaju se propulzione i potisne karakteristike brodova, prevozni učinci i daju preporuke u smislu otklanjanja uočenih nedostataka.

Predlog novih rešenja pogona dunavskih brodova-potiskivača opisali su u svom radu (Nikolić i dr. 2006). Rad se, posle uvodnih izlaganja, osvrće na osnovne tehničke karakteristike potiskivača i izvršena ispitivanja modela broda-potiskivača serije MG-40 pri radu sa 12 potisnica tipa Evropa II-B (bazen u Duizburgu) postavljenih u dve formacije, i to P+4+4+4 i P+3+3+3+3. Nadalje, u radu se opisuje ostvarivanje propulzije broda pomoću dizel pogonskih motora. Posebno poglavlje u radu posvećeno je opisu pogona istog broda-potiskivača sa pretpostavljenim dizel-električnim pogonom, koji se odlikuje vrlo preciznom regulacijom broja obrtaja propelera uz potpunu apsorpciju snage motora. Rad se završava opisom ostalih prednosti dizel-električnog pogona, kao i uporednim testom manevarskih karakteristika u zavisnosti od pogona potiskivača.

U udžbeniku čiji je naslov *Tehnologija vodnog saobraćaja*, deo I, *Plovna prevozna sredstva* autori (Škiljaica i Bačkalić 2009.) su u delu *Eksploatacioni pokazatelji rada i prevozna sposobnost flote* detaljno izložili ulogu eksploatacionih pokazatelja, njihovu podelu i način određivanja. Pokazatelji su grupisani na sledeći način: pokazatelji iskorišćenja plovnog parka jednog broderskog preduzeća, pokazatelji pređenog puta i njegovo iskorišćenje, pokazatelji po brzini plovidbe, pokazatelji iskorišćenja registrovane nosivosti i snage pogonskih motora, prevozni učinak, pokazatelji proizvodnje i rezultativni eksploatacioni pokazatelji. Posebna poglavlja u knjizi predstavljaju način određivanja (proračunavanja) prevozne sposobnosti plovila, proizvodnosti plovila, utvrđivanje potrebnog broja plovila i uticaj eksploatacionih pokazatelja na osnovne veličine transportnog procesa.

Postupak za proračun snage pogonskog motora broda potiskivača u zavisnosti od brzine plovidbe potiskivačkog sastava i eksploatacione nosivosti potiskivanih teretnjaka u sastavu na Dunavskoj plovnoj mreži opisali su u usvojenom tehničkom rešenju (Radonjić i dr. 2010). Tehničko rešenje se sastoji iz originalnog postupka za proračun potrebne snage pogonskih motora broda-potiskivača u zavisnosti od brzine plovidbe potiskivanog sastava i eksploatacione nosivosti potiskivanih teretnjaka u sastavu, tj. $N_{vr}=f(v_{pl}, \Sigma Q_e)$. Sve zavisnosti određene su postupkom višestruke korelacije. Proračun se zasniva na izvršenim eksperimentalnim istraživanjima. Primenjena istraživanja odnose se na sistem potiskivanja, na unutrašnjim plovnim putevima.

U monografiji pod nazivom *Eksperimentalna istraživanja tehničko-eksploatacionih osobenosti putničkih i samohodnih teretnih brodova na Dunavskoj plovnoj mreži* autor (Čolić 2010.) predstavlja prikaz naučnih istraživanja ove vrste brodova u realnim uslovima plovidbe. Eksperimenti obavljani sa različitim tipovima brodova obuhvataju istraživanja iz domena svrsishodnosti primene vanbrodskih propulzionih uređaja na brodovima za prevoz tereta pri plovidbi u kanalima sistema DTD i Dunavu, potom, ispitivanja propulzionih osobenosti, merenja veličine ukupnog otpora brodova, kao i nivoa vibracije i buke. Posebno treba naglasiti one eksperimente kojima su obuhvaćene propulzione osobenosti brodova: „Han

Kardam“, „Sombor“, „Mišeluk“ i „Deligrad“ budući da su tokom ovih ispitivanja izmerene brzine plovidbe u odnosu na vodu i snage na pogonskim vratilima za različite režime rada pogonskih motora, sve u funkciji količine utovarenog tereta (Q_e) i izmerene dubine u plovnom putu. Posebno su iskazani rezultati opita kada su motorni teretnjaci radili u sklopu sa potisnicama poznatih tehničkih i eksploatacionih karakteristika. Rezultati izloženi u monografiji mogu da se koriste pri proračunu eksploatacionih pokazatelja rada brodova što je od posebnog značaja u postupku organizacije njihovog rada u brodarskim kompanijama.

Metodologiju optimizacije eksploatacionih pokazatelja rada flote u brodarskim kompanijama opisali su u svom radu (Фомин и Карабутов 2011.). Autori navode da je jedan od osnovnih kriterijuma, kojim se opisuje sastav eksploatacionih pokazatelja i pokazatelj potrošnje pogonskog goriva koja, pri tom, zavisi od različitih činilaca, kao što su: snaga pogonskih uređaja, brzina kretanja broda, dubina i brzina rečnog toka i režim rada pogonskih dizel motora. Optimalnost potrošnje goriva može da se utvrdi na različite načine, tako što se ovaj pokazatelj, u većini slučajeva, opisuje algebarskim zavisnostima koji, pri promeni uslova kretanja ili ekonomske situacije ne mogu uvek na odgovarajući način da izraze stvarno stanje brodova. Sve to, očigledno, ima odraza na efektivnost dobijenih optimalnih rešenja i zahteva odgovarajuću korekciju izračunatih pokazatelja. Autori predlažu da se ukupna dužina puta koji brod treba da prevali podeli na delove koji se utvrđuju tako, da na svakom od njih postoje konstantni uslovi plovidbe, ali i rizici. U većini slučajeva rizik dovodi do povećanja vremena stajanja tokom plovidbe. U cilju rešavanja navedenog zadatka optimizacije razrađena je metoda koja se zasniva na primeni modela „zahtev – rešenje“ i konstrukciji odgovarajućeg algoritma, pri čemu osnovu algoritma čini modeliranje mogućih rizika. Na kraju rada autori prikazuju rezultate realizacije predložene metode za optimizaciju potrošnje goriva i moguće uštede do kojih se dolazi pri radu jednog konkretnog broda tokom plovidbe na zadatoj liniji.

Istraživanja u vezi formiranja potiskivanih sastava koje čine potisnice malih dimenzija i nosivosti kao i prikaz sistema za aktiviranje mreže unutrašnjih plovnih puteva malih dimenzija prikazao je u svojoj doktorskoj tezi (Van Hasel 2011). Teza može, uslovno, da se podeli na dva dela: 1). Deo koji se odnosi na unutrašnje plovne puteve malih dimenzija na severozapadnom delu Evrope (Holandija, Belgija, Francuska), i 2). Deo koji se odnosi na modele za projektovanje brodova. Ovaj deo teze obuhvata definisanje oblika broda, proračun otpora pri plovidbi, proračun elemenata za ostvarenje propulzije broda, izbor snage pogonskih motora potiskivača (ili motornog teretnjaka), stabilitet broda i na kraju, cenu gradnje prema predloženim varijantama (sa ispitivanjem uticaja svakog od konstruktivnih elemenata broda na cenu gradnje). Teza se završava prikazom modela za proračun troškova transporta.

Predlog računске metode za preračunavanje veličine otpora broda u plitkoj vodi na otpor broda u dubokoj vodi izložili su u radu (Čolić i dr. 2012). Na osnovu istraživanja sprovedenih na Odseku za vodni saobraćaj i transport Saobraćajnog fakulteta u Beogradu predlaže se metoda kojom je moguće izvesti preračunavanje veličine otpora broda u dubokoj

vodi (R_∞) ukoliko je poznat otpor broda u plitkoj vodi (R_{pv}). Posle teorijskog opisa problema autori su prikazali praktičan primer u kojem je detaljno opisana procedura proračuna.

Jedan od predloga kojim se rešava pitanje optimizacije režima kretanja brodova izložila je u radu (Никулина 2012.), polazeći od pretpostavke da, efektivnost upravljanja složenim transportnim sistemima kao što je mreža unutrašnjih plovnih puteva koja objedinjuje različita transportna preduzeća, ima velikog uticaja kako za ekonomiju države, tako i transportnu dostupnost različitih regiona. Autorka naglašava da je upravljanje transportnim procesima zadatak koji se sastoji od mnogo nivoa, a koji se opisuju svojim osnovnim kvalitativnim pokazateljima od kojih su najznačajniji: obim transportnog rada, tarife za prevoz tereta, eksploatacioni troškovi pri transportu tereta, rokovi za dostavu tereta, jedinični troškovi i kapitalna ulaganja za gradnju objekata i plovnih sredstava. Pri tom, optimizacija režima kretanja broda neposredno na maršruti omogućava da se iskoriste postojeće rezerve u cilju povećanja ekonomičnosti rada njegovih pogonskih uređaja što, za posledicu ima smanjenje troškova eksploatacije. Na osnovu opisanog potrebno je odrediti algoritam raspodele vremena kretanja broda od luke otpreme do luke prijema po utvrđenim sektorima puta. Algoritam treba da predvidi ispunjenje sledećih uslova: $S = \sum_{i=1}^N S_i$ i $\tau = \sum_{i=1}^N \tau_i$, pri čemu

su S_i – dužina i -tog dela puta; τ_i – vreme kretanja broda na i -tom delu puta, $i = 1, 2, \dots, N$. U konačnom, rešava se važan zadatak eksploatacije – utvrđuje se norma potrošnje goriva za svako putovanje broda uzimajući u obzir uslove plovidbe na različitim delovima trase pri zadatom ukupnom vremenu plovidbe (τ).

Udžbenik čiji naslov je *Tehnologija vodnog saobraćaja*, deo II, *Tehnološki procesi rada brodova* autora (Škiljaica i Škiljaica 2012.) na jasan i pregledan način, u prvom delu knjige, izlaže osnovne karakteristike vodnog saobraćaja, podelu vodnog saobraćaja prema području plovidbe i transportne karakteristike robe. Posebna poglavlja udžbenika predstavljaju: tehnološki procesi rada brodova (sa osvrtom na opis transportnog procesa, tehnološke procese rada transportnih plovila i optimalno iskorišćenje nosivosti i prostornosti plovila), eksploatacioni pokazatelji rada brodova (pri čemu su nabrojani i opisani pokazatelji koji se koriste u vodnom transportu i načini njihovog određivanja), prevozna sposobnost brodova (sa prikazom načina i metoda za određivanje prevozne sposobnosti), troškovi u vodnom transportu (pri čemu su opisani opšti pojmovi o troškovima u vodnom transportu, proračun eksploatacionih troškova po jedinici transportnog rada i jedinici prevezene količine tereta), izbor tehnologije prevoženja i tipa plovila (sa prikazom metode za izbor tehnologije prevoženja i tipa plovila i postupkom za proračun upotrebne vrednosti transportnih plovila). Posebno je istaknut značaj određivanja eksploatacionih pokazatelja rada brodova merenjem parametara u realnim uslovima plovidbe.

Problem kretanja brodova smanjenom brzinom rešavao je u radu (Бибииков 2013.). Autor polazi od činjenice, koja je zasnovana na različitim izvorima, da se oko 30% ukupno nastalih troškova eksploatacije odnosi na troškove pogonskog goriva. Iz toga sledi da ušteda

goriva u toku rada brodova postaje jedan od prioritetnih pravaca za povećanje efektivnosti njihovog rada. U cilju operativnog proračuna brzine pri smanjenoj snazi pogonskih uređaja autor predlaže da se primeni približna zavisnost u obliku proporcije: $\frac{\Sigma N_{e0}}{\Sigma N_{ei}} = \frac{v_0^3}{v_i^3}$, gde su:

ΣN_{i0} ; ΣN_{e0} – ukupna projektovana snaga pogonskih motora i snaga koja se očekuje pri njenom smanjenju, v_0 ; v_i – brzine plovidbe broda, koje odgovaraju projektovanoj i brzini pri smanjenju snage pogonskih motora broda. Na osnovu izložene proporcije mogu da se izračunaju brzina plovidbe broda pri smanjenoj snazi pogonskih motora (v_i) i ukupna snaga pogonskih motora pri smanjenoj brzini plovidbe (ΣN_{e0}). Provera pouzdanosti metodologije izložena je u primeru, a ostvarena uz korišćenje konkretnih podataka i sprovedenih ispitivanja u realnim uslovima plovidbe za nekoliko tipova brodova. Rezultati eksperimenta, sa posebno istaknutom količinom goriva koja se uštedela na određenom sektoru plovnog puta, za brod koji poseduje 3 propulzivno-krmilarska kompleksa (motor-vratilo-propeler) i odgovarajuće preporuke prikazani su u radu grafički i tabelarno.

Ispitivanje uticaja dimenzija plovnog puta na oblik i glavne dimenzije potiskivanih sastava, a na bazi propulzivnih karakteristika brodova-potiskivača, izložili su u svom radu (Škiljaica i dr. 2013a). Rad se zasniva na određivanju graničnih dimenzija potiskivanih sastava, pri čemu je prethodno trebalo definisati dimenzije rečnog toka, ulazne podatke koji se odnose na potiskivani sastav; izlazne podatke koji definišu veličinu i oblik potiskivanog sastava. U proceduri proračuna pri plovidbi potiskivanih sastava izložena je metoda proračuna ugla zanošenja potiskivanog sastava pod uticajem hidrodinamičkih sila koje deluju na sastav u plitkoj vodi, a potom prikazan je postupak proračuna ugla zanošenja potiskivanog sastava pod uticajem brzine rečnog toka i brzine plovidbe sastava. Rezultati istraživanja prikazani su grafički i analitički.

Jedan od načina za utvrđivanje optimalne nosivosti i optimalne brzine potiskivanih sastava, zasnovan na eksperimentalna ispitivanja potiskivača i različitih oblika sastava, u svom radu izložili su (Škiljaica i Škiljaica 2013). Bazu rada čine eksperimenti koje je sprovedla Laboratorija za ispitivanje brodova i plovnih puteva Saobraćajnog fakulteta. Rad izlaže prikaz kako se utvrđuju optimalna nosivost i optimalna brzina plovidbe potiskivanih sastava pomoću radnih parametara pogonskih motora brodova-potiskivača. U radu je, takođe, prikazan popis najvažnijih radnih parametara broda-potiskivača koji mogu da se proračunaju posle obavljenih eksperimenata u realnim uslovima plovidbe.

SPLIN-metodu ekonomičnog upravljanja potrošnjom goriva na rečnim brodovima u radu opisali su (Caxapov i drugi 2014.). Autori polaze od pretpostavke da je rad brodova u uslovima konkurencije povezan sa konstantnim zahtevom za obezbeđenjem najpogodnijih varijanti raspodele resursa: radnih, proizvodnih, tehničkih, finansijskih i drugih. Kao važan tehnički resurs, kojim se opisuju realni rokovi pouzdane i bezbedne eksploatacije broda usvajaju se motoresurs pogonskih motora i resurs dizel-generatora. Stvarni resurs brodskih pogonskih motora u najvećoj meri određuje se na osnovu uslova njegove eksploatacije, koja

se odlikuje čestim izmenama režima tokom njegovog rada. Povećanje motoresursa može da bude postignuto na račun smanjenja potreba za gorivom i energijom, koji su neophodni za izvršenje transportnog rada, racionalno upravljanje snagom i održanje toplotnih režima, obezbeđujući smanjenje toplotnog naprežanja delova glavnih motora i dizel-generatora u svakom putovanju. Isto tako, minimizacija vremena plovidbe do luke prijema postiže se na kretanjem broda po svim delovima vodnog puta sa maksimalno dopuštenim brzinama te, prema tome, i odgovarajućim maksimalnim potrebama za gorivom tokom jednog putovanja. U uslovima tržišta trajanje plovidbe broda do krajnje tačke treba da se proračuna uz učešće postizanja zarade na račun smanjenja troškova a, pre svega, uštedom goriva. Metoda se sastoji iz sledećih delova: 1) Trasa kretanja broda deli se na n delova sa karakterističnim plovidbenim uslovima. 2) Za svaki deo trase utvrđuje se karakteristika trošenja goriva kao funkcija vremena kretanja. 3) Na osnovu utvrđenih parametara rešava se zadatak minimalno potrebne količine goriva u toku jednog putovanja $L(n, \tau) = \min \sum_{i=1}^n F(i)$, pri čemu je $F(i)$ –

karakteristika potrošnje goriva po delovima trase, uz uslov ispunjenosti uslova $S = \sum_{i=1}^n S(i)$ i

$\tau = \sum_{i=1}^n t(i)$ gde su S – ukupna dužina puta i τ – ukupno vreme plovidbe do luke prijema tereta.

Rezerve efikasnosti koje postoje tokom obavljanja transporta i koje je moguće ostvariti pri prevozu tereta opisuje u radu (Поачев 2014.). Autor polazi od činjenice da je razmatranje aktuelnog pitanja koje se odnosi na transportna preduzeća istovremeno pitanje racionalnog iskorišćenja postojećih rezervi u cilju smanjenja troškova eksploatacije. Poznato je, takođe, da rad u transportu nastupa u svojstvu glavnog oblika delatnosti i osnova je za utvrđivanje ukupne transportne ekonomije. Pri tom, efektivnost prevoza zavisi, u prvom redu, od troškova koji nastaju tokom rada i nivoa ukupno ostvarenog prihoda. Troškovi nastali prevozom tereta zavise od rastojanja na kojem se transport obavlja. Ukupni troškovi prevoza tereta mogu da se odrede na osnovu troškova nastalih tokom kretanja broda i troškova nastalih za vreme njegovih stajanja. Jedinični troškovi transportne proizvodnje računaju se iz odnosa ukupno ostvarenih troškova nastalih za vreme rada broda i veličine (obima) transportnog rada (izraženog na osnovu proizvoda prevezene količine tereta (t) i dužine transporta (km)). Značajne rezerve za smanjenje troškova transporta u poslednje vreme nalaze se u uštedama na držanju transportnih sredstava u toku eksploatacije što se, pre svega, odnosi na primenu novih vrsta goriva, uvođenje novih pogonskih uređaja s minimalnim potrebama za energijom, usavršavanje automatizacije upravljanja transportnim sredstvima uz istovremeno maksimalno moguće smanjenje članova posade na brodovima i radnika na opsluživanju. Određeni neiskorišćeni potencijal nalazi se i u smanjenju troškova za vreme stajanja, što podrazumeva optimizaciju vremena za robne operacije, čekanja na utovar/istovar, zadržavanje brodova u putu.

Utvrđivanje optimalne nosivosti potiskivanih sastava uz uslov postizanja najvećeg iskorišćenja sile propulzije broda-potiskivača izložili su u radu (Škiljaica i dr. 2014a). U radu, najpre, uspostavlja se jednakost između veličine ukupnog otpora potiskivanog sklopa (R_{tot}) pri uspostavljenoj brzini plovidbe i propulzivne sile koju stvaraju propeleri ugrađeni na brodu-potiskivaču (P_p). Prikazana je metodologija sprovođenja ispitivanja brodova i sklopova pri plovidbi u realnim uslovima na plovnom putu. Osim toga, prikazan je teoretski pristup konstrukciji dijagrama propulzivne sile i učinka propulzivne sile. Jedna od tačaka pri konstrukciji navedenih dijagrama dobija se onim delom eksperimenta kada brod-potiskivač gura „u mestu“ („u obalu“), tj. kada je brzina plovidbe sklopa $v=0$. Budući da se proračun propulzivne sile propelera zasniva, između ostalog, i na brzini plovidbe, računskim postupkom nije moguće odrediti njenu vrednost. Iz tog razloga autori predlažu da se tokom eksperimenta brod-potiskivač veže za koliko god može veliki broj potiskivanih teretnjaka, kada bi se kretao brzinom koja bi bila bliska nuli, tj. $v \approx 0$.

Kvalitet tonaže (k_T) kao kriterijum pri izboru nosivosti potiskivanog sastava obradili su u radu (Škiljaica i dr. 2014b). Autori navode da je kvalitet tonaže veoma važan parametar za ocenu transportne efektivnosti kojim se utvrđuje stepen korišćenja svih vrsta transportnih plovila. Kompleksnost ovog pokazatelja ogleda se u tome što on izražava veličinu prevezene količine tereta u odnosu na brzinu transporta. Autori navode nadalje, da je najpouzdaniji način određivanja kvaliteta tonaže metoda ispitivanja brodova u realnim uslovima plovidbe. U radu je izložen način izbora optimalne brzine plovidbe (v_{opt}) i optimalne nosivosti potiskivanog sastava ($Q_{e(opt)}$) na osnovu eksperimentalnih ispitivanja koja su izvršena sa brodom-potiskivačem snage pogonskih uređaja $\Sigma N_i = 3 \times 809,6$ kW.

Parametar transportne efektivnosti (rezultativni eksploatacioni pokazatelj rada brodova) kao kriterijum za izbor optimalne veličine potiskivanog sastava obradili su u radu (Škiljaica i dr. 2014c). Rad se zasniva na eksperimentalnim ispitivanjima jednog od najjačih brodova-potiskivača „Kumanovo“ (ukupne snage pogonskih motora, $\Sigma N_i = 3 \times 809,6$ kW) sa različito komponovanim potiskivanim sastavima. U radu su opisani najvažniji eksploatacioni pokazatelji na osnovu kojih se pristupa oceni kvaliteta rada jednog broda, i to: statičko opterećenje pogonskih motora (p , t/kW), koeficijent iskorišćenja nosivosti (ϵ , t/tn) i parametar transportne efektivnosti (P , tkm/kWh). Navedeni eksploatacioni pokazatelji izračunati su za svaki od ispitivanih sklopova na bazi izmerenih brojeva obrtaja i snaga na propelerskim vratilima i brzine plovidbe u odnosu na vodu. Rezultat rada prikazan je grafički i analitički, i to u obliku promene ukupne nosivosti sastava, $\Sigma Q_e = f(v)$, promene statičkog opterećenja pogonskih motora, $p = f(v)$ i parametra transportne efektivnosti $P = f(v)$.

Problemom celishodnosti korišćenja metodologije kojom se vrši normiranje energetske efikasnosti u rečnom transportu bavili su se (Платов i dr. 2015.). U radu autori naglašavaju problem normiranja energetske efikasnosti rečnih brodova budući da u strukturi njihovih troškova eksploatacije više od 50% pripada upravo na pogonsko gorivo. Suštinu metodologije čini njen bazni element kojeg čini model broskog pogonskog i propulzivnog

kompleksa koji omogućava da se, na osnovu podataka o brodu, pogonskim uređajima i uslovima plovidbe, utvrde propellerske i granične karaktersitike. Sledeći element razmatranog principa je određivanje metodologije za optimizaciju režima kretanja broda, pri čemu treba da se utvrdi izbor takvih brzina plovidbe na elementarnim delovima puta koji se odlikuju različitim dubinama i brzinama rečnog toka, kako bi ukupna veličina potrošenog goriva bila minimalna pri zadanom ukupnom vremenu plovidbe. Budući da je vreme plovidbe promenljivo, ne mogu da se odrede optimalne norme trajanja kretanja u opštem slučaju, zbog čega ih je potrebno izračunati u svakom putovanju ponaosob. Konačni cilj iskorišćenja tog kriterijuma je minimizacija specifične potrošnje goriva g_B koja se računa iz izraza $g_B = \frac{G}{N_e}$,

pri čemu su G – ukupna potrošnja goriva na čas a N_e – efektivna snaga na vratilu pogonskog motora. Zbog preglednosti u radu je prikazan primer proračuna indeksa energetske efikasnosti za brod koji radi na određenoj relaciji transporta za dve različite dubine (5,0 i 8,0 m) kada je brzina rečnog toka jednaka nuli i za dve brzine plovidbe (12,0 i 18,0 km/č).

Proceduru za proračun optimalne nosivosti potiskivanih sastava zasnovanu na merenjima parametara u realnim uslovima plovidbe brodova-potiskivača izložili su u radu (Škiljaica i dr. 2015.). Procedura se oslanja na metode proračuna propulzivne sile propelera (F_T) smeštenog u dizni (sapnici) broda-potiskivača. U radu su izloženi i uslovi u pogledu dubine koje mora da ispuni plovni put neposredno pre početka eksperimenta. Posebno treba naglasiti, da su ispitivani potiskivani sklopovi komponovani od potiskivanih teretnjaka različitih dimenzija i nosivosti. Osim potiskivanih teretnjaka, u oblikovanju sklopova učestvovali su i tegljeni teretnjaci različitih nosivosti, što u mnogome otežava proceduru sprovođenja eksperimenta i potonje proračune. U radu je naznačen postupak za proračun koeficijenta oblika sastava (k_S), čija veličina značajno odstupa od realnih vrednosti kada se radi sa sastavima koji sadrže i tegljene teretnjake.

Proceduru za upoređenje sinhronizacije rada između pogonskih motora brodova-potiskivača i njihovih propellerskih vratila opisali su u radu (Škiljaica i Škiljaica 2015). Posle iznošenja teoretske osnove, autori su izložili rezultate dobijene na osnovu izvedenih eksperimenata. Eksperimentima su ispitivane propulzivne karakteristike broda-potiskivača koji je radio u sklopu sa četiri različita oblika potiskivanih sastava. Tokom eksperimenta mereni su broj obrtaja propellerskih vratila i snaga predata na propeler svakog od vratila. Istovremeno, sa merenjima broja obrtaja i snage na vratilima, hidrometrijskim krilom, merena je brzina plovidbe u odnosu na vodu (u mirnoj vodi). Neposredno pre eksperimenta utvrđena je eksploataciona nosivost svakog od potiskivanih teretnjaka koji su učestvovali u eksperimentu. Uporedni rezultati kojima se ocenjuje sinhronizacija rada između pogonskih motora i propelera prikazani su na očigledan način-grafički i analitički.

Postupak za proračun koeficijenta oblika sastava (k_S), i na osnovu njega upoređivanje potiskivanih sastava koje čine potiskivani teretnjaci različitih deplsmanskih oblika izložili su u radu (Škiljaica i Škiljaica 2016a). U radu su izloženi postupci za proračun ukupnog otpora

potiskivanih sklopova (R_{tot}), za proračun samo potiskivanih teretnja koji čine potiskivani sastav (R_c), te na osnovu ovih vrednosti prikazan je postupak za proračun koeficijenta oblika sastava. Izračunate vrednosti koeficijenta identičnih oblika sastava u funkciji brzine plovidbe, $k_S = f(v)$, u mirnoj vodi za različite deplasmane potiskivanih teretnjaka izloženi su grafičkom obliku.

Istraživanja vezana za plovidbene karakteristike Dunava na sektoru Mohovskog kanala opisali su u radu (Škiljaica i Škiljaica 2016b). U radu je prikazan način proračuna stvarne dubine vode u plovnom putu Mohovskog kanala. Prognoza dubine vode, a sa njom i promena veličine gaza brodova, obrađena je primenom metoda matematičke statistike. U radu utvrđene su krive promene najvećih vodostaja (i gaženja), srednjih vodostaja (i gaženja) i minimalnih vodostaja (i gaženja) tokom jedne godine. Osnovu za navedene proračune čine podaci o vodostajima izmerene na vodomernoj stanici Vukovar u periodu od 01.januara.1976. do 31.decembra.2013. godine.

4 EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA IZGRAĐENIH BRODOVA U REALNIM USLOVIMA NA PLOVNOM PUTU

4.1 Opšta razmatranja o eksperimentalnim ispitivanjima izgrađenih brodova potiskivača

Gradnja broda, po pravilu, završava se posebnim ispitivanjima već izgrađenog broda. Cilj sprovođenja ovih ispitivanja je da se odrede stvarne plovidbene osobenosti broda, kao i da se utvrdi da li ove osobenosti odgovaraju onima koje su projektnom dokumentacijom predviđene a sa brodogradilištem ugovorom utvrđene. Budući da se ova ispitivanja rade sa već postojećim brodovima isključena je svaka promena bilo koje od karakteristika broda. Osim toga, ova ispitivanja zahtevaju veliku složenost organizacije i vremena izvođenja te ih je iz tog razloga potrebno vrlo pažljivo planirati.

Eksperimentalna ispitivanja izgrađenih brodova obavljaju se na unapred utvrđenom sektoru plovnog puta, na tzv. *mernoj stazi*, koja mora da ispuni određene uslove. „Na unutrašnjim plovnim putevima dužina merne staze treba da iznosi najmanje dva kilometra, što mora da bude jasno obeleženo upadljivim vizirima na kopnu – kilometarskim tablama na obali reke. Osim toga, merna staza mora da ispunjava uslov ujednačenog uzdužnog i poprečnog profila. Širina takvih deonica plovnog puta trebalo bi da bude dovoljna da plovilo koje se ispituje može da obavi plovidbu u jednom smeru bez ometanja plovidbe brodova koji dolaze iz suprotnog smera. Takođe, neophodno je da se na mernoj stazi poznaju plovidbeni, hidrološki i meteorološki uslovi. Po mogućnosti merna staza treba da bude u pravcu i da ne bude izložena dejstvu vetra“ (Radonjić 2014, str. 20).

Dubina vode na delu merne staze na unutrašnjim plovnim putevima na kojima se odvijaju eksperimentalna ispitivanja utvrđuje se na bazi postojećih kriterijuma, i to:

- kriterijumi Анфимов, В.Н. i drugi (1974.)

$$\left. \begin{aligned} h_{\min} &= 6 \cdot T \\ h_{\min} &= \frac{4 \cdot v^2}{g} \end{aligned} \right\} \quad 4.1$$

- kriterijumi NIIVT² Ruske federacije (Анфимов 1978.):

$$\left. \begin{aligned} \frac{h}{T} &\geq 7; \\ \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}} &< 0,5 \end{aligned} \right\} \quad 4.2$$

gde su:

h – dubina vode na mernoj stazi, (m)

² NIIVT – Naučno-istraživački institut vodnog transporta, Moskva

h_{min} – minimalna dubina vode na mernoj stazi, (m)

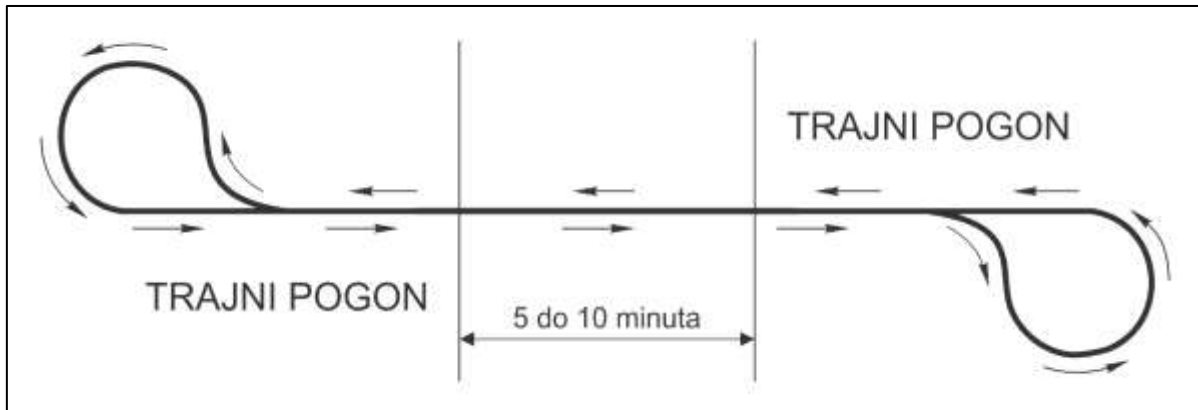
T – gaženje broda odnosno potisnica u potiskivanom sastavu (m)

g – gravitaciona konstanta zemlje (m/s^2)

v – brzina plovidbe u mirnoj vodi (m/s)

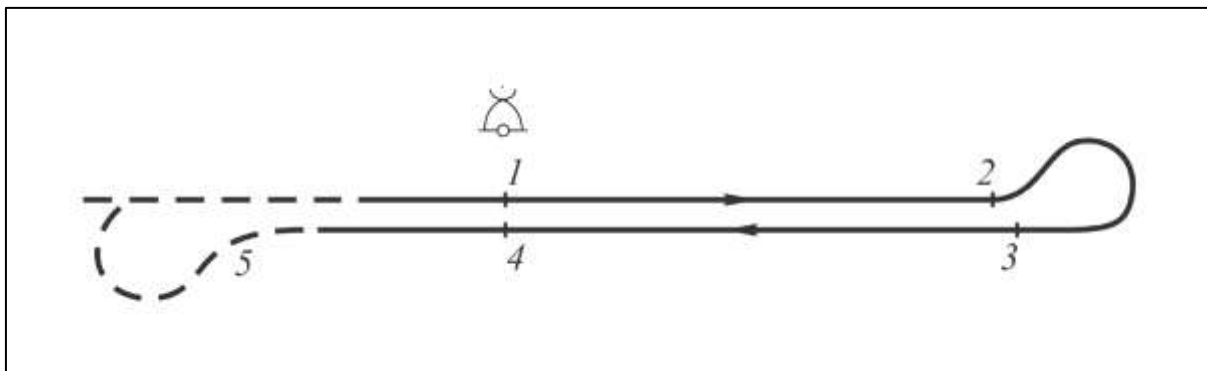
Za obavljanje eksperimenata moraju da budu ispunjena oba uslova sadržana u dva izraza 4.1 i 4.2.

Slike 4.1 i 4.2 prikazuju izgled merne staze i kretanje broda po njoj.



Slika 4.1 Putanja broda tokom sprovođenja eksperimentalnih ispitivanja (Izvor: Van Den Boom i dr. 2006.)

Eksperiment se vrši na središnjem delu merne staze pri trajnom pogonu u minimalnom trajanju 5 do 10 minuta. Na levom i desnom kraju merne staze vrši se zaokret potiskivanog sklopa. „Pre početka eksperimenta potiskivani sklop se pozicionira tako da trajanje početka merenja i udaljenost od merne staze na kojoj se obavlja merenje budu dovoljno vremenski dugački kako bi se postiglo najveće dozvoljeno punjenje za trajni pogon i ostala niža opterećenja jednog ili više pogonskih motora“ (Radonjić 2014, str. 30).



Slika 4.2 Putanja broda tokom sprovođenja eksperimentalnih ispitivanja (Izvor: Цурбан 1977)

Po metodi koju opisuje (Цурбан 1977) potiskivani sklop nije u obavezi da se kreće u oba smera po istoj stazi već po stazama koje su na bliskom rastojanju jedna od druge. Slika 4.2 predstavlja raspored tačaka koje označavaju pozicije tokom obavljanja eksperimenta: 1. Pozicija početka eksperimenta; 2. pozicija završetka eksperimenta; na delu od tačke 2 do tačke 3 obavlja se zaokret potiskivanog sklopa i postavljanje u približno identični kurs; od

takče 3 do tačke 4 brzina potiskivanog sklopa dostiže zadatu vrednost, a eksperiment završava u tački 4; od pozicije 4 do pozicije 5 sledi usporavanje potiskivanog sklopa, njegov okret i postavljanje u kurs za novi eksperiment. Pozicije 1 i 4 određuju se u odnosu na plovidbenu oznaku-markaciju. Slična metoda ispitivanja na mernoj stazi opisana je i u (Moland i drugi 2013.)

Preporuke Dunavske komisije koje se odnose na plovidbene osobine potiskivačkih sklopova usmerene su na povećanje bezbednosti plovidbe na unutrašnjim plovnim putevima. Tako, na primer, brodovi-potiskivači treba uvek da imaju dovoljnu snagu pogonskih uređaja kako bi izveli potreban manevar kretanja, bez obzira na smer plovidbe (uzvodno ili nizvodno). „Hidrološki i meteorološki uslovi koji vladaju tokom sprovođenja eksperimenta na mernoj deonici, a koje je potrebno zabeležiti, obuhvataju:

- lokacija merne deonice (od km.....do km.....);
- dužina merne deonice;
- datum (dan, mesec, godina) i tačno vreme izvršenih merenja na mernoj stazi;
- vremenske prilike tokom eksperimenta (vidljivost, smer i brzina vetra),
- vodostaj reke, izmeren na najbližoj vodomernoj stanici;
- srednja brzina rečnog toka;
- srednja širina plovnog puta;
- srednja dubina plovnog puta“ (Radonjić 2014, str. 24).

Oblik i veličina potiskivanih sklopova (broj potisnica u sastavu) sa kojima se obavljaju eksperimentalna ispitivanja određuju se na osnovu energetske i propulzivne karakteristike broda-potiskivača kao i osobina odabranog sektora plovnog puta. Princip izbora oblika i veličine potiskivanog sklopa je taj, da sklop bude najveći dopušteni u odabranom sektoru na kojem će se izvoditi eksperiment. Tokom obavljanja eksperimenta nije dozvoljeno formiranje sklopova čije su dimenzije veće od predviđenih za taj sektor. Međutim, tokom ispitivanja, po pravilu, eksperimenti se sprovode i sa sklopovima koji sadrže i manji broj potisnica od najvećeg dozvoljenog broja potisnica predviđenih za taj sektor.

„Potisnice, od kojih su sačinjeni potiskivani sklopovi, treba da budu istog tipa, istovetnih dimenzija i da budu natovarene do iste veličine gaza. Glavne karakteristike sklopa određuju se na osnovu sledećih karakteristika:

- opis vrste i oznake ispitivanih sklopova (npr. $P+1+1$; $P+2+2$; $P+3+3$; i td);
- najveća dužina i najveća širina potiskivanog sklopa;
- deplasman potiskivanog sklopa (D_{ski}), ukupna registrovana nosivost (ΣQ_r) i ukupna eksploataciona nosivost (ΣQ_e) svih potiskivanih teretnjaka u sklopu;
- glavne dimenzije potiskivanih teretnjaka koje čine potiskivani sklop (L_{kvl} , B_{kvl} , T_{max} , D_m , Q_r);
- glavne (konstruktivne) dimenzije broda-potiskivača (L_{kvl} , B_{kvl} , T_{max} , D_m)“ (Radonjić 2014, str. 25).

Pre početka eksperimenta obavljaju se pripreme, određuju parametri rada pogonskih uređaja broda-potiskivača koji će se ispitivati, kao i podaci koje treba utvrditi proračunima. Priprema merenja obuhvata (Economic commission for Europe, 2006.):

- dužina merne deonice (ne duža od 2 km);
- režim najvećeg punjenja pogonskih motora za trajni pogon i nekoliko manjih režima;
- kako bi se održao stabilni kurs kretanja krmila broda-potiskivača tokom ispitivanja ne smeju biti zakrenuta za više od $\pm 5^\circ$.

„Parametri rada brodova koje treba utvrditi tokom eksperimenta su:

- dužina pređenog puta;
- vreme koje je potrebno da se pređe merna staza;
- srednji broj obrtaja vratila pogonskog (pogonskih) uređaja“ (Radonjić 2014, str. 26).

Podaci koji se proračunavaju na osnovu izmerenih parametara su:

- tehnička brzina pri uzvodnoj plovidbi;
- brzina potiskivanog sklopa u odnosu na vodu pri uzvodnoj plovidbi;
- tehnička brzina pri nizvodnoj plovidbi;
- brzina potiskivanog sklopa u odnosu na vodu pri nizvodnoj plovidbi.

Na taj način, tehnička brzina svakog od ispitivanih sklopova meri se najmanje dva puta: uzvodno i nizvodno.

Brzina rečnog toka (Δv) na delu merne staze na kojoj se obavlja eksperiment proračunava se pomoću izraza 4.3

$$\Delta v = \frac{\downarrow v_t - \uparrow v_t}{2} \text{ [km/h]} \quad 4.3$$

gde su:

v_t – izmerena tehnička brzina broda (brzina odmicanja broda u odnosu na unapred utvrđenu tačku na obali), km/h;

$\downarrow v_t$ – izmerena tehnička brzina broda u nizvodnoj plovidbi, km/h;

$\uparrow v_t$ – izmerena tehnička brzina broda u uzvodnoj plovidbi, km/h.

Brzina broda u odnosu na vodu proračunava se (približno) prema izrazu

► ukoliko se plovidba broda odvija uzvdom smeru:

$$\uparrow v = \uparrow v_t - \Delta v \text{ [km/h]} \quad 4.4$$

► ukoliko se plovidba broda odvija u nizvodnom smeru:

$$\downarrow v = \downarrow v_t + \Delta v \text{ (km/h)} \quad 4.5$$

Na osnovu izraza 4.4 i 4.5 utvrđuje se izraz za proračun brzine plovidbe broda u mirnoj vodi (v_{pl}):

$$v_{pl} = \frac{\uparrow v + \downarrow v}{2} \text{ [km/h]} \quad 4.6$$

Priprema eksperimentalnih ispitivanja

Eksperimentalnim ispitivanjima tek izgrađenih brodova rukovodi lice koje je imenovano od strane brodogradilišta. Ovo lice je odgovorno za sve faze eksperimenta, uvek se nalazi na komandnom mostu broda i tesno saraduje se zapovednikom ili predstavnikom vlasnika broda. Čitav tok eksperimenta, sa svim neophodnim detaljima, upisuje se u brodski dnevnik. Rukovodilac ispitivanja usklađuje rad između posade broda, lica koja izvode eksperimentalna ispitivanja i predstavnika vlasnika broda.

Prema pravilima (ITTC 2002.) tim stručnjaka koji izvode eksperimentalna ispitivanja odgovoran je za:

- „precizan rad i održavanje opreme pomoću koje se izvodi eksperimentalno ispitivanje;
- vođenje dnevnika mernih instrumenata i uređaja tokom njihovog postavljanja i izvođenja merenja;
- upoznavanje zapovednika broda ili predstavnika vlasnika broda sa preliminarnim rezultatima;
- izrada izveštaja sa ispitivanja u skladu sa ugovorom koji je utvrđen između vlasnika broda i brodogradilišta.

Tokom eksperimentalnih ispitivanja posada broda odgovorna je za:

- *popunjavanje broskog dnevnika u delu koji se odnosi na glavne parametre propulzije utvrđene tokom merenja na svaki pun sat;*
- *utvrđivanje hidroloških i meteoroloških uslova i eksploatacionoj nosivosti broda u trenutku merenja“.* (Radonjić 2014, str. 30).

Procedura sprovođenja eksperimentalnih ispitivanja

Procedura sprovođenja eksperimentalnih ispitivanja sastoji se od sledećih delova:

- ▶ priprema ispitivanja;
- ▶ proces ispitivanja;
- ▶ završetak ispitivanja i izrada izveštaja.

Priprema ispitivanja sadrži:

- utvrđivanje trenutne meteorološke situacije i vremenske prognoze;
- utvrđivanje temperature vode;
- očitavanje marki gaženja na brodu sa kojim se sprovodi eksperiment;
- utvrđivanje deplasmata broda;
- montaža opreme i mernih uređaja i instrumenata;
- provera pravilnosti montaže;
- očitavanje nultih tačaka na uređajima i instrumentima.

Sva ispitivanja tokom eksperimenta planiraju se tako da budu završena u toku dnevne svetlosti. U toku eksperimenta povremeno se proverava rad pogonskog (pogonskih) motora kako bi se otklonile moguće nedoslednosti. Za vreme eksperimenta položaj ručice kojom se

određuje stepen punjenja motora mora uvek da se nalazi u onom položaju u koji je postavio rukovodilac merenja. Osim toga, dokle god traje eksperiment treba, ukoliko je to moguće, izbegavati menjanje režima rada motora, kao i preketanje.

Za potrebe brodarskih kompanija u Srbiji vršene su dve vrste eksperimenata u realnim uslovima plovidbe, i to:

1. ispitivanje otpora već izgrađenih brodova,
2. ispitivanja propulzivnih karakteristika brodova.

Istovremeno sa ispitivanjem propulzivnih karakteristika brodova, u pojedinim slučajevima a prema ugovoru o ispitivanjima, obavljana su, takođe, merenja potrošnje goriva pogonskih motora, merenja vibracije i buke.

Ispitivanja veličine otpora izgrađenih brodova

Postupak ispitivanja otpora već izgrađenih brodova po kojem eksperiment izvodi Laboratorija za ispitivanje brodova i plovnih puteva Saobraćajnog fakulteta Univerziteta u Beogradu, sadrži sledeće faze (Čolić i Vukadinović 2004):

► Precizno definisanje zadatka, i to:

1. Opitom tegljenja odrediti otpore teretnjaka u precizno definisanoj oblasti brzina plovidbe, i to za slučajeve:
 - a) Potpuno natovarenog teretnjaka (stepen iskorišćenja nosivosti $\varepsilon=1,0$) pri plovidbi u mirnoj vodi i po dovoljno dubokom i širokom plovnom putu;
 - b) Potpuno natovarenog teretnjaka ($\varepsilon=1,0$) pri plovidbi u mirnoj vodi ograničene dubine ($h=5$ do 6 m) ali dovoljne širine plovnog puta;
 - c) Natovarenog do približno polovine dozvoljenog gaza ($T/2$) pri plovidbi u mirnoj vodi po dovoljno dubokom i širokom plovnom putu,
 - d) Praznog teretnjaka ($\varepsilon=0$) pri plovidbi u uslovima kao pod tačkom c).
2. Ispitati uticaj propelerske struje tegljača na pojavu dodatnog otpora teretnjaka.
3. Odrediti koeficijent ostalog otpora teretnjaka (C_0) za slučaj $\varepsilon=1,0$.
4. Uporediti izmerene otpore teretnjaka sa otporima teretnjaka sličnih po dimenzijama, deplasmanu i nosivosti.

► Utvrđivanje osnovnih podataka o brodu kojem se merenjem ispituje veličina otpora, pod kojima se podrazumevaju: dužina i širina na konstruktivnoj vodnoj liniji (L_{kvl} ; B_{kvl}), najveći i najmanji gaz (T_{max} ; T_0), istisnina (V), koeficijent punoće vodne linije (α), koeficijent punoće istisnine (δ), okvašena površina trupa (S), utovrena količina tereta (Q_e).

► Definisavanje merne staze. Obavlja se na način da je na odabranom sektoru reke ravnomeran tok vode, dovoljna dubina i širina. Ovo stoga kako bi se izbegla pojava dodatnog otpora zbog nedovoljne dubine (blizine dna) i nedovoljne širine. Osim toga, na obalama treba da postoje jasni orijentiri koji omogućavaju pravilno održavanje kursa prilikom prolaska kroz mernu stazu.

► Instrumenti i uređaji. Prilikom ispitivanja otpora broda u realnim uslovima na plovnom putu koriste se: hidraulički dinamometar, sa sposobnošću merenja vučne sile na kuki tegljača koja odgovara postavljenom zadatku; hidrauličko krilo (hidrometrijsko krilo) za merenje brzine kretanja teretnjaka u odnosu na vodu; sekundni časovnici; ultrazvučni dubinomeri za snimanje dubine vode na mernoj stazi; merač jačine i pravca vetra.

Eksperiment merenja otpora sprovodi se tegljenjem teretnjaka od strane broda-tegljača koji raspolaže dovoljnom snagom pogonskih motora kako bi se postigle ugovorene brzine plovidbe. Osim toga, dužina vučnog užeta, kojim je teretnjak vezan za brod-tegljač, mora da bude što veća kako bi se izbegao uticaj mlaza propelera na ukupno izmereni otpor. Tokom rada sa brodovima naših brodarskih kompanija dužina vučnog užeta iznosi 120 do 150 m.

Ispitivanja propulzivnih karakteristika brodova

Postupak ispitivanja propulzivnih karakteristika brodova-potiskivača po kojem eksperiment izvode Laboratorija za ispitivanje brodova i plovnih puteva Saobraćajnog fakulteta Univerziteta u Beogradu i Brodarski institut iz Zagreba sadrži sledeće faze:

► Precizno definisanje zadatka, i to:

Za motorni potiskivač i potiskivane sastave teretnjaka unapred definisanih oblika izvršiti sledeća ispitivanja:

- 1). Odrediti snagu pogonskih motora potiskivača pri različitim punjenjima motora, odnosno pri različitim brojevima obrtaja;
- 2). Odrediti brzinu plovidbe definisanih sklopova u odnosu na vodu, a po mogućnosti i u odnosu na obalu;
- 3). Indicanjem proveriti rad pogonskih motora;
- 4). Uraditi potrebne analize i odrediti propulzivne i potiskujuće karakteristike motornog potiskivača za zadate sastave.

► Utvrđivanje osnovnih podataka o brodu-potiskivaču i potiskivanim teretnjacima sa kojima se izvodi eksperiment, pod kojima se podrazumevaju: dužina i širina na konstruktivnoj vodnoj liniji (L_{kvl} ; B_{kvl}), najveći i najmanji gaz (T_{max} ; T_0), istisnina (V), koeficijent punoće vodne linije (α), koeficijent punoće istisnine (δ), okvašena površina trupa (S), utovrena količina tereta (Q_e), ugrađena snaga pogonskih motora (N_i).

► Utvrđuje se vrsta čelika od kojeg je napravljeno propelersko vratilo kako bi se odredio modul smicanja materijala.

► Potrošnja goriva pogonskih motora utvrđuje se pomoću odgovarajućih mernih posuda kojima je prethodno pouzdano utvrđena zapremina. Kako bi se utvrdila potrošnja goriva potrebno je poznavanje osnovnih hemijskih karakteristika goriva.

► Definisanje merne staze. Obavlja se na način da je na odabranom sektoru reke ravnomeran tok vode, dovoljna dubina i širina. Ovo stoga kako bi se izbegla pojava dodatnog otpora zbog nedovoljne dubine (blizine dna) i nedovoljne širine. Osim toga, na obalama treba da postoje jasni orijentiri koji omogućavaju pravilno održavanje kursa prilikom prolaska kroz mernu stazu.

► Instrumenti i uređaji. Prilikom ispitivanja propulzivnih karakteristika broda u realnim uslovima na plovnom putu koriste se: torziometar za merenje snage na propelerskim vratilima; elektronski brojač obrtaja propelerskog vratila; indikator za merenje pritiska i ekspanzije u motorima; hidrauličko krilo (hidrometrijsko krilo) za merenje brzine kretanja potiskivanih sklopova u odnosu na vodu; sekundni časovnici; ultrazvučni dubinomeri za snimanje dubine vode na mernoj stazi; merač jačine i pravca vetra.

4.2 Vrste eksperimentalnih ispitivanja izgrađenih brodova u realnim uslovima na plovnom putu

Kao objektivni kriterijumi za utvrđivanje pravilnosti teorijskih proračuna pri određivanju plovidbenih karakteristika brodova služe ispitivanja u realnim uslovima na plovnom putu, koja se sprovode u cilju:

- određivanja vučne sile (brodova-tegljača);
 - određivanja sile potiskivanja sastava (brodova-potiskivača);
 - određivanja brzine plovidbe u zavisnosti od veličine gaženja i režima rada brodskog energetskog postrojenja;
 - utvrđivanja uticaja uslova eksploatacije na propulzivna i brzinska svojstva broda;
 - dobijanja tačnih podataka u cilju pravilnog planiranja rada brodova;
- itd.

Ispitivanjima obavezno se podvrgava svaki novoizgrađeni brod, a posebno pažljivo ova ispitivanja se sprovode na prvim brodovima iz serije.

U skladu sa postavljenim zadacima, ispitivanja potisnih karakteristika brodova mogu da se podele u tri grupe.

U prvu grupu spadaju **dinamometrijska ispitivanja** i **ispitivanja brzine** koja se najčešće rade u cilju pravilnog planiranja rada brodova, pri čemu se dinamometrijsko ispitivanje nesamohodnih brodova ili sastava sprovode u cilju određivanja otpora vode pri njihovom kretanju za različite veličine gaženja, brzine plovidbe i uslove eksploatacije. Tokom procesa ovih ispitivanja utvrđuju se *brzina kretanja u odnosu na vodu, sila potiskivanja sastava od strane potiskivača, broj obrtaja propelera, dubina i širina plovnog puta, brzina i smer vetra*. Neposredno pre početka ispitivanja očitava se veličina eksploatacionog gaženja broda (brodova), kao i dimenzije plovnog puta u cilju tačnog određivanja njegove dubine.

Merenje navedenih veličina ostvaruje se za tri do pet režima rada pogonskih motora broda i to, obično, za režime 25-50-75-100% nominalne snage. Pri svakom režimu rada motora obavlja se po četiri do pet merenja njegovih parametara sa intervalom od 2÷3 minuta. Važno je napomenuti da početku merenja, pri svakom režimu kretanja, treba pristupiti samo po uspostavljenoj brzini plovidbe.

U posebnim slučajevima, paralelno sa navedenim ispitivanjima, snimaju se indikatorski dijagrami ili se utvrđuje snaga pogonskih motora pomoću torziometara, kao i merenje potrošnje goriva.

Drugu grupu čine *dinamometrijska ispitivanja* sa preciznim utvrđivanjem trajanja pojedinih *elemenata obrta* brodova i sastava, koja se sprovode u cilju izučavanja njihovog rada u toku svakog putovanja. Na osnovu ovih ispitivanja pristupa se tačnijem određivanju tehničkih normi za brzine i vremena putovanja, norme opterećenja brodova, ustanovljavaju se gubici i priraštaji brzine kretanja brodova i sastava i ukupno utrošeno vreme na obavljanju pojedinih transportnih operacija i td. Tokom ovih ispitivanja sistematski se mere brzine plovidbe (u odnosu na vodu i u odnosu na obalu-tzv. tehnička brzina plovidbe), vučna odnosno potisna sila, broj obrtaja propelera, dubina u plovnom putu, promene režima rada pogonskih motora i režima kretanja. Osim ovih veličina ispitivači zapisuju sve važnije činioce koji imaju uticaja na vreme i brzinu kretanja.

U treću grupu spadaju *specijalna (posebna) dinamometrijska* ispitivanja, koja se sprovode u cilju izučavanja uticaja pojedinih elemenata pogonskih motora, dimenzija plovnog puta, dimenzije brodova i sastava, oblika sastava i drugih uslova na vučna (potisna) i brzinska svojstva brodova. Na osnovu specijalnih ispitivanja izrađuju se posebne preporuke u cilju poboljšanja vučnih, potisnih i brzinskih svojstava brodova, razrađuju se dodatna uputstva u cilju preciznijeg normiranja i planiranja rada brodova, utvrđuju se empirijski izrazi za proračun vučnih ili potisnih karakteristika, proveravaju se rezultati sprovedenih naučnih istraživanja.

Merenje navedenih veličina i parametara izvode se pomoću različitih uređaja i pribora od kojih se jedan deo nalazi na brodu, dok se drugi deo postavlja posebno i pre ispitivanja od strane članova tima koji sprovodi ispitivanja. Za sva merenja, a neposredno pre početka ispitivanja, neophodno je da se pripreme obrasci, tabele, uputstva. Ispitivanjima treba da prethodi kontrolno merenje u cilju provere ispravnosti pribora, ali i usklađenosti rada članova tima koji izvodi ispitivanje.

U dosadašnjem periodu eksploatacije flote, cilj sprovođenja torziometrijskih eksperimentalnih ispitivanja, koja su se obavljala na brodovima-potiskivačima kada su oni radili u sklopu sa potiskivanim sastavima različitih oblika i nosivosti, bili su dvojaki, i to:

1. Utvrđivanje propulzivnih svojstava broda, odnosno, utvrđivanje stepena usaglašenosti rada pogonskog motora broda sa efektima koje postiže propulzivni kompleks propeler-sapnica. Korišćenjem navedenih uređaja i opreme tokom eksperimenta na svakom propelerskom vratilu, utvrđuju se: snaga predata propeleru (N_p), broj obrtaja propelerskog

vratila (n) i brzina plovidbe u odnosu na vodu (v). Rezultati dobijeni eksperimentom upoređuju se sa podacima sa probnog stola za svaki od pogonskih motora ugrađenih u brod-potiskivač i utvrđuju moguća odstupanja.

2. Proračun prevoznog učinka i drugih tehničkih i eksploatacionih pokazatelja rada broda pri radu sa potiskivanim sastavima različitih oblika i nosivosti. Proračunate vrednosti eksploatacionih pokazatelja koje postiže brod-potiskivač u realnim uslovima plovidbe imaju izuzetnu važnost pri utvrđivanju stvarnog stanja i mogućnosti broda u datim uslovima.

4.3 Razlike u uslovima sprovođenja eksperimenata sa modelima potiskivača i potisnica i izgrađenim brodovima

Tabela 4.1 prikazuje uslove pod kojima se odvijaju eksperimenti sa modelima potiskivanih teretnjaka u istraživačkim bazenima i uslovi pod kojima se sprovode eksperimenti sa potiskivanim teretnjacima u realnoj plovidbi na mernoj stazi na Dunavu.

Tabela 4.1 Uslovi odvijanja eksperimenata (Izvor: autor)

R.br.	Uslovi eksperimenta u istraživačkim bazenima	Uslovi eksperimenta u realnim uslovima plovidbe na Dunavu
1	nepromenljivost poprečnog profila bazena	promenljivost poprečnog profila rečnog korita na mernoj stazi
2	mirna voda na mernoj stazi u bazenu	promenljiva brzina rečnog toka u profilima pri jednakom protoku (Q), m^3/s
3	konstantna dubina (h) na mernoj stazi u bazenu	promenljiva dubina (h) na mernoj stazi
4	konstantan odnos dubine i gaza h/T	promenljiv odnos dubine i gaza h/T
5	nepromenljiva brzina kretanja modela u bazenu	promenljiva brzina kretanja zbog delovanja rečnog toka
6	model teretnjaka izrađen precizno, bez deformacija trupa ³	evidentne deformacije po dnu i limovima bokova potiskivanih teretnjaka
7	modeli se grade sa potpuno glatkim zidovima	potiskivani teretnjaci često imaju obraslost biljnim i životinjskim svetom (alge, školjke i dr.)
8	svi modeli u potiskivanom sastavu imaju jednako gaženje	potiskivani teretnjaci u toku eksperimenta najčešće imaju različita gaženja
9	svi modeli koji čine potiskivani sastav imaju identični oblik i geometrijske karakteristike	potiskivani sastavi u realnim uslovima često sadrže potiskivane teretnjake različitih oblika i dimenzija, kao i tegljene teretnjake.

4.4 Merni pribor i uređaji

Dinamometar. Vučna sila na kuki brodova-tegljača utvrđuje se dinamometrom ispitivanjima koja se sprovode na mestu i u plovidbi. Tokom ispitivanja na mestu određuje se

³ deformacije trupa imaju direktan odraz na koeficijent trenja pri proračunu ukupnog otpora

najveća vučna sila. Takva ispitivanja obavljaju se u zalivima, rečnim rukavcima, bazenskim delovima luke i drugim sličnim mirnim mestima na kojima nema delovanja rečnog toka (tj. na takvom delu plovnog puta gde je brzina rečnog toka približno jednaka nuli) i pri dubini koja nije manja od vrednosti dvostrukog gaženja broda-tegljača. Merenje vučne sile na kuki tegljača obavlja se za, najmanje tri različita sastava brodova-teretnjaka (tj. pri tegljenjima *normalnog*, *teškog* i *lakog* sastava), potom, pri radu u mestu.

Merenje vučne sile na kuki tegljača dovoljnom tačnošću i pouzdanošću osiguravaju dinamometri čija se nominalna sila tegljenja nalazi u granicama od 50 do 1500 kN. Slika 4.3 prikazuje digitalni dinamometar koji u sebi ima ugrađen digitalni ekran na kojem se direktno očitava izmerena sila.



Slika 4.3 Digitalni dinamometar (izvor <http://www.wagnerinstruments.com>)

Potisni dinamometar. Sila potiskivanja sastava od strane broda-potiskivača može da se izmeri pomoću posebnih vrsta dinamometara, tzv. potisnih dinamometara. Međutim, postojeći tipovi potisnih dinamometara poseduju krupne nedostatke i ne obezbeđuju merenje sile s dovoljnom tačnošću. Iz tih razloga prilikom ispitivanja potiskivača, ukoliko je to moguće, primenjuje se identična metoda kao kod brodova-tegljača.

Hidrometrijsko krilo. Brzina kretanja u odnosu na vodu može da bude određena pomoću hidrometrijskog krila, broskog mernog uređaja (loga), geodezijskih instrumenata, pomoću plovaka i dr. Tehnička brzina (tj. brzina u odnosu na obalu) može da bude određena pomoću pokretnog ili nepokretnog bazisa. U prvom slučaju oznake se nalaze neposredno na brodu, a u drugom slučaju na obali. Rastojanje između oznaka na obali naziva se *merna linija*, *merna milja* ili *merna staza*. Na mernoj liniji može da se dobije i računaska brzina broda ili sastava u odnosu na vodu kao srednja aritmetička vrednost tehničkih brzina pri kretanju broda uzvodno i nizvodno.

Brzina kretanja broda ili sastava u odnosu na vodu najčešće se određuje primenom različitih tipova hidrometrijskih krila. Hidrometrijsko krilo (slika 4.4), u cilju sprečavanja uticaja formiranog pramčanog talasa na njegov rad, treba da se postavi pomoću posebnih nosača na rastojanju 3÷4 m ispred linije pramca prvog plovila, odnosno ispred pramčanog talasa. Rad krila zasnovan je na tome, da se njegov propeler u kretanju kroz vodu okreće, pri

čemu je broj obrtaja propelera proporcionalan brzini kretanja broda (odnosno, potiskivanog sastava). Brzina kretanja broda (sastava), koristeći hidrometrijsko krilo, može da bude izračunata pomoću jednačine krila koja se utvrđuje na osnovu dokumenta o tariranju.



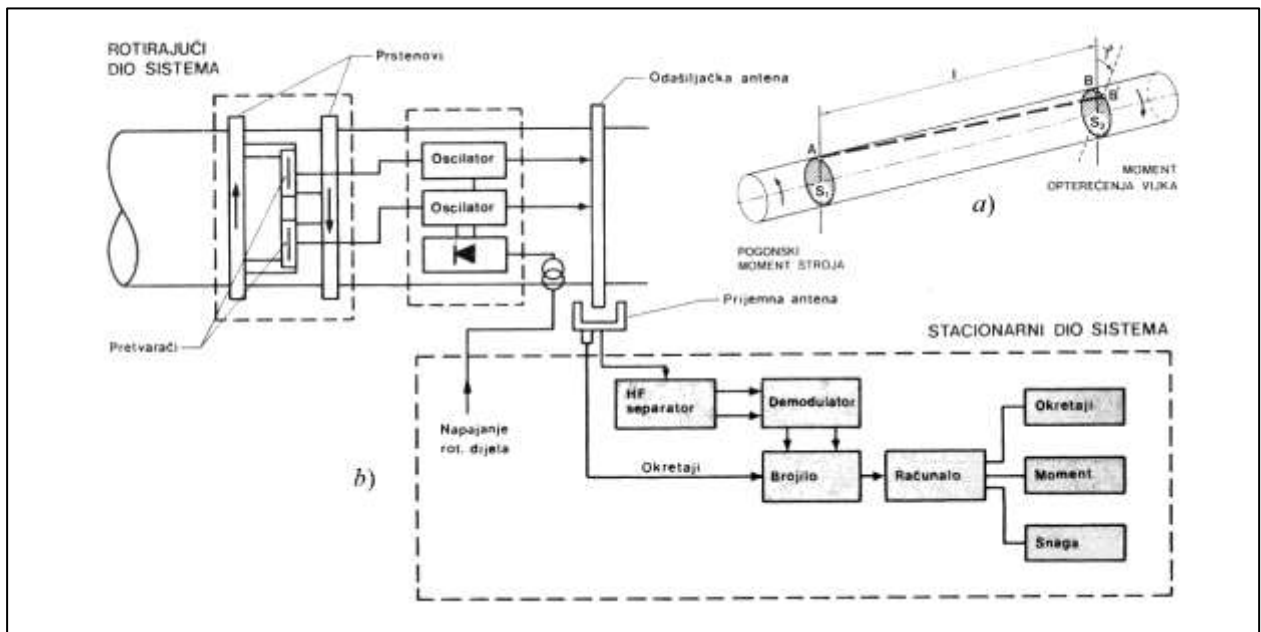
Slika 4.4 Hidrometrijsko krilo (Izvor: <http://www.akim.com.tr>)

Torziometar – Torziometar je uređaj za merenje obrtnog momenta na propelerskom vratilu koji nastaje pri prenosu snage od brodskog pogonskog motora na brodski propeler. Snaga N koju pogonski motor predaje propeleru posredstvom propelerskog vratila zavisi od momenta uvijanja (torzije) M , kojem je izloženo propelersko vratilo na celoj svojoj dužini i od broja obrtaja propelera n prema izrazu $N = k \cdot M \cdot n$, pri čemu je k – koeficijent proporcionalnosti.

Princip delovanja torziometra zasniva se na elastičnoj deformaciji vratila koje je izloženo momentu uvijanja (torzije), a ogleda se u pojavi da se dva međusobno razmaknuta preseka vratila S_1 i S_2 na rastojanju l (slika 4.5 – a), pod dejstvom momenta pogonskog motora s jedne i momenta opterećenja propelera s druge strane, zakreću za ugao φ koji je linearno zavisao od obrtnog momenta. Na vratilu, kada ono nije izloženo delovanju obrtnog momenta, na odsečku dužine l , uoče se dva paralelna i na osu upravna preseka S_1 i S_2 i na njima tačke A i B na paralelnoj izvodnici. Pri delovanju momenta M , ta izvodnica će se pomeriti zbog uvijanja vratila tako da će tačka B doći u položaj B', koji je u odnosu na početni položaj zakrenut za ugao φ . Iznos ugaone deformacije vratila izmeren kao rotacija preseka S_2 u odnosu na presek S_1 , zavisi od veličine obrtnog momenta M , modula smicanja G materijala od koga je vratilo izrađeno i dužine l na kojoj se posmatra uzajamno pomeranje dva preseka. Moment torzije M može da se dobije merenjem veličine ugla φ između dva preseka vratila S_1 i S_2 na poznatom rastojanju l , pri čemu je $\varphi = k_0 \cdot l \cdot M$, gde je k_0 – konstanta propelerskog vratila. Veličine koje određuju veličinu konstante propelerskog vratila su nepromenljive, tako da

konstanta k_0 zavisi od polarnog momenta preseka vratila ($I_p = \frac{\pi \cdot D^4}{32}$) i modula smicanja G , tj. $k_0 = f(I_p, G)$, dok dužina l zavisi od položaja postavljanja torziometra.

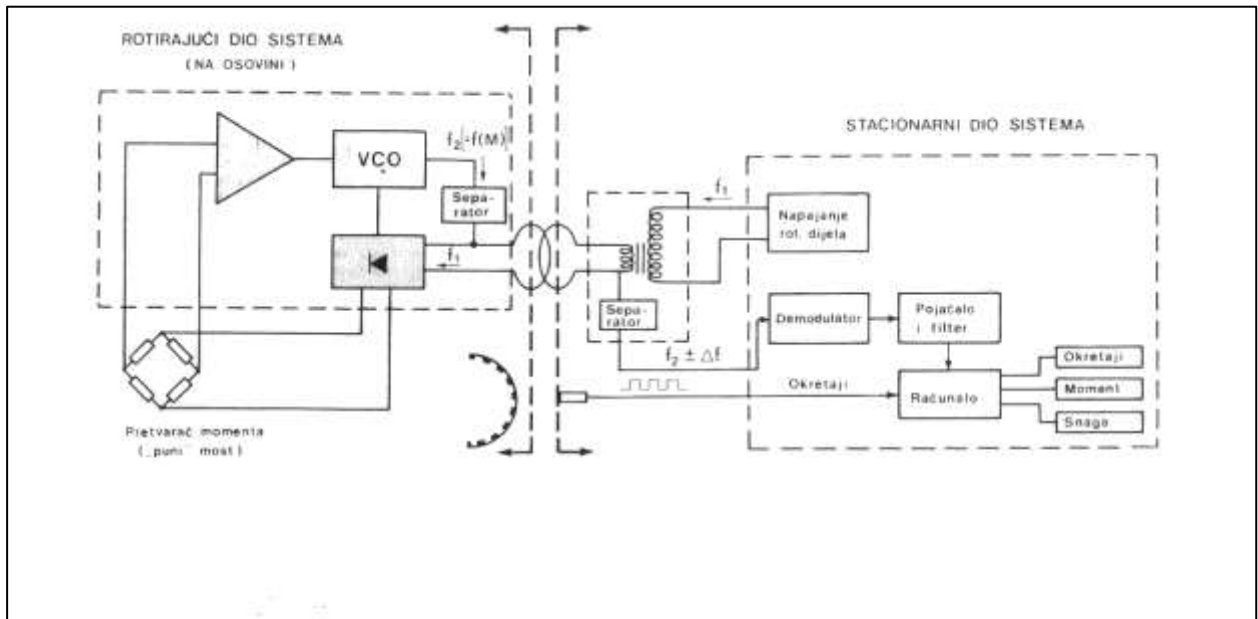
Uređaj se sastoji od dve celine. Jedan deo sistema (slika 4.5 – b) nalazi se na propellerskom vratilu i rotira s njim, a drugi, stacionarni deo sistema, može da se postavi na odabranom mestu na brodu (osim prijemne antene koja se nalazi u neposrednoj blizini vratila). Pomoću instaliranog računara u stacionarnom delu sistema mogu se dobiti trenutne vrednosti broja obrtaja, obrtnog momenta i snage u zavisnosti od režima rada pogonskog motora broda.



Slika 4.5 Princip merenja pomoću torziometra (Izvor: Jugoslovenski leksikografski zavod Miroslav Krleža (1989), str. 183.)

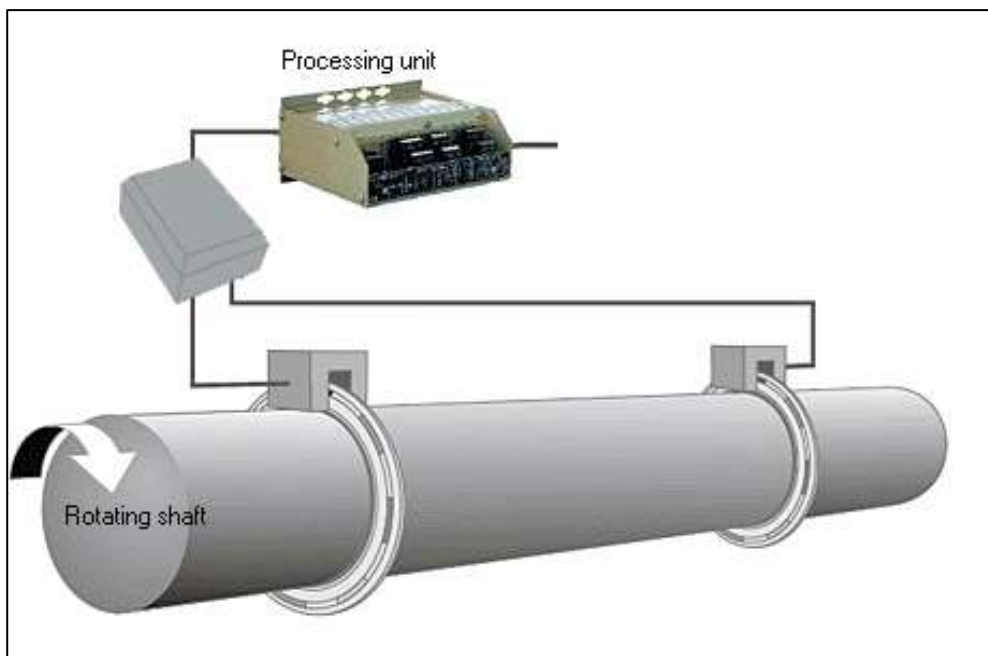
Druga metoda, koja se sve više upotrebljava, zasniva se na primeni otporskih tenzometara (mernih traka). Osnovni delovi ovakvog torziometra prikazani su slici 4.6. Informacija o momentu može se dobiti preko deformacije površine vratila ($M = k \cdot \varepsilon$) lepljenjem otporskih tenzometara direktno na vratilo, ili preko ugla zakreta između dva prstena u presecima S_1 i S_2 . Među prstenove postavi se senzor koji radi na otporsko-tenzometrijskoj osnovi. Zakret među prstenovima, nastao pod delovanjem obrtnog momenta, izaziva deformaciju senzora, odnosno električnog otpora tenzometra. Pogodnom metodom mere se, ovako nastale, male promene otpora. Merni signal telemetrijski se prenosi s rotirajućeg vratila na stacionarni deo mernog sistema, gde se obavlja obrada i interpretacija rezultata merenja. Informacija o broju obrtaja propellerskog vratila, takođe, se dovodi u stacionarni deo uređaja. Gotovo svi savremeni uređaji takvog tipa imaju ugrađen mikroprocesor. Uz poznatu konstantu vratila k_0 , mogu se u svakom momentu dobiti podaci o

obrotnom momentu, broju obrtaja n i snazi N koja se prenosi na propeler. Takvi uređaji služe za merenje tokom eksperimenata, ali i za trajnu ugradnju kao element kontrole stanja sistema.



Slika 4.6 Princip merenja pomoću torziometra (Izvor: Jugoslovenski leksikografski zavod Miroslav Krleža (1989), str. 184.)

Moderan torziometar sa mernim prstenovima na propelerskom vratilu i procesorskom jedinicom prikazan je na slici 4.7.



Slika 4.7 Prikaz postavljanja mernih prstenova torziometra na vratilo propelera (Izvor: www.km.kongsberg.com)

5 EKSPLOATACIONI POKAZATELJI KAO KRITERIJUM ZA IZBOR NAJPOVOLJNIJIH TEHNIČKIH I EKSPLOATACIONIH PARAMETARA POTISKIVANIH SASTAVA

5.1 Uloga eksploatacionih pokazatelja

Eksploatacija vodnog transporta sadrži kompleks organizacionih, tehničkih i ekonomskih mera neophodnih za racionalno korišćenje brodova, luka i plovnih puteva u cilju izvršenja prevoza roba. Poslednjih decenija u svetu i u Srbiji došlo je do značajnih izmena u sistemu vodnog transporta. Hidrograđevinskim radovima velikog obima na regulisanju plovnih puteva poboljšani su uslovi plovidbe, usavršen je sistem veze, stvoreni su uslovi za korišćenje brodova i sastava velikih nosivosti, omogućen je transport robe između rečnih i morskih luka rečno-morskim brodovima, kao i da se ovaj transport obavlja bez pretovara, itd. Istovremeno, navedene izmene uslovile su i promene u organizaciji rada transportne flote i strukturi njenog upravljanja.

U sistemu vodnog transporta, brodovi imaju glavnu proizvodnu ulogu u procesu prevoženja robe. Stoga, potrebno je organizaciju rada procesa prevoženja usmeriti na efikasno korišćenje plovnih prevoznih sredstava i usavršavanje metoda upravljanja transportnim procesima. Pravilni i blagovremeni proračuni stepena iskorišćenja transportne flote neophodni su u cilju racionalnog planiranja, upravljanja, razvoja i kontrole njenog rada. Jedan od načina za utvrđivanje stepena iskorišćenja brodova transportne flote i analizu rada je izračunavanje *stvarnih vrednosti eksploatacionih pokazatelja* (Škiljaica 1996.) svakog pojedinačnog plovila ili grupe plovila identičnih tehničkih i eksploatacionih karakteristika, pri čemu se pod pojmom *eksploatacioni pokazatelji* podrazumevaju *tehničke i ekonomske karakteristike iskorišćenja plovila u datoj jedinici vremena*. Važan zadatak analize eksploatacionih pokazatelja je otkrivanje strukture činilaca i ocena uticaja svakog od njih na promenu pokazatelja koji se proučava. Pravilno rešavanje tog zadatka daje mogućnost utvrđivanja takvih vrednosti promenljivih parametara koje dovode transportni proces do optimuma.

5.2 Podela eksploatacionih pokazatelja

Eksploatacioni pokazatelji, na osnovu kojih se vrši proučavanje rada i iskorišćenja brodova, dele se na:

1. kvantitativne;
2. srednje ili prosečne;
3. kvalitativne.

Kvantitativni eksploatacioni pokazatelji su apsolutne veličine koje daju mogućnost praćenja fizičkog obima rada transportnih brodova, a izračunavaju se kako za svaku robu, za svaki robni pravac prevoženja, za svako pojedinačno plovilo, tako i za sva plovila u plovnom parku i za sve robe koje se prevoze na svim pravcima. U ovu grupu pokazatelja spadaju, na primer: ukupan broj brodova identičnih tehničkih i eksploatacionih karakteristika (ΣC_i), ukupan broj brodova koji su u radu (ΣC_r), ukupno trajanje navigacionog perioda (ΣT_n), ukupno pređeni put brodova sa teretom u toku navigacionog perioda (ΣL_t), ukupno stanje tonaže (ΣQ_r), ukupno stanje snage pogonskih motora brodova (ΣN_i), ukupno prevezeno tereta u toku navigacionog perioda (ΣG), ukupno ostvaren transportni rad u istom periodu (ΣA), ukupno ostvareno transportnih procesa u navigacionom periodu (ΣZ) i mnogi drugi.

Srednji (ili **prosečni**) eksploatacioni pokazatelji proračunavaju se na osnovu kvantitativnih pokazatelja i u ovu grupu spadaju, na primer: srednji broj tehnički ispravnih i za rad spremnih brodova u plovnom parku (\bar{C}_s), srednje trajanje navigacionog perioda (\bar{T}_n), srednja dužina prevoženja jedne tone tereta (\bar{l}), srednje trajanje obrta (\bar{t}_o), srednji broj obrta na određenoj relaciji (\bar{Z}), srednje trajanje dostave tereta (\bar{t}_d) i drugi.

Kvalitativni eksploatacioni pokazatelji rada i iskorišćenja brodova se, takođe, određuju na osnovu odgovarajućih kvantitativnih pokazatelja, a karakterišu stepen iskorišćenja transportnih brodova u toku trajanja nekog perioda. Poznajući kvantitativne eksploatacione pokazatelje moguće je odrediti osnovne parametre koji karakterišu kvalitet korišćenja brodova na pojedinim linijama prevoženja, po određenim vrstama tereta, različitim tehnologijama prevoženja i td.

Osim navedene podele, eksploatacioni pokazatelji rada brodova dele se i na:

1. pokazatelje po vremenu, koji karakterišu stepen iskorišćenja vremena broda tokom jednog obrta, u toku mesec dana, u toku trajanja navigacionog perioda, tokom putovanja sa teretom i bez tereta, i td.;
2. pokazatelje po opterećenju, koji karakterišu stepen iskorišćenja nosivosti brodova za prevoz tereta i snage pogonskih uređaja motornih brodova;
3. pokazatelje po brzini, koji daju mogućnost određivanja vremena putovanja brodova;
4. pokazatelje proizvodnosti brodova-potiskivača (i/ili brodova-tegljača) i tonaže, koji karakterišu opšte iskorišćenje snage pogonskih uređaja ili registrovane nosivosti, uzimajući u obzir iskorišćenje normi vremena, opterećenja i brzine putovanja potiskivača (tegljača) i tonaže.

Posebnu grupu kvalitativnih pokazatelja čine **ekonomski** pokazatelji rada brodova čije razmatranje je od velikog značaja za brodarske kompanije. U poslednje vreme transport funkcioniše u takvim uslovima kada je rast prihodne komponente nastao od prevoza ograničen nizom činilaca, kao što su: uticaj konkurencije, državne mere u tarifnoj politici, smanjenje mogućnosti za formiranje baza (koncentracije) tereta i dr. Ekonomika transporta

postaje sve više zavisna od nivoa nastalih troškova prevoza i čijoj se analizi treba posvetiti sve veću pažnju.

5.3 Način određivanja eksploatacionih pokazatelja

Numeričke vrednosti pojedinih pokazatelja mogu da se odrede na dva načina, i to:

- ▶ statističkom obradom dostavljenih izveštaja;
- ▶ merenjem stvarnih parametara na već izgrađenim brodovima na mernoj stazi pomoću odgovarajuće opreme i uređaja.

Statistički način izračunavanja eksploatacionih pokazatelja zasniva se na izveštajima o radu pojedinih brodova koja ovi dostavljaju u određenim periodima vremena (na primer, mesečni izveštaj o radu brodova, brodski dnevnic, mašinski dnevnic, izveštaji o utrošenoj količini goriva i sl.). Izveštaji o radu brodova sadrže sledeće osnovne podatke: vrsta broda (na primer, tip broda, nosivost, snaga pogonskih uređaja i dr.), luka utovara i vreme utovara, luka istovara i vreme istovara, vrsta tereta, brod-potiskivač (ili tegljač) u čijem sastavu se nalazi brod za prevoz tereta i drugi. Na osnovu izveštaja njihovom analizom utvrđuju se sledeće veličine: kalendarski period rada brodova (T_k), trajanje perioda tehnički ispravnog i za rad spremnog broda (T_s), trajanje perioda tehnički neispravnog i za rad nespremno broda (T_n), trajanje perioda broda provedenog u radu (T_r), trajanje perioda tehnički ispravnog broda kada nije u radu ($T_{\bar{r}}$), ukupno trajanje plovidbe sa teretom u posmatranom periodu (Σt_t), ukupno trajanje plovidbe bez tereta (Σt_{\emptyset}), ukupno trajanje tehničkih i tehnoloških operacija u luci utovara ($\Sigma t_{top(u)}$), ukupno trajanje tehničkih i tehnoloških operacija u luci istovara ($\Sigma t_{top(i)}$), ukupno trajanje vremena utovara broda u toku posmatranog perioda (Σt_{ut}), ukupno trajanje vremena istovara broda u toku posmatranog perioda (Σt_{ist}), ukupno trajanje svih obrta u posmatranom periodu (Σt_o), ukupno pređeni put broda sa teretom u posmatranom periodu (ΣL_t), ukupno pređeni put broda bez tereta u posmatranom periodu (ΣL_{\emptyset}), ukupna dužina puta koji brod prevali u određenom periodu (ΣL), ukupno prevezena količina tereta u posmatranom periodu (ΣG), ukupno ostvaren transportni rad u posmatranom periodu ($\Sigma G \cdot L_t$), ukupno angažovano tonaže brodova (ΣQ_r), ukupno angažovano snage pogonskih uređaja u periodu (ΣN_i), ukupno ostvaren broj obrta u posmatranom periodu (ΣZ).

Metod određivanja vrednosti eksploatacionih pokazatelja pomoću **sprovedenih merenja** daje mogućnost da se utvrdi stvarna veličina onih parametara koji se javljaju u toku procesa rada, kao što su: tehnička brzina plovidbe (v_t), efektivna (stvarna) snaga pogonskih uređaja broda-potiskivača (ΣN_e), na bazi očitane vrednosti gaza svake potisnice iz sastava (T_e) utvrđuje se stvarno utovarena količina tereta u potiskivanom sastavu (ΣQ_e), dubina u plovnom putu (h).

Prevoz na unutrašnjim vodnim putevima odvija se pomoću tri osnovna sistema: tegljenjem, potiskivanjem i motornim teretnjacima, ali i međusobnim kombinacijama ovih sistema. S druge strane, u prevozu učestvuju brodovi različitih tehničkih karakteristika i

eksploatacionih mogućnosti u pogledu odvijanja plovidbe, dok se robne operacije sa plovilima obavljaju u lukama opremljenim raznolikom mehanizacijom i organizacijom rada. Zbog svega toga kao poseban zadatak i problem pojavljuje se ocena *efektivnosti rada* pojedinih brodova, odnosno, grupe brodova istovetnih karakteristika, ali i brodarstva u celini, po pojedinim vrstama robe za prevoz, pravcima prevoženja, tipovima brodova i td.

5.4 Osnovni eksploatacioni pokazatelji

U vodnom saobraćaju u primeni su sledeći osnovni eksploatacioni pokazatelji:

5.4.1 Pokazatelji po brzini plovidbe

U sistemu eksploatacionih pokazatelja rada brodova rečne flote razlikuju se sledeći pokazatelji po brzini:

- ▶ tehnička brzina;
- ▶ putna brzina;
- ▶ komercijalna brzina.

Tehnička brzina (v_t)

Pod *tehničkom brzinom* (v_t , km/h) podrazumeva se brzina plovila ili potiskivanog (tegljenog) sastava koja se postiže u odnosu na obalu, odnosno, to je srednja brzina kretanja plovila ili sastava u odnosu na obalu. Takođe, tehnička brzina je i srednja brzina kretanja plovila (sastava) između dve određene luke koja je postignuta za vreme čistog putovanja između njih, te se stoga, razlikuju tehnička brzina plovidbe jednog plovila ili sastava teretnjaka sa teretom i tehnička brzina plovidba u plovidbi bez tereta. Opšti izraz za proračun tehničke brzine u plovidbi s teretom (u km/h) ima oblik (Škiljaica 1996):

$$v_t = \frac{L_t}{t_t} \text{ [km/h]} \quad 5.1$$

gde su:

- L_t – pređeni put transportnog plovila u kojem se ostvaruje plovidba s teretom, km;
- t_t – vreme plovidbe transportnog plovila u kojem se ostvaruje plovidba s teretom, h.

Putna brzina (v_{put})

Pod *putnom brzinom* (v_{put} , km/h) podrazumeva se ona brzina koja se postiže na nekoj relaciji prevoženja ili između dve određene luke (ne računajući vremena utovara i istovara) za vreme čistog putovanja i svih zadržavanja na tom putovanju zbog obavljanja određenih tehnoloških i tehničkih operacija i računa se pomoću opšteg izraza (Škiljaica 1996):

$$v_{put} = \frac{L_t}{t_t + t_{tp}} \text{ [km/h]} \quad 5.2$$

gde je t_{tp} – vreme (trajanje) tehnoloških i tehničkih operacija u toku puta, h.

Komercijalna brzina (v_k)

Komercijalna brzina ili robna brzina ili brzina dostave tereta (v_k , km/h) jedan je od osnovnih pokazatelja kvaliteta rada rečnog transporta i određuje se posebno za svaku vrstu robe. U opštem slučaju, komercijalna brzina je odnos između dužine prevoženja tereta (L_t , km) i ukupnog trajanja poluobrta sa teretom (tj. vremena dostave tereta t_d , h) koje obuhvata sva vremena od momenta početka prijema robe (utovara) u luci utovara do momenta stvarne predaje robe u luci istovara i računa se pomoću izraza (Škiljaica 1996):

$$v_k = \frac{L_t}{t_d} = \frac{L_t}{t_{top(u)} + t_{ut} + t_{pl} + t_{top(i)} + t_{ist}} \quad 5.3$$

gde su:

$t_{top(u)}$ – vreme tehničkih operacija prilikom utovara;

t_{ut} – vreme trajanja utovara;

t_{pl} – vreme trajanja plovidbe koje u sebi može da sadrži i vremena tehničkih operacija u toku plovidbe (ukoliko postoje);

$t_{top(i)}$ – vreme tehničkih operacija prilikom istovara;

t_{ist} – vreme trajanja istovara.

Analizom izraza (5.3) uočava se da je, u cilju povećanja brzine dostave robe, neophodno smanjiti zadržavanje plovila kako u toku putovanja, tako i u lukama utovara i istovara. Istovremeno važno je istaći da tehnička brzina ima najveću vrednost, a komercijalna najmanju, tj. $v_t > v_{put} > v_k$.

Optimalna brzina (v_{opt})

Pod optimalnom brzinom potiskivanja sastava (v_{opt} , km/h) podrazumeva se ona brzina pri kojoj se ostvaruje najveći mehanički rad potisne (propulzivne) sile potiskivača (Škiljaica 1996).

5.4.2 Pokazatelji iskorišćenja registrovane nosivosti i snage pogonskih motora

Eksploatacija plovila u vodnom prevoženju podrazumeva takvu organizaciju transportnih procesa koja u datim uslovima obezbeđuje najveću moguću proizvodnost (tj. prevoznu sposobnost) transportnih sredstava. Radi ostvarenja ovog cilja potrebno je pri izvršenju transportnih procesa utvrditi, pored pokazatelja koji ocenjuju iskorišćenje raspoloživog fonda vremena, i stepen iskorišćenja registrovane nosivosti i ugrađene snage pogonskih motora plovila transportne flote, čije nedovoljno iskorišćenje smanjuje količinu transportovanog tereta i time prouzrokuje manje ostvarenje transportnog rada.

Stepen iskorišćenja registrovane nosivosti i ugrađene snage pogonskih motora plovila transportne flote ocenjuje se pomoću eksploatacionih pokazatelja po opterećenju, prevoznog učinka, eksploatacionih pokazatelja proizvodnje kao i rezultativnih eksploatacionih pokazatelja.

5.4.2.1 Eksploatacioni pokazatelji po opterećenju (ε), (p)

Eksploatacioni pokazatelj po opterećenju (koeficijent opterećenja, statički koeficijent iskorišćenja, koeficijent iskorišćenja nosivosti ili snage; pokazatelj srednjeg opterećenja, srednje opterećenje) karakteriše količinu tereta koja dolazi na jedinicu registrovane nosivosti teretnjaka (ε , t/tn), odnosno po jedinici snage pogonskih motora motornih brodova (p , t/kW).

Opšti izraz za proračun *eksploatacionog pokazatelja iskorišćenja registrovane nosivosti* ima oblike koji su prikazani izrazima (5.4) i (5.5) (Škiljaica 1996):

- ▶ za jedan, bilo koji brod za prevoz tereta iz plovnog parka:

$$\varepsilon = \frac{Q_e}{Q_r} \quad 5.4$$

- ▶ za sastav teretnjaka:

$$\varepsilon = \frac{\Sigma Q_e}{\Sigma Q_r} \quad 5.5$$

pri čemu su:

Q_e (ΣQ_e) – eksploataciona nosivost jednog broda za prevoz tereta-teretnjaka (ili svih brodova za prevoz tereta-teretnjaka u sastavu), odnosno, to je stvarno utovarena količina tereta u brod, t;

Q_r (ΣQ_r) – registrovana (najveća) nosivost jednog broda za prevoz tereta- teretnjaka (ili svih brodova za prevoz tereta- teretnjaka u sastavu), tn.

Opšti izraz za proračun *eksploatacionog pokazatelja iskorišćenja snage pogonskih motora* (naziva se još i pokazatelj sttičkog opterećenja pogonskih motora) ima oblik (5.6) i (5.7) (Škiljaica 1996):

- ▶ kada brod-potiskivač radi s jednim teretnjakom čija je eksploataciona nosivost Q_e :

$$p = \frac{Q_e}{\Sigma N_i} \text{ [t/kW]} \quad 5.6$$

▶ kada brod-potiskivač radi sa sastavom teretnjaka čija je eksploataciona nosivost (svakog teretnjaka) Q_e :

$$p = \frac{\Sigma Q_e}{\Sigma N_i} \text{ [t/kW]} \quad 5.7$$

pri čemu je ΣN_i – ugrađena (instalirana) snaga (u kW) svih pogonskih uređaja u brodu-potiskivaču.

5.4.2.2 Prevozni učinak (P_U)

U tehničkom smislu funkcija proizvodnje plovila pri prevoženjima na unutrašnjim plovnim putevima opisuje se veličinom *prevoznog učinka* (P_U , tkm/h), koji je jednak proizvodu stvarno utovarene količine tereta u jedan teretnjak (Q_e) ili u sve teretnjake jednog

potiskivanog sastava (ΣQ_e) i tehničke brzine plovidbe tog teretnjaka, odnosno sastava teretnjaka (v_t), što se predstavlja izrazima (5.8) i (5.9) (Škiljaica 1996):

► za jedan teretnjak:

$$P_U = Q_e \cdot v_t \text{ [tkm/h]} \quad 5.8$$

► za sastav teretnjaka:

$$P_U = \Sigma Q_e \cdot v_t \text{ [tkm/h]} \quad 5.9$$

Veličina prevoznog učinka u fizičkom smislu označava izvršeni transportni rad ($t \cdot km$) u jedinici vremena (h) i zavisi od više činilaca, od kojih su najznačajniji: nosivost teretnjaka, broj i raspored teretnjaka u sastavu čime se definiše njegov oblik; osobenosti plovnog puta, snage pogonskih uređaja broda-potiskivača.

5.4.2.3 Eksploatacioni pokazatelj proizvodnje (P)

Eksploatacioni pokazatelj proizvodnje (Škiljaica 1996) daje predstavu o proizvodnosti svakog pojedinačnog plovila iz plovnog parka, i to teretnjaka (P_t , tkm/tn), odnosno, motornog broda (P_{mb} , tkm/kW) za vreme jednog poluobrta, obrta, meseca ili nekog drugog perioda vremena, a računa se kao proizvod pokazatelja opterećenja (ε ; p) i relacije prevoženja (L), tj. (Škiljaica 1996):

► za teretnjake:

$$P_t = \varepsilon \cdot L = \frac{Q_e}{Q_r} \cdot L \text{ [tkm/tn]} \quad 5.10$$

► za brodove koji imaju pogonske motore:

$$P_{mb} = p \cdot L = \frac{\Sigma Q_e}{\Sigma N_i} \cdot L \text{ [tkm/kW]} \quad 5.11$$

Eksploatacioni pokazatelj proizvodnje, u fizičkom smislu, označava izvršeni transportni rad ($t \cdot km$) po jedinici angažovane tonaže (u tn) ili po jedinici angažovane snage pogonskih uređaja (u kW).

5.4.3 Rezultativni eksploatacioni pokazatelj (P_r)

Rezultativni eksploatacioni pokazatelj rada teretnjaka (P_{rt} , tkm/tnh), odnosno motornih brodova (P_{rmb} , tkm/kWh) (u upotrebi su još i izrazi: pokazatelj transportne efektivnosti; proizvodnost jedinice registrovane nosivosti i jedinice snage u jedinici vremena; jedinični prevozni učinak) veoma je važna kvalitativna karakteristika efektivnosti korišćenja flote, a definiše se kao iskorišćenje jednog (bilo kog) broda iz plovnog parka ili grupe brodova identičnih tehničkih i eksploatacionih osobenosti. Osim toga, rezultativni eksploatacioni pokazatelj može da se posmatra kako za jedan obrt, tako i za posmatrani (unapred usvojeni) period rada. Kompleksnost ovog pokazatelja ogleda se u tome što se on

izražava veličinom ostvarenog transportnog rada na prevoženju u jedinici vremena po jedinici registrovane nosivosti teretnjaka, odnosno po jedinici ugrađene (ili efektivne) snage pogonskih uređaja brodova.

Na osnovu iznetih definicija rezultativni eksploatacioni pokazatelj izračunava se u opštem obliku za bilo koje plovilo iz plovnog parka pomoću izraza (4.12) i (4.13) (Škiljaica 1996):

► za teretnjake:

$$P_{r(t)} = \varepsilon \cdot v_t = \frac{Q_e}{Q_r} \cdot v_t = \frac{P_U}{Q_r} \text{ [tkm/tnh]} \quad 5.12$$

► za brodove koji imaju pogonske motore:

$$P_{r(mb)} = p \cdot v_t = \frac{\sum Q_e}{\sum N_i} \cdot v_t = \frac{P_U}{\sum N_i} \text{ [tkm/kWh]} \quad 5.13$$

5.5 Osnovni ekonomski pokazatelj

Rad brodarskih kompanija u uslovima konkurencije povezan je sa konstantnim zahtevima za obezbeđenjem najpogodnijih varijanti raspodele resursa, i to radnih, proizvodnih, tehničkih, finansijskih i drugih. Upravljanje transportnim procesima je zadatak koji se sastoji iz više nivoa, a koji se, opet, karakterišu svojim osnovnim kvalitativnim pokazateljima kao što su: obim transportnog rada, tarife za prevoz tereta, eksploatacioni troškovi nastali u toku prevoza, rokovi za dostavu tereta, jedinični troškovi, kapitalna ulaganja u novu flotu i dr.

Poznato je, da prevozni rad u transportu nastupa u svojstvu glavnog oblika delatnosti i osnova je za formiranje ukupne transportne ekonomije, pri čemu efektivnost prevoza zavisi, u prvom redu, od ukupno nastalih troškova i nivoa prihodne stavke. Jedinični troškovi (c , din/tkm), nastali tokom prevoza tereta, mogu da se odrede pomoću jednostavnog izraza (Škiljaica 1996):

$$c = \frac{\sum TR}{A} = \frac{\sum TR}{\sum G \cdot L_t} \quad 5.14$$

pri čemu su:

$\sum TR$ – ukupni troškovi nastali neposredno u toku prevoza tereta na određenoj relaciji transporta, u dinarima, koji u sebi sadrže ne samo energetske i tehničke činioce (troškovi goriva i maziva, redovnog i tekućeg održavanja), već i ekonomske činioce kao što su amortizacija, troškovi za plate, osiguranje brodova i sl.;

$\sum G \cdot L_t$ - ukupno ostvaren transportni rad na određenoj relaciji u posmatranom periodu, tkm.

Na osnovu dostupnih istraživanja (Коваленко i Прилепко 1982, Ваганов i Сазнов 1983, Захаров i други 1985, Никулина 2012, Бибииков 2013, Поачев 2014) ustanovljeno je da troškovi pogonskog goriva čine od 30% do, gotovo 40% u strukturi ukupnih troškova nastalih neposredno u toku transporta. Jasno je, da je jedan od osnovnih kriterijuma koji izražava

stanje eksploatacije brodova potrošnja goriva, koja može da zavisi od različitih činilaca kao što su: snaga pogonskih uređaja, režim rada pogonskih uređaja, brzina kretanja broda, dubina i brzina rečnog toka.

Evidentno je da, eksploatacija brodskih energetske uređaja u najekonomičnijim režimima, odabranih u zavisnosti od uslova u plovnom putu, hidroloških i meteoroloških uslova, omogućava da se značajno umanja potrošnja goriva, pa sa njom i troškovi. Iz tog razloga, prilikom planiranja svakog putovanja broda vodni put treba da se rastavi na njegove elementarne delove ($L = \sum_{i=1}^n l_i$) na kojima vladaju relativno stabilni činioci (naročito dubina i brzina rečnog toka). Metodologija optimizacije režima kretanja brodova svodi se na izbor takvih brzina plovidbe na elementarnim delovima plovnog puta koji se odlikuju različitim dubinama i brzinama rečnog toka, kako bi ukupna veličina potrošenog goriva bila minimalna pri zadatom ukupnom vremenu plovidbe. Sledi, da ušteda goriva postaje jedan od prioritarnih pravaca za povećanje efektivnosti rada brodova. Na osnovu ovih principa, optimizacija režima kretanja broda neposredno na liniji omogućava da se iskoriste postojeće rezerve u cilju povećanja ekonomičnosti rada pogonskih uređaja što, kao posledicu ima, smanjenje troškova eksploatacije.

5.6 Analiza rezultativnog eksploatacionog pokazatelja – teorijski pristup

Dobro planiranje i analiza rada brodova transportne flote u savremenim uslovima jedan je od pravaca za povećanje efektivnosti njihovog rada i kvaliteta prevoženja.

Taj pokazatelj, kao kompleksna veličina korišćenja brodova kojeg definišu količina tereta, brzina, utrošeno vreme na tehnološke operacije zavisi, takođe, i od dužine plovidbe broda sa teretom, što je tesno vezano sa daljinom prevoza. Pri tom, neophodno je da se vreme punog obrta predstavi u matematičkom obliku kao zbir komponentata i njegovih elemenata. Osim toga, vreme plovidbe broda sa teretom treba zameniti poznatim veličinama, kao što su dužina transporta i tehnička brzina plovidbe.

Kako je to u potpoglavlju 5.4. izneto vidi se da se, efektivnost korišćenja brodova za prevoz tereta ocenjuje pomoću pokazatelja proizvodnosti, koji se meri odnosom izvršenog transportnog rada ($t \cdot km$) i korišćene tonaže u jedinici vremena ($t_n \cdot h$), dok se efektivnost korišćenja brodova koji imaju pogonske uređaje meri odnosom izvršenog transportnog rada ($t \cdot km$) i ukupno korišćene snage u jedinici vremena ($kW \cdot h$), prema izrazima:

► za jednu potisnicu:

$$P_{r(p)} = \varepsilon \cdot v_t = \frac{Q_e}{Q_r} \cdot v_t = \frac{P_U}{Q_r} \quad 5.15$$

► za potiskivani sastav:

$$P_{r(ps)} = \varepsilon_s \cdot v_t = \frac{\sum Q_e}{\sum Q_r} \cdot v_t = \frac{P_U}{\sum Q_r} \quad 5.16$$

► za brodove-potiskivače kada rade u sklopu sa sastavom potisnica:

$$P_{r(pot)} = p \cdot v_t = \frac{\sum Q_e}{\sum N_e} \cdot v_t = \frac{P_U}{\sum N_e} \quad 5.17$$

gde su:

ε – koeficijent iskorišćenja nosivosti jedne potisnice, t/t_n;

ε_s – koeficijent iskorišćenja nosivosti svih potisnica u potiskivanom sastavu, t/t_n;

v_t – brzina plovidbe potiskivanog sklopa sa teretom u potisnicama, km/h;

Q_e – stvarno utovarena količina tereta u jednu potisnicu iz sastava, t;

$\sum Q_e$ – stvarno utovarena količina tereta u sve potisnice iz sastava, t;

Q_r – registrovana nosivost jedne potisnice iz sastava, t_n;

$\sum Q_r$ – registrovana nosivost svih potisnica iz sastava, t_n;

P_U – ostvareni prevoznici učinak, t·km/h;

p – koeficijent iskorišćenja snage pogonskih motora broda-potiskivača, t/kW;

$\sum N_e$ – ukupna efektivna snaga pogonskih motora broda-potiskivača angažovana na prevozu, kW.

Polazeći od osnovnog izraza za proračun pokazatelja po opterećenju – pokazatelja iskorišćenja registrovane nosivosti jedne potisnice (5.4), sledi da je $Q_e = \varepsilon \cdot Q_r$, odnosno, potiskivanog sastava kojeg čini više potisnica, $\sum Q_e = \varepsilon_s \cdot \sum Q_r$, rezultativni eksploatacioni pokazatelj potiskivanog sastava, odnosno, broda-potiskivača dobija novi oblik:

$$P_{r(pot)} = \frac{\sum Q_r}{\sum N_e} \cdot \varepsilon_s \cdot v_t \quad 5.18$$

Znajući da je $v_t = \frac{L_t}{t_t}$, pri čemu su: L_t – relacija (dužina) transporta tereta i t_t – brzina

plovidbe potiskivanog sklopa sa teretom u potisnicama, sledi:

$$P_{r(ps)} = \frac{\sum Q_e}{\sum Q_r} \cdot \frac{L_t}{t_t} \quad 5.19$$

$$P_{r(pot)} = \frac{\sum Q_e}{\sum N_e} \cdot \frac{L_t}{t_t} = \varepsilon_s \cdot \frac{\sum Q_r}{\sum N_e} \cdot \frac{L_t}{t_t} \quad 5.20$$

Obrt broda za prevoz tereta (jedne potisnice ili sastava potisnica), kao i broda-potiskivača koji radi sa sastavom potisnica, javlja se kao sveukupna karakteristika organizacije svakog transportnog procesa, koji otkriva strukturu njegovih operacija, njihov redosled i za sve vrste ovih plovila sastoji se iz dela koji se odnosi na putovanje sa teretom i bez tereta.

Trajanje obrta broda koji učestvuje u procesu prevoza tereta zavisi od velikog broja činilaca, od kojih su najznačajniji: veličina i oblik jednog plovila, odnosno oblik sastava

(ukoliko je više njih čvrsto povezano u celinu), količina tereta u svakom od brodova za transport (ili stepen utovarenosti), dužina relacije transporta, trajanje tehnoloških operacija u tačkama utovara, istovara i u putu, snaga pogonskog uređaja broda-potiskivača, hidrološki uslovi u plovnom putu i drugi. Osnovni računski oblik kojim se definiše trajanje jednog obrta (t_O) brodova za prevoz tereta ima oblik:

$$t_O = \sum t_{ut} + t_t + \sum t_{ist} + t_\Phi + \sum t_{top} \quad 5.21$$

pri čemu su:

$\sum t_{ut}$ – ukupno vreme koje transportni brodovi provedu u luci utovara, koje u sebi sadrži: vreme čekanja na sidrištu prispeća (pre početka utovara); vreme potrebno za prevlačenje sa sidrišta do mesta u luci na kojem će se obaviti utovar; trajanje utovara tereta u potisnice; priprema dokumentacije koja prati teret; vreme prevlačenja iz luke na sidrište otpreme; čekanje linijskog broda i postavljanje u sastav;

$\sum t_{ist}$ - ukupno vreme koje transportni brodovi provedu u luci istovara, koje u sebi sadrži: vreme čekanja na sidrištu prispeća (pre početka istovara); vreme potrebno za prevlačenje sa sidrišta do mesta u luci na kojem će se obaviti istovar; trajanje istovara tereta iz potisnice; pregled tovarnog prostora (i njegovo eventualno čišćenje), priprema dokumentacije; vreme prevlačenja iz luke na sidrište otpreme; čekanje linijskog broda i postavljanje u sastav;

t_Φ - trajanje plovidbe transportnih brodova u povratnom smeru kada se kreću bez tereta;

$\sum t_{top}$ – ukupno trajanje tehnoloških operacija koje se pojavljuju u jednom obrtu, kao što su: prevlačenje potiskivanog sastava iz više delova na plićacima u periodima niskih vodostaja; prolasci kroz brodske prevodnice i dr.;

Na osnovu izložene strukture obrta definiše se **koeficijent iskorišćenja vremena za putovanje broda s teretom** (α_0) koji je jedan od pokazatelja po vremenu i određuje koliki deo eksploatacionog vremena čini vreme plovidbe s teretom (t_t) u toku jednog posmatranog obrta, a u opštem obliku predstavlja se pomoću izraza:

$$\alpha_0 = \frac{t_t}{t_O} \quad 5.22$$

Polazeći od izraza (5.22) vreme trajanja plovidbe broda s teretom dobija oblik:

$$t_t = \alpha_0 \cdot t_O \quad 5.23$$

i kada se taj oblik uvede u izraze 5.19 i 5.20 dobija se:

$$P_{r(ps)} = \frac{\sum Q_e}{\sum Q_r} \cdot \frac{L_t}{\alpha_0 \cdot t_O} \quad 5.24$$

$$P_{r(pot)} = \frac{\sum Q_e}{\sum N_e} \cdot \frac{L_t}{\alpha_0 \cdot t_O} \quad 5.25$$

Budući da moguća nosivost brodova (Q_e) zavisi od veličine njihovog gaza, $Q_e=f(T_e)$, ova okolnost istovremeno, svakodnevno menja eksploatacionu nosivost brodova, odnosno,

eksploatacionu nosivost svih brodova za prevoz tereta koji ulaze u jedan potiskivani sastav ΣQ_e . Pri mogućem (eksploatacionom) gasu T_e nosivost broda određuje se primenom linearne interpolacije, prema izrazu:

$$Q_e(T_e) = Q_r - q \cdot (T_r - T_e) \quad 5.26$$

pri čemu su:

q – specifična nosivost brodova za prevoz tereta-potisnica po 1 cm gaza;

T_r – registrovani (najveći) gas brodova za prevoz tereta, m;

T_e – eksploatacioni (stvarno mogući) gas brodova za prevoz tereta, m.

Kada se izraz (5.26), u svedenom obliku $Q_e(T_e)$, uvrsti u osnovni i izvedene izraze za proračun rezultativnog eksploatacionog pokazatelja broda-potiskivača ($P_{r(pot)}$) dobija se:

$$P_{r(pot)} = \frac{\sum Q_e(T_e)}{\sum N_e} \cdot v_t = \frac{\sum Q_e(T_e)}{\sum N_e} \cdot \frac{L_t}{t_t} = \varepsilon_s \frac{\sum Q_e(T_e)}{\sum N_e} \cdot \frac{L_t}{\alpha_0 \cdot t_0} \quad 5.27$$

Kada se primene izrazi 5.3, 5.4 i 5.5 na osnovu kojih se određuje brzina rečnog toka (Δv), tehnička brzina u uzvodnoj ($\uparrow v$) i tehnička brzina u nizvodnoj plovidbi ($\downarrow v$), sledi da brzina plovidbe potiskivanog sklopa kada plovi sa teretom u uzvodnoj plovidbi (v_t) može da se izračuna pomoću izraza:

$$v_t = v - \Delta v \quad 5.28$$

$$v_t(v, \Delta v)$$

pri čemu je v – brzina plovidbe u odnosu na vodu (u mirnoj vodi). Kada se izraz (5.28) uvrsti u izraz za proračun rezultativnog eksploatacionog pokazatelja broda-potiskivača dobija se oblik novi oblik:

$$P_{r(pot)} = \frac{\sum Q_e}{\sum N_e} \cdot v_t(v, \Delta v) \quad 5.29$$

Koristeći odnos između registrovane nosivosti (Q_r) i deplasmana (D) jedne potisnice (ili bilo kog broda za prevoz tereta), koji se u literaturi naziva *koeficijent utilizacije* – η_{dw} (Лесников 1982.), i računa pomoću izraza:

$$\eta_{dw} = \frac{Q_r}{D} \quad 5.30$$

odakle je: $Q_r = D \cdot \eta_{dw}$, odnosno, za više potisnica koje čine jedan potiskivani sastav, sledi da je:

$$\eta_{dw(s)} = \frac{\sum Q_r}{\sum D} \quad 5.31$$

pri čemu je: $\sum Q_r = \sum D \cdot \eta_{dw(s)}$, gde su: $\eta_{dw(s)}$ – koeficijent utilizacije potiskivanog sastava, ΣD – ukupni deplasman svih potisnica u potiskivanom sastavu, sledi izraz za proračun rezultativnog eksploatacionog pokazatelja broda-potiskivača koji može da se napiše u obliku:

$$P_{r(pot)} = \varepsilon_s \cdot \eta_{dw(s)} \cdot v_t \cdot \frac{\sum D}{\sum N_e} \quad 5.32$$

Iz navedenih izraza jasno se uočava da jedan od najvažnijih pokazatelja na osnovu kojeg se planira transportni proces, odnosno, kojim se utvrđuje stepen kvaliteta izvršenog transportnog procesa – rezultativni eksploatacioni pokazatelj, zavisi od velikog broja činilaca, od kojih su najvažniji:

► tehnički činiooci, koji se opisuju pomoću glavnih dimenzija i oblika jedne potisnice (odnosno, potiskivanog sastava). Glavne dimenzije jedne potisnice (L, B, T) i koeficijent oblika istisnine (δ) definišu deplasman potisnice (D), na osnovu kojeg se utvrđuje njena registrovana nosivost (Q_r). U ovu grupu treba ubrojati ukupno ugrađenu snagu pogonskih motora broda ($\sum N_t$), odnosno, ukupnu efektivnu snagu pogonskih motora ($\sum N_e$) koja se postiže tokom perioda eksploatacije.

► tehnološki činiooci – ovoj grupi činilaca pripadaju: ukupna dužina puta na kojoj se transportuje teret (L_t), vreme plovidbe s teretom (t_t) i trajanje obrta (t_o). Jasno je, da ukupno vreme trajanja jednog obrta zavisi od velikog broja faktora koje je potrebno detaljno planirati i na njih uticati u cilju njihovog skraćanja, čime se postiže da $t_o \rightarrow t_o(min)$.

► organizacioni činiooci, u koje spadaju: trajanje obrta (t_o), stvarna količina tereta utovarenog u potisnicu (Q_e), odnosno utovarenog u potiskivani sastav ($\sum Q_e$), koeficijent iskorišćenja nosivosti potisnice i/ili sastava ($\varepsilon, \varepsilon_s$), veličina stvarnog gaza potisnice (T_e). Količina tereta koji se utovara u potisnicu/sastav ($Q_e, \sum Q_e$), od koga nadalje zavise koeficijenti ($\varepsilon, \varepsilon_s$) i gaz (T_e), osim što zavisi od nautičkih uslova, u velikoj meri zavisi i od načina organizacije transportnog procesa.

► nautički činiooci, su takvi činiooci koji utiču na dva načina, tako što, prvo, ograničenjem dubine u plovnom putu uslovljavaju veličinu dozvoljenog gaza broda (T_e), na osnovu kojeg se definiše količina tereta koji može da se utovari u potisnicu/sastav ($Q_e, \sum Q_e$), i drugo, brzina rečnog toka (Δv) uslovljava tehničku brzinu plovidbe s teretom (v_t) u oba smera plovidbe – uzvodno i nizvodno.

6 PREDLOG METODE ISPITIVANJA PARAMETARA U REALNIM USLOVIMA PLOVIDBE NEOPHODNIH ZA ODREĐIVANJE POKAZATELJA RADA BRODOVA-POTISKIVAČA I POTISKIVANIH SASTAVA

U dosadašnjem toku izlaganja opisani su računski izrazi i parametri na osnovu kojih može da se izračuna veličina rezultativnog eksploatacionog pokazatelja broda-potiskivača ili potiskivanog sastava kao celine.

Poznato je, da se pri kretanju potiskivanog sastava/sklopa kroz vodu javlja sila kojom se okolna voda suprotstavlja njegovom ravnomernom kretanju. Kretanje potiskivanog sastava/sklopa je njegova sposobnost da se premešta nekom brzinom usled delovanja određene sile koja mu je pridodata. Tu silu stvaraju brodska kretna sredstva i pri zadatoj brzini $v=const$ treba da je jednaka sili otpora sredine – vode i vazduha. Ova okolnost utiče na jedan od najvažnijih parametara koji je potreban pri proračunu veličine rezultativnog eksploatacionog pokazatelja - na tehničku brzinu plovidbe potiskivanog sastava/sklopa pri kretanju sa teretom (v_t).

U eksploataciji vodnog saobraćaja moguće je formirati različite oblike potiskivanih sastava. Najveću primenu imaju sastavi koje čine potiskivani teretnjaci koji su spojeni svojim krajevima, tzv. *učeljeni sastavi* i oni kod kojih su teretnjaci spojeni svojim bokovima, tzv. *bočno vezani sastavi*. U svakom konkretnom slučaju sastav je poželjno formirati na takav način da se smanji otpor vode pri njegovom kretanju i osigura zadovoljavajuća upravljivost.

Tokom procesa eksploatacije brodova saobraćajne službe u brodarstvima nužno rešavaju veliki broj zadataka koji se odnose na određivanje brzine plovidbe, veličinu i oblik sastava. Problem je posebno složen kada broderska kompanija raspolaže različitim tipovima potiskivanih teretnjaka i brodova-potiskivača koji se razlikuju po dimenzijama, sopstvenoj masi, nosivosti, obliku i snazi pogonskih uređaja.

Metoda istraživanja koja se u disertaciji predlaže sastoji se iz sledećih koraka:

I – Radnje koje prethode eksperimentima

1. Utvrđivanje parametara merne staze.

Pod utvrđivanjem parametara na mernoj stazi podrazumeva se poznavanje svih relevantnih veličina za sektor-deonicu na kojoj se vrši ispitivanje broda, sastava/sklopa. Ove veličine u prvom redu podrazumevaju širinu i dubinu plovnog puta kao i brzinu rečnog toka na deonici na kojoj se vrši ispitivanje potiskivanih sklopova.

Karakterističan primer podsektora na kojem su naša rečna brodarstva najčešće obavljala ispitivanja je na reci Dunav, na delu od ušća Morave (km 1105) do Smedereva (km 1121). Na ovom podsektoru je od 69 ukupno ispitanih sklopova obavljeno 43 eksperimenta (ili 62%). Iz tog razloga prikazuje se, u najkraćim crtama, njegov opis budući da se ovaj deo

reke Dunav najčešće koristio kao merna staza. Ovaj sektor Dunava prikazan je na slikama 6.1, 6.2 i 6.3

Podsektor reke Dunav na kojem se nalazi merna staza, po kojoj se najčešće odvijaju eksperimentalna ispitivanja brodova i potiskivanih sastava, odlikuje se izrazitim karakteristikama ravničarske reke. Rečno korito ima mali pad, vrlo blage krivine, malu brzinu rečnog toka i velike širine (srednja vrednost iznosi 800 m pri minimalnom plovidbenom nivou ENR). Merna staza, zahvaljujući usporu, pri normalnim hidrološkim uslovima, ima povoljne dubine po celoj dužini (srednja dubina iznosi 9,21 m pri minimalnom plovidbenom nivou ENR) tako da poseduje veoma dobre uslove za odvijanje dvosmerne plovidbe potiskivanih sastava velikih dimenzija.

2. Utvrđivanje neophodnih karakteristika broda-potiskivača i potiskivanih teretnjaka od kojih se formiraju potiskivani sastavi

Za potiskivač potrebno je poznavati sledeće veličine:

Karakteristike trupa broda:

L_{ao} – dužina preko svega (m);

L_{KVL} – dužina na konstruktivnoj vodnoj liniji (m);

B – konstruktivna širina trupa (m);

T_r – najveće gaženje (m);

T_0 – gaženje praznog broda (m);

H – bočna visina trupa (m);

V – istisnina pri najvećem gaženju (m^3);

δ – koeficijent punoće istisnine.

Karakteristike pogonskih motora broda:

N_i – ukupna instalisana snaga pogonskih motora (kW ili KS);

n – broj obrtaja vratila motora (o/min ili s^{-1});

x – broj propelerskih vratila;

i – prenosni odnos reduktora;

Karakteristike propelera broda:

D – prečnik propelera (mm);

z – broj krila propelera;

θ – odnos površina diskova propelera;

H_p – korak propelera (mm);

H_p/D – odnos koraka propelera i njegovog prečnika.

Karakteristike sapnice propelera:

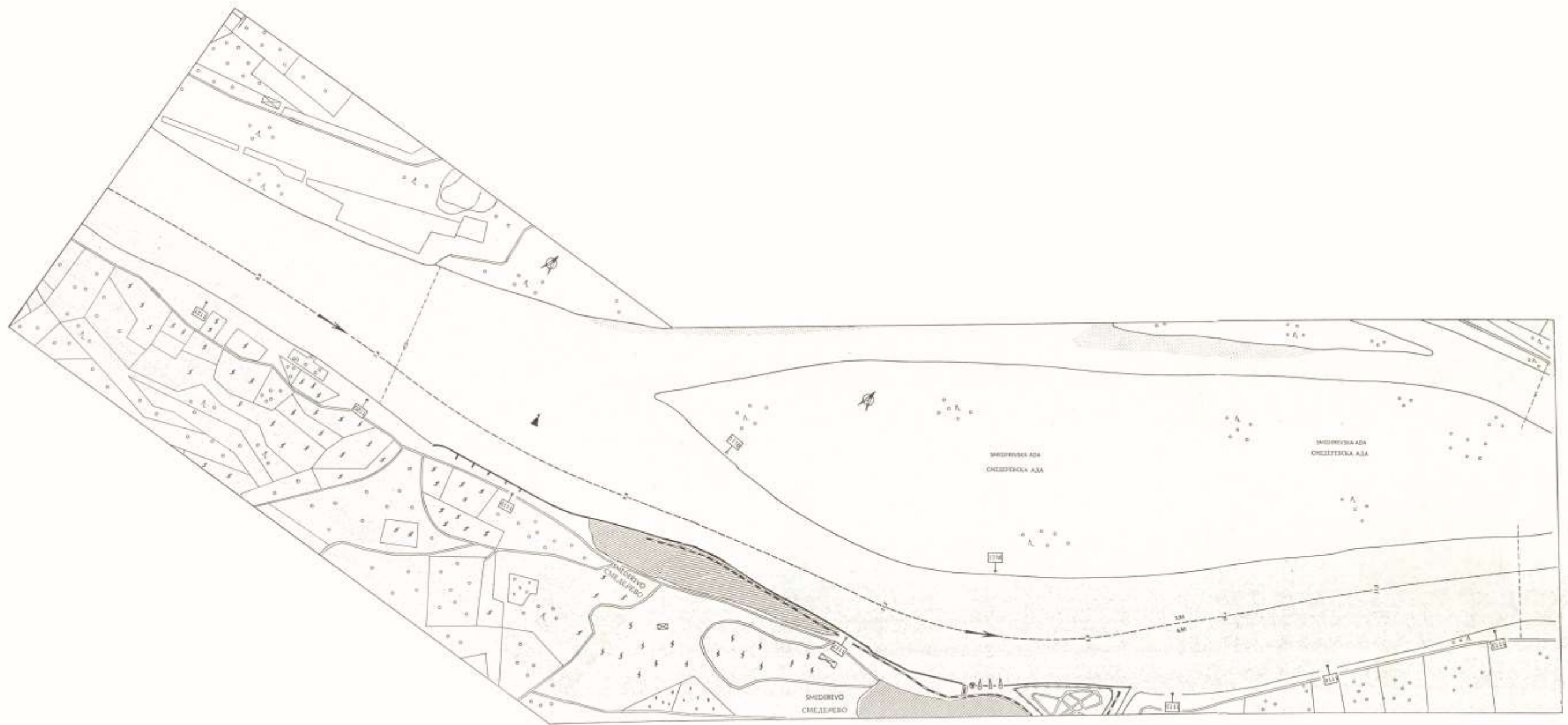
D_u – ulazni prečnik sapnice (mm)

D_i – izlazni prečnik sapnice (mm);

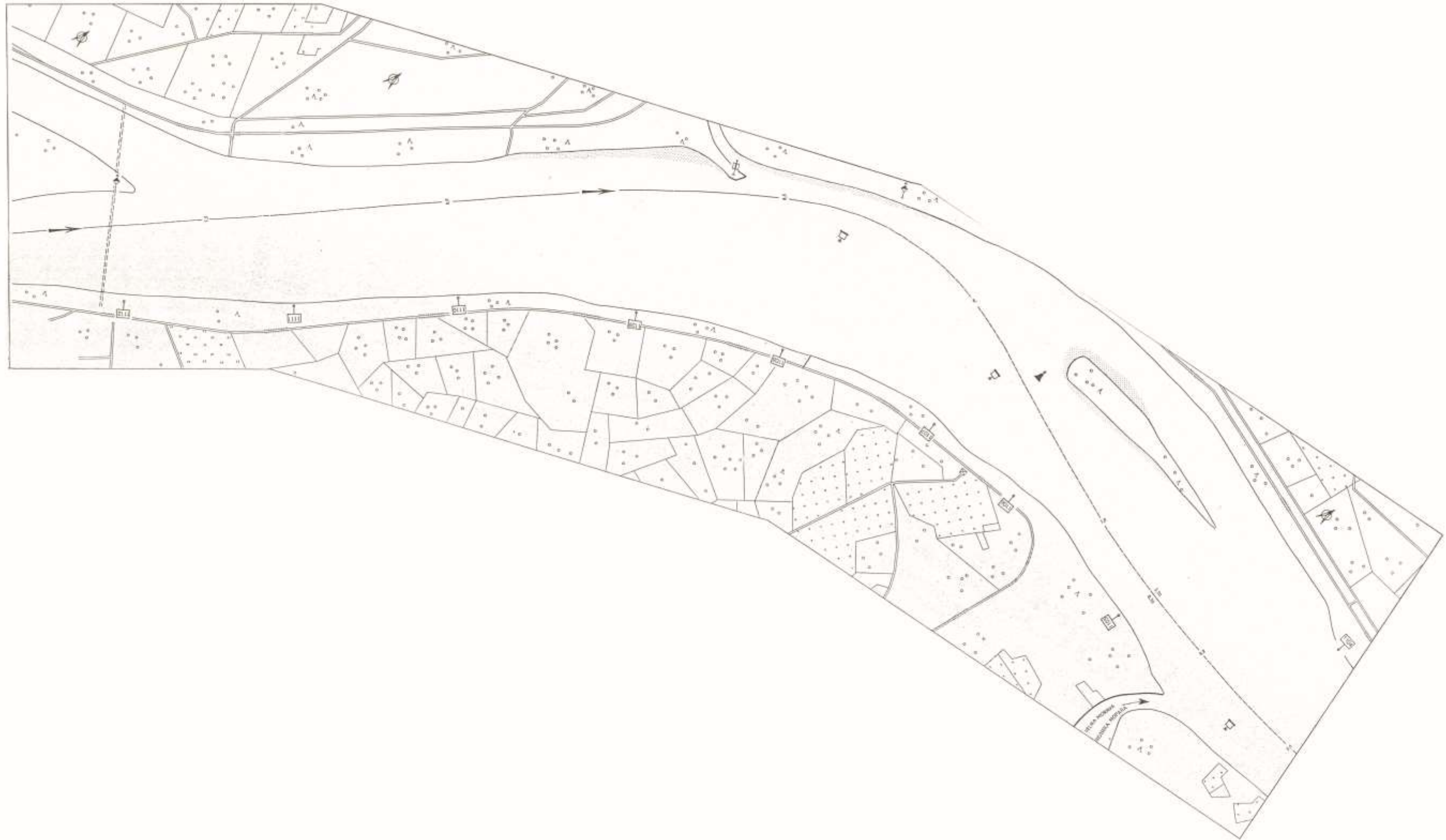
α_H – koeficijent oblika sapnice;

β_H – koeficijent širenja sapnice;

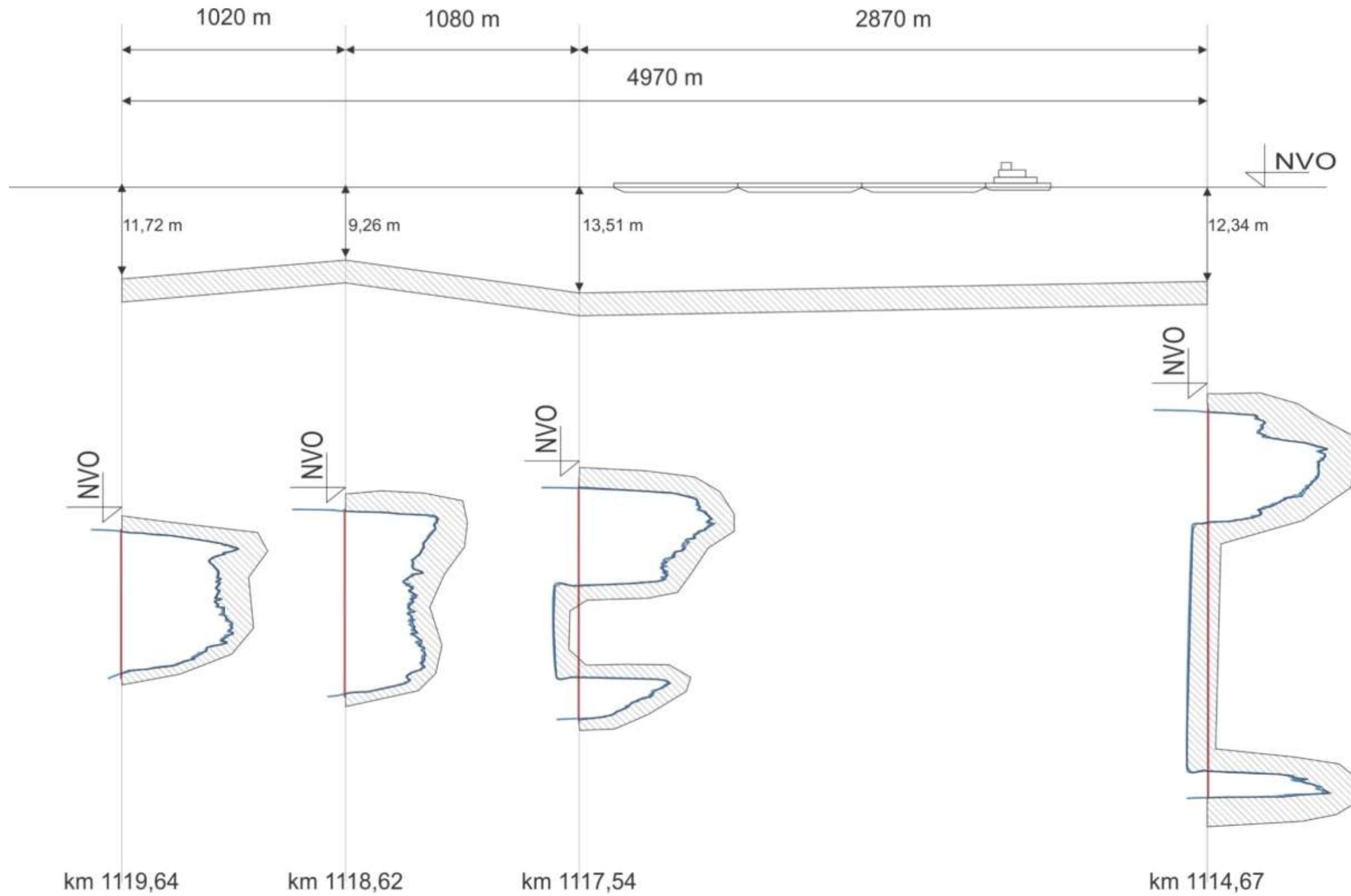
l_H – dužina sapnice sapnice.



Slika 6.1 Deo Smederevskog sektora od km1113 do km 1121 (Izvor: Commission du Danube 1990 b)



Slika 6.2 Deo Smederevskog sektora od km1104 do km 1112 (Izvor: Commission du Danube 1990 b)



Slika 6.3 Grafički prikaz profila dna i poprečnih profila rečnog korita na Smederevskom sektoru pri vodostaju na VMS Smederevo +413 cm (Crtež autor prema podacima: Elaborat snimanja profila Dunava i pritoka, Direkcija za unutrašnje plovne puteve "Plovput", za naručioca Privredno društvo "Hidroelektrane Đerdap" d.o.o. Kladovo, 2010)

Za potiskivane teretnjake (potisnice) potrebno je poznavati sledeće veličine:

Karakteristike trupa potisnica

Oblik trupa potisnice (simetrična ili nesimetrična);

L_{ao} – dužina preko svega (m);

L_{KVL} – dužina na konstruktivnoj vodnoj liniji (m);

B – konstruktivna širina trupa (m);

T_r – najveće (registrovano) gaženje potisnice (m);

T_0 – gaženje prazne potisnice (m);

V – istisnina pri najvećem gaženju (m^3);

Q_r – registrovana nosivost (t);

δ – koeficijent punoće istisnine;

β – koeficijent punoće glavnog rebra.

Karakteristike potiskivanog sastava

Ovo podrazumeva poznavanje oblika potiskivanog sastava koji se formira od određenog broja potisnica, dimenzije potiskivanog sastava kao i međusobnih odnosa dimenzija potiskivanog sastava L_{sast}/B_{sast} , L_{sast}/H_{sast} , T_{sast}/B_{sast} , B_{sast}/H_{sast} pri čemu su

L_{sast} – ukupna dužina potiskivanog sastava (m);

B_{sast} – ukupna širina potiskivanog sastava (m);

H_{sast} – bočna visina potiskivanog sastava (m);

T_{sast} – srednje gaženje svih potiskivanih teretnjaka u sastavu (m);

$T_r (T_{max})$ – registrovano, odnosno najveće gaženje potisnica u sastavu (m);

ΣQ_r – ukupna registrovana nosivost potiskivanog sastava (t);

ΣQ_e – ukupna eksploataciona nosivost (stvarno utovarena količina tereta) potiskivanog sastava (t);

ΣV – ukupna istisnina potiskivanog sastava (m^3)

δ_s – koeficijent punoće istisnine potisnica potiskivanog sastava; usvaja se kao srednja vrednost koeficijenta punoće istisnine svih potisnica u sastavu.

II – Procedura ispitivanja potiskivanih sklopova u realnim uslovima plovidbe na mernoj stazi

Za planere procesa vodnog prevoženja neophodno je poznavanje veličine radnih parametara i pokazatelja pri plovidbi brodova i sklopova. Jedan od osnovnih zadataka, pri tom, je utvrđivanje snage pogonskog uređaja potrebne da potiskivani sklop određene veličine (deplasmana, dimenzija, određenog oblika) postigne željenu brzinu. Isti zadatak može da se posmatra i na drugačiji način: koji je oblik potiskivanog sastava/sklopa najpovoljniji da brodpotiskivač određenih karakteristika postigne zahtevanu brzinu s najmanjom snagom pogonskih uređaja. Tri nabrojana elementa (željena brzina plovidbe, potrebna snaga pogona i

nosivost potiskivanog sastava) vrlo su usko međusobno povezana i njihovo rešavanje mora da osigura optimalne radne karakteristike-pokazatelje broda-potiskivača.

U nastavku izlaganja predstavlja se procedura eksperimenta – redosled operacija tokom merenja radnih parametara u realnim uslovima plovidbe neophodnih za proračun eksploatacionih pokazatelja broda-potiskivača koji radi sa sastavima različitih oblika, veličina i nosivosti upravo u cilju postizanja.

► u početnoj (pripremnoj) fazi eksperimenta brod-potiskivač uplovljava u kanal termoelektrane Kostolac (km 1104,7 reke Dunav), zaustavlja se na pogodnom mestu i vezuje uz obalu; potom, deo tima istraživača postavlja uređaje i instrumente i očitava nulte tačke na njima;

► po završenom podešavanju uređaja i instrumenata eksperiment ispitivanja započinje tako što brod-potiskivač radi „u mestu“ (gura obalu) – eksperiment je neophodno sprovesti za 5 do 6 različitih režima rada pogonskih motora, od najveće (nominalne) snage motora (N_i), tj. za nominalni broj obrtaja do, približno, jedne polovine najveće snage. Tokom rada pogonskih motora, pri utvrđenim režimima, na propelerskim vratilima pomoću postavljenih torziometara očitavaju se momenti torzije i njihovi brojevi obrtaja;

► kada se završi deo eksperimenta u kanalu, potiskivač isplovljava na Dunav i kreće na sidrište, izvezuje se za sastav kojeg čine potiskivani teretnjaci. Po izvezivanju deo tima istraživača pomoću postavljenog hidrometrijskog krila očitava parametre na osnovu kojih se, u kasnijem postupku očitava brzina rečnog toka;

► za narednu fazu eksperimenta neophodno je da brodarstvo-vlasnik broda obezbedi što je god moguće više potiskivanih teretnjaka (teorijski, beskonačno mnogo potisnica), tj., znatno veći broj potiskivanih teretnjaka u odnosu na broj predviđen projektnim zadatkom, na primer, kako bi se formirao sastav oblika P+n+n. Budući da je proračun eksploatacionih pokazatelja u funkciji brzine plovidbe i količine utovarenog tereta, rad broda-potiskivača sa sastavom kojeg čini veliki broj potisnica odvija se u uslovima $v \approx 0$ i $\Sigma Q_e \rightarrow \Sigma Q_{e(\max)}$. U ovoj fazi eksperimenta pogonski motori broda-potiskivača treba da rade u nekoliko režima, 4 do 5, kojom prilikom se očitavaju momenti torzije, brojevi obrtaja propelerskih vratila i, pomoću hidrometrijskog krila, brzine plovidbe u odnosu na vodu. Istovremeno, deo tima istraživača očitava na obalama postavljene markere na osnovu kojih se, u kasnijem postupku, proračunava brzina plovidbe sklopa u odnosu na obalu;

► po završenom očitavanju neophodnih parametara, rukovodilac istraživanja sa navigatorom broda utvrđuje mesto na mernoj stazi na kojem će se sklop oblika P+n+n zaustaviti. Deo tima istraživača na tom mestu odmah utvrđuje parametre hidrometrijskim krilom zbog proračuna brzine rečnog toka. Rukovodilac istraživanja i navigator utvrđuju narednu fazu eksperimenta tako što se smanjuje broj potiskivanih teretnjaka i određuje oblik potiskivanog sastava za naredna ispitivanja, na primer, P+(n-1)+(n-1). Brod-potiskivač započinje plovidbu i kada dostigne očekivanu brzinu plovidbe svi delovi tima istraživača

očitavaju radne parametre (torzioni momenti, brojevi obrtaja, brzine) za utvrđene režime rada pogonskih motora;

► eksperiment se nastavlja po redosledu koji utvrde rukovodilac istraživanja i navigator, usput smanjujući broj potiskivanih teretnjaka u sklopovima, na primer, $P+(n-2)+(n-2), \dots, P+3+3, P+2+2, P+1+1$, sve dok brod-potiskivač ne ostane da radi samo sa jednom potisnicom, oblika $P+1$. Pri svim oblicima potiskivanih sklopova eksperiment se sprovodi tako da pogonski motori rade u 5 do 6 različitih režima. Tim istraživača neprekidno meri i očitava radne parametre za sve utvrđene oblike sklopova pri odabranim režimima rada pogonskih motora;

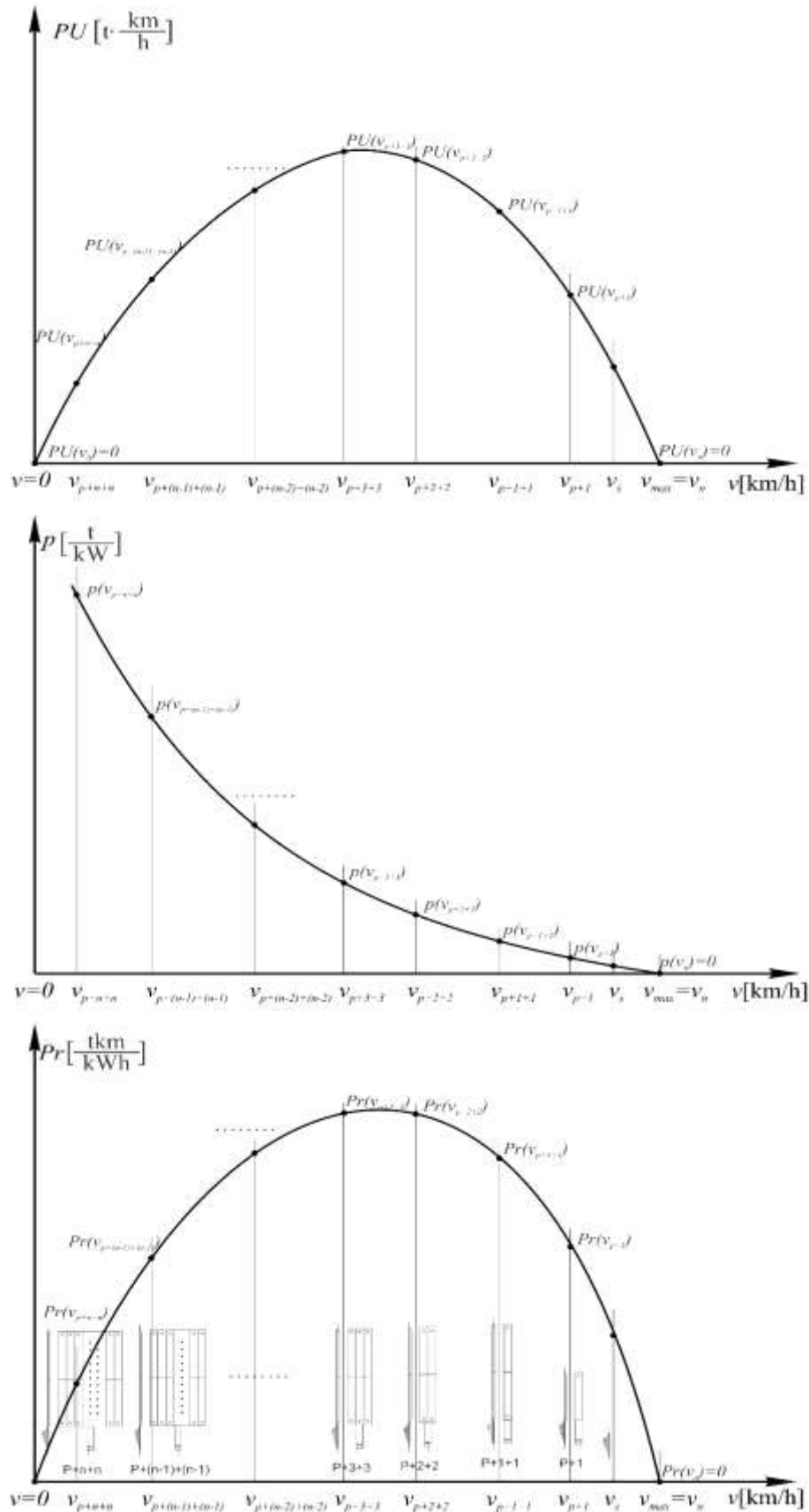
► eksperiment se završava kada brod-potiskivač započne plovidbu bez potiskivanih teretnjaka, pri čemu tim istraživača neprekidno meri i očitava radne parametre za utvrđene režime rada pogonskih motora.

Laboratorija za ispitivanje brodova i plovnih puteva Saobraćajnog fakulteta i Brodarski institut iz Zagreba sve eksperimente u realnim uslovima plovidbe sa brodovima-potiskivačima obavljali su isključivo pri uzvodnoj plovidbi.

Iz izložene procedure vršenja eksperimenta vidi se, da se pri svakoj promeni veličine i oblika potiskivanog sastava postižu (utvrđuju merenjem) različite veličine parametara, kao što su ukupna nosivost sastava (ΣQ_e), efektivna snaga pogonskih motora (ΣN_e) i brzina plovidbe u odnosu na vodu (v). Na primer, za sastav oblika $P+n+n$ poznati su: njegova ukupna nosivost $\Sigma Q_{e(n+n)}$, efektivna snaga $\Sigma N_{e(n+n)}$ i brzina plovidbe u odnosu na vodu $v_{(n+n)}$. Istovetnim postupkom, a smanjivanjem broja potiskivanih teretnjaka u sastavima, utvrđuju se veličine $\Sigma Q_{e(n-1)+(n-1)}$, $\Sigma N_{e(n-1)+(n-1)}$, $v_{(n-1)+(n-1)}$; \dots $\Sigma Q_{e(3+3)}$, $\Sigma N_{e(3+3)}$, $v_{(3+3)}$, $\Sigma Q_{e(2+2)}$, $\Sigma N_{e(2+2)}$, $v_{(2+2)}$, $\Sigma Q_{e(1+1)}$, $\Sigma N_{e(1+1)}$, vodi $v_{(1+1)}$.

U tabeli 6.1 prikazuje se postupak ispitivanja radnih parametara kada brod-potiskivač tokom eksperimenta radi sa sastavima različitih oblika, pri čemu postiže odgovarajuće vrednosti ΣQ_e , ΣN_e i v .

Primenom izraza za proračun prevoznog učinka, PU (5.8 i 5.9), pokazatelja opterećenja pogonskih motora, p (5.6 i 5.7) i rezultativnog eksploatacionog pokazatelja, P_r (5.12 i 5.13) precizno se dobijaju njihove stvarne (realne) vrednosti utvrđene eksperimentom. Osim nabrojanih vrednosti, poznate su još dve veličine, i to za $v=0$ i za $v=v_{max}$ pri kojoj je $\Sigma Q_e=0$. Znajući sve vrednosti, a koje zavise od različitih oblika potiskivanih sklopova, pristupa se konstrukciji odgovarajućih dijagrama, tako da je na slici 6.4, prikazan postupak konstrukcije krive promene prevoznog učinka (PU , tkm/h), krive promene pokazatelja opterećenja pogonskih motora (p , t/kW) i krive promene rezultativnog eksploatacionog pokazatelja (P_r , tkm/kWh) u funkciji brzine plovidbe u odnosu na vodu (v , km/h).



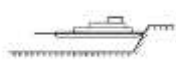
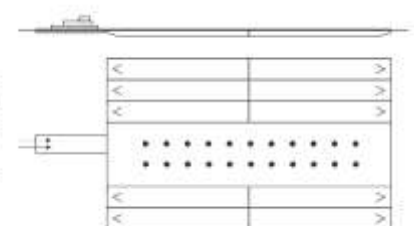
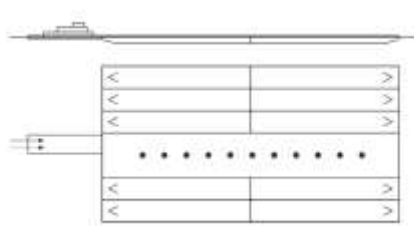

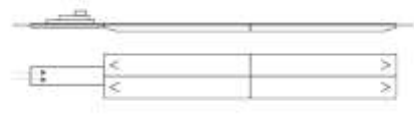
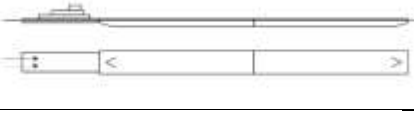
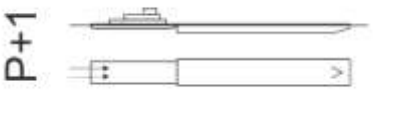
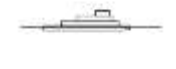

Slika 6.4 Postupak konstrukcije krivih promene prevoznog učinka, statičkog opterećenja pogonskih motora i rezultativnog eksploatacionog pokazatelja – teorijski pristup (Izvor: autor)

Očigledno je, da krive promene prevoznog učinka (PU) i rezultativnog eksploatacionog pokazatelja (P_r) započinju iz koordinatnog početka (za $v=0$). Postepenim povećavanjem brzine ($v_{p+n+n} < v_{p+(n-1)+(n-1)} < v_{p+(n-2)+(n-2)} < \dots < v_{p+3+3} < v_{p+2+2} \dots < v_{max}$) što se postiže smanjivanjem broja potiskivanih teretnjaka u sastavima i njihove nosivosti ($\Sigma Q_{ep+(n+n)} > \Sigma Q_{e(p+(n-1)+(n-1))} > \Sigma Q_{e(p+(n-2)+(n-2))} > \dots > \Sigma Q_{e(p+(3+3))} > \Sigma Q_{e(p+(2+2))} \dots > \Sigma Q_{e=0}$) krive promene dostižu svoju najveću vrednost, da bi potom, za najveću brzinu plovidbe broda-potiskivača (pri $\Sigma Q_e=0$, tj. kada brod-potiskivač plovi *separat* i nema nijednu potisnicu) ponovo dobile vrednosti nula, tj. $PU=0$ i $P_r=0$.

Nasuprot tome, kriva promene pokazatelja opterećenja pogonskih motora pri najvećoj vrednosti ukupne nosivosti (za $\Sigma Q_e=\max$) i limitiranu snagu pogonskih motora postiže svoju maksimalnu veličinu. Daljim smanjivanjem broja potiskivanih teretnjaka u sastavima smanjuje se, istovremeno, njihova ukupna nosivost, tako da za, praktično, nepromenjene vrednosti snage pogonskih uređaja (za $\Sigma N_e \approx \text{const}$) ovaj pokazatelj dobija postupno sve manje vrednosti. Kriva promene opterećenja pogonskih motora završava se u tački za $v=v_{max}$, kada je ukupna količina tereta u potisnicama jednaka nuli, tj. $\Sigma Q_e=0$.

Cilj eksperimentalnih istraživanja potiskivanih sastava/sklupova u realnim uslovima plovidbe je, da se utvrdi takva kombinacija njihovog oblika, ukupne nosivosti i brzine plovidbe, kao i angažovane snage pogonskih motora broda-potiskivača pri kojoj se postižu najveće vrednosti prevoznog učinka i rezultativnog eksploatacionog pokazatelja, pod uslovom da se, istovremeno, pokazatelj opterećenja pogonskih motora broda nalazi u optimalnim granicama.

Tabela 6.1 Postupak utvrđivanja rezultativnog eksploatacionog pokazatelja broda-potiskivača kada plovi sa sastavima različitih oblika (Izvor: autor)

Brzine	Parametri rezultativnog eksploatacionog pokazatelja	Grafički prikaz potiskivanog sklopa
$v_0=0$	$\sum Q_e(v_0)=Q_{emax}$ $\sum N_e(v_0)=N_{emax}$	
$v_{p+(n+n)}$	$\sum Q_e(v_{p+n+n})$ $\sum N_e(v_{p+n+n})$	$P+n+n$ 
$v_{p+(n-1)+(n-1)}$	$\sum Q_e(v_{p+(n-1)+(n-1)})$ $\sum N_e(v_{p+(n-1)+(n-1)})$	$P+(n-1)+(n-1)$ 
...		...
v_{p+3+3}	$\sum Q_e(v_{p+3+3})$ $\sum N_e(v_{p+3+3})$	$P+3+3$ 
v_{p+2+2}	$\sum Q_e(v_{p+2+2})$ $\sum N_e(v_{p+2+2})$	$P+2+2$ 
v_{p+1+1}	$\sum Q_e(v_{p+1+1})$ $\sum N_e(v_{p+1+1})$	$P+1+1$ 
v_{p+1}	$\sum Q_e(v_{p+1})$ $\sum N_e(v_{p+1})$	$P+1$ 
v_s	$\sum Q_e(v_s)=0$ $\sum N_e(v_s)$	
$v_n=v_{max}$	$\sum Q_e(v_{max})=0$ $\sum N_e(v_{max})$	

7 PRIMENA REZULTATA UTVRĐENIH TOKOM SPROVEDENIH EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA

7.1 Opis problema istraživanja

Oblik potiskivanog sastava, odnosno potiskivanog sklopa, bira se iz uslova postizanja više zahteva, kao što su: obezbeđenje zadate nosivosti, specifičnost eksploatacije, uslovi u plovnom putu, upravljivost i td. Osim toga, jedan od glavnih zahteva odnosi se na ispunjenje maritimnih svojstava, što se postiže kako racionalnim izborom broskog kretnog kompleksa tako i dostizanjem minimalnog, koliko je to moguće, ukupnog otpora vode pri kretanju.

Kretanje potiskivanog sastava i/ili sklopa je njegova sposobnost da se premešta nekom brzinom usled delovanja određene sile koja mu je pridodata. Ovu silu stvaraju brodska kretna sredstva i pri zadatoj brzini $v=const$ treba da je jednaka sili otpora sredine – vode i vazduha. Prilikom izučavanja pojma o kretanju obično se razmatra slučaj ravnomernog kretanja (pri $v=const$) u smeru njegove uzdužne ravni simetrije, tj. kada je potiskivani sastav/sklop na pravolinijskom kursu. Osim toga, pretpostavlja se da se sastav/sklop kreće po površini vode, tako da dubina i širina plovnog puta nisu ograničeni, dok kretanje rečnog toka i vetar praktično ne utiču na brzinu plovidbe.

U eksploataciji vodnog saobraćaja moguće je formirati različite oblike potiskivanih sastava/sklopova. Najveću primenu imaju sastavi koje čine potiskivani teretnjaci koji su spojeni svojim krajevima, tzv. učeljeni sastavi i oni kod kojih su teretnjaci spojeni svojim bokovima, tzv. bočno vezani sastavi. U svakom konkretnom slučaju sastav je poželjno formirati na takav način da se smanji otpor vode pri njegovom kretanju i osigura zadovoljavajuća upravljivost.

Tokom procesa eksploatacije brodova saobraćajne službe u brodarstvima nužno rešavaju veliki broj zadataka koji se odnose na određivanje brzine plovidbe, veličinu i oblik potiskivanog sastava. Problem je posebno složen kada broderska kompanija raspolaže različitim tipovima potiskivanih teretnjaka i brodova potiskivača koji se razlikuju po obliku, dimenzijama, sopstvenoj masi i nosivosti. Za planere procesa vodnog prevoženja neophodno je poznavanje veličine otpora sredine pri plovidbi brodova i potiskivanih sastava/sklopova. Jedan od osnovnih zadataka koji se, pri tom rešavaju, je utvrđivanje snage pogonskog uređaja potrebne da potiskivani sastav/sklop određene veličine (poznatog oblika, deplasmana, nosivosti) postigne željenu brzinu. Isti zadatak može da se posmatra i na drugačiji način, tj., koji oblik potiskivanog sastava/sklopa je najpovoljniji kako bi brod-motorni potiskivač određenih karakteristika postigao zahtevanu brzinu s najmanjom snagom pogonskih uređaja.

U tehničko-tehnološkom smislu upotrebna vrednost potiskivanih sastava/sklopova, odnosno, utvrđivanje radnih karakteristika brodova-potiskivača i potiskivanih sastava, kao i njihova podobnost za primenu u eksploataciji može da se utvrdi na dva načina, i to na osnovu:

1. *hidrodinamičke efektivnosti sastava/sklopa,*

2. poznatih izraza za proračun **eksploatacionih pokazatelja rada brodova-potiskivača**

1. Hidrodinamička efektivnosti sastava/sklopa izražava se pomoću **koeficijenta oblika sastava/sklopa** kojim se ocenjuje uticaj svih činilaca (karakteristike broda-potiskivača, potiskivanih teretnjaka u sastavu, plovnog puta, ukupne nosivosti i dr.) na veličinu ukupnog otpora vode pri njegovom kretanju.

Poznato je da se ukupni otpor kojeg čine potiskivani teretnjaci i brod-potiskivač, zajedničkim imenom naziva **otpor sklopa** računa pomoću izraza (Головников i dr. 1976, Анфимов i dr. 1978, Кречулj i Čolić 1982, Ваганов i dr. 1986, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu 1986, Škiljaica i Škiljaica 2012; Predavanja i vežbe iz predmeta “Otpor i propulzija broda”)

$$R_{skl} = k \cdot R_{pot} + k_{sast} \cdot \sum_{i=1}^n R_i \quad 7.1$$

ili

$$R_{skl} = k_{skl} \cdot \left(\sum_{i=1}^n R_i + R_{pot} \right) \quad 7.2$$

gde su:

R_{skl} – ukupni otpor svih potiskivanih teretnjaka u sastavu i broda-potiskivača, N;

k – koeficijent smanjenja sopstvenog otpora broda-potiskivača zbog rada propelera u zoni sustrujanja (povratnog strujanja) sastava, zbog čega se s jedne strane njegov otpor smanjuje, a s druge povećava koeficijent iskorišćenja propelera;

R_{pot} – ukupni otpor broda-potiskivača kada plovi bez sastava potiskivanih teretnjaka, N;

k_{sast} – koeficijent oblika sastava potiskivanih teretnjaka;

k_{skl} – koeficijent oblika potiskivanog sklopa;

n – ukupan broj potiskivanih teretnjaka od kojih je formiran sastav;

R_{ter} – ukupni otpor jednog potiskivanog teretnjaka iz sastava, N;

$\sum_{i=1}^n R_i$ - ukupni otpor svih potiskivanih teretnjaka u sastavu, N.

Ukupni otpor potiskivanog sastava (bez broda-potiskivača) računa se pomoću izraza 7.3:

$$R_{sast} = k_{sast} \cdot \sum_{i=1}^n R_i \quad 7.3$$

pri čemu je $R_{sast} = \sum_{i=1}^n R_{ter}$ – ukupni otpor svih potisnica u potiskivanom sastavu, N.

Vrednost koeficijenta oblika potiskivanog sastava može da bude veći ili manji od jedan, što zavisi od oblika, načina vezivanja potisnica među sobom i brzine plovidbe u odnosu na vodu. Koeficijent oblika sastava utvrđuje se na osnovu eksperimentalnih ispitivanja već izgrađenih brodova ili ispitivanja modela brodova u posebnim institutima.

Sekcioni potiskivani sastavi (Багахов i drugi 1986.) sastoje se od nesimetričnih potiskivanih teretnjaka koji su međusobno spojeni svojim krmnim delovima (slika 2.7). Na taj način postignuta je gotovo potpuna eliminacija vodenih prostora između potisnica, usled čega može da se smatra da se radi o jedinstvenom plovnom objektu. Veličina ukupnog otpora vode pri kretanju jednog para potiskivanih teretnjaka postavljenih u formaciju 1+1 jednaka je R_{1+1} . Ukupni otpor pri kretanju sastava koji imaju veći broj parova sekcija (na primer, 2, 3, 4), pri čemu se formiraju sastavi oblika 2+2, 3+3 ili 4+4, računa se kao suma otpora svih parova koji čine jedan sekcioni sastav oblika 1+1, pomnožena odgovarajućim koeficijentom oblika sastava, prema izrazu 7.4:

$$R_{S.S.} = k_{S.S.} \cdot \sum_{i=1}^n R_{i(1+1)} \quad 7.4$$

gde su:

$R_{S.S.}$ – ukupni otpor sekcionog potiskivanog sastava, N;

$k_{S.S.}$ – koeficijent oblika sekcionog potiskivanog sastava;

$R_{i(1+1)}$ – ukupni otpor jednog para potiskivanih teretnjaka u sekcionom sastavu, N;

$\sum_{i=1}^n R_{i(1+1)}$ – ukupni otpor svih potisnica u sekcionom sastavu, N;

n – broj parova potisnica postavljenih u oblik 1+1.

Na osnovu izloženih iraza 7.1 do 7.4 može da se pristupi proračunu koeficijenta oblika sastava (k_{sast}) ili koeficijenta oblika potiskivanog sklopa (k_{skl}), te na taj način utvrdi njihova hidrodinamička efektivnost.

Utvrđivanje veličine ukupnog otpora potiskivanih sastava/sklopova, osim računskim metodama, može da se obavi na još dva načina, i to:

► dinamometrijskim ispitivanjem već izgrađenih brodova na plovnom putu pri realnim uslovima plovidbe, i

► ispitivanjem sastava različitih oblika formiranih od izgrađenih modela potisnica i brodova-potiskivača u istraživačkim bazenima.

Važno je istaći, da se postojeće računске metode za određivanje veličine ukupnog otpora jedne potisnice i sastava potisnica različitih oblika zasnivaju na eksperimentalnim istraživanjima koja su sprovedena u specijalnim istraživačkim bazenima (kao što su, na primer, bazeni u Zagrebu, Vageningenu, Duizburgu, Lenjingradu) i stranim iskustvima.

Dinamometrijsko ispitivanje izgrađenih brodova-potiskivača, potisnica ili potiskivanih sastava/sklopova u realnim uslovima plovidbe zasniva se na tegljenju sastava/sklopa čiji se otpor određuje pomoću drugog broda i na merenju sile otpora u vučniku (vučnom užetu). Sila (tj. ukupni otpor sastava/sklopa) nastala u vučnom užetu meri se uređajem-dinamometrom na kome se pri određenoj brzini očitava veličina ukupnog otpora. Dinamometrijsko ispitivanje otpora izgrađenih brodova koji imaju posadu i sopstveni sistem krmilarenja ne predstavlja problem. Problem nastaje kada je potrebno obaviti dinamometrijsko ispitivanje izgrađenog

potiskivanog teretnjaka koji ne poseduje niti sopstveni sistem za krmilarenje niti posadu koja bi održavala pravac iza broda-tegljača. Još veći problem nastaje kada je potrebno obaviti dinamometrijsko ispitivanje više međusobno povezanih potiskivanih teretnjaka (sastav) kada se uz njih ne nalazi brod-potiskivač. Na osnovu dostupne literature (Lalošević i drugi 1960) uočeno je samo jedno merenje ukupnog otpora sklopa tegljenjem od strane broda-tegljača, 1960. godine. Te godine tehnička služba Jugoslovenskog rečnog brodarstva za svoje potrebe obavila je ispitivanje otpora jednog potiskivanog sklopa oblika P+2+2 za različite brzine plovidbe, čime se dobio $R_{skl(P+2+2)} = f(v)$. Potiskivani sklop bio je vučnim užetom vezan za brod-tegljač pri čemu je veličina ukupnog otpora potiskivanog sklopa merena dinamometrom, dok je brzina plovidbe u odnosu na vodu merena hidrometrijskim krilom. Merna staza nalazila se na reci Dunav, između km 1166 i km 1162; srednja dubina vode na mernoj stazi za vreme eksperimenta iznosila je $\bar{h} = 5,55$ m.

Ispitivanje veličine ukupnog otpora jedne potisnice ili sastava različitih oblika kao celine u istraživačkim bazenima zasniva se merenju otpora izgrađenih modela potisnica i brodova-potiskivača. Na osnovu preliminarnog nacрта trupa potiskivanog teretnjaka izrađuje se njegov model u određenoj razmeri. Zatim, u uslovima mirne vode model se najpre ispituje tegljenjem duž bazena pri različitim istisninama i za različite vrednosti gaza. Kod tog eksperimenta meri se ukupni otpor pri kretanju modela potisnice kroz vodu različitim brzinama, odabranim u pravilnim intervalima u području koje odgovara brzinama u realnim uslovima plovidbe. Međutim, mali broj od tih ispitivanja ima potvrdu sa ispitivanja sprovedenih u realnim uslovima plovidbe na rekama Dunavske plovne mreže, tj. plovidbe stvarno izgrađenih brodova-potiskivača i potisnica naših brodarskih kompanija u plovnom putu dovoljne dubine ili ograničene dubine i širine.

Potrebno je naglasiti da dostupna literatura raspolaže samo jednim ispitivanjem otpora potiskivanih sastava/sklopova naših brodarskih kompanija u realnim uslovima plovidbe, a da se ne raspolaže ni dovoljnim uzorkom sprovedenih ispitivanja u cilju određivanja otpora potiskivanih sastava/sklopova u istraživačkim bazenima. Budući da su istraživanja u realnim uslovima plovidbe neophodna za utvrđivanje validnih rezultata koji se tiču određivanja tehničkih i eksploatacionih parametara rada brodova-potiskivača i potiskivanih sastava, potonja istraživanja *neće se zasnivati na proračunu hidrodinamičke efektivnosti sastava/sklopova, niti na proračunima odgovarajućih koeficijenta oblika sastava/sklopova.*

2. Poznati izrazi za proračun eksploatacionih pokazatelja rada brodova-potiskivača na temelju sprovedenih ispitivanja potiskivanih sastava/sklopova naših brodarskih kompanija u različitim i realnim uslovima plovidbe. Izračunate vrednosti eksploatacionih pokazatelja zasnivaju se na tri veličine utvrđene tokom sprovedenih eksperimenata, i to: ukupna nosivost potiskivanih sastava, efektivna snaga izmerena na propelerskim vratilima broda-potiskivača i izmerena brzina plovidbe u odnosu na vodu. Eksploatacioni pokazatelji, na osnovu kojih će se u nastavku rada utvrđivati stepen podobnosti pojedinih potiskivanih sastava/sklopova su:

registrovana nosivost potisnice, odnosno registrovana nosivost sastava (Q_r ; ΣQ_r , t), stvarno utovarena koliina tereta u jednu potisnicu i u sve potisnice sastava (Q_e ; ΣQ_e , t), snaga izmerena na jednom propelerskom vratilu i na svim vratilima broda-potiskivača (N_e ; ΣN_e , kW), koeficijent iskorišćenja nosivosti potiskivanog sastava (ϵ_{sast}), brzina plovidbe u odnosu na vodu (v , km/h, m/s), specifično opterećenje pogonskih motora broda (p , t/kW), prevozni učinak sklopa (PU , tkm/h), rezultativni eksploatacioni pokazatelj sklopa (P_r , tkm/kWh), kvalitet tonaže sklopa (k_T , t/N·m²/s²), specifični otpor sklopa po nosivosti (r_Q , N/t_{nos.}) i specifični otpor po deplasmanu sklopa (r_D , N/t_{depl.}).

Pod **redukovanim otporom** potiskivanih sklopova, odnosno sastava, podrazumeva se otpor sklopa, odnosno sastava u odnosu na brzinu od 1 m/s, i računa se prema izrazu:

$$\bar{R}_{skl} = \frac{R_{skl}}{v^2} \left[N \cdot \frac{s^2}{m^2} \right] \quad 7.5$$

ili

$$\bar{R}_{sast} = \frac{R_{sast}}{v^2} \left[N \cdot \frac{s^2}{m^2} \right] \quad 7.6$$

gde su:

\bar{R}_{skl} , \bar{R}_{sast} – redukovani otpor potiskivanog sklopa, odnosno potiskivanog sastava,
 $N \cdot \frac{s^2}{m^2}$

v – brzina plovidbe potiskivanog sklopa/sastava u odnosu na vodu, m/s.

Za ocenu eksploatacionih svojstava potiskivanih sastava koristi se **specifični otpor** pod kojim se podrazumeva ukupni otpor sastava po 1 t nosivosti ili po 1 t deplasmana, prema izrazima:

$$r_Q = \frac{\Sigma R}{\Sigma Q} \text{ [N/t}_{nosiv.}] \quad 7.7$$

odnosno

$$r_D = \frac{\Sigma R}{\Sigma D} \text{ [N/t}_{deplas.}] \quad 7.8$$

gde su:

r_Q – specifični otpor potiskivanog sastava po 1 t nosivosti, N/t;

r_D – specifični otpor potiskivanog sastava po 1 t deplasmana, N/t;

ΣR – ukupni otpor svih potisnica u potiskivanom sastavu, N;

ΣQ – ukupna nosivost svih potisnica u sastavu, t;

ΣD – ukupni deplaman svih potisnica u sastavu, t.

Pokazatelj kvaliteta tonaže predstavlja odnos između ukupne eksploatacione nosivosti potiskivanog sastava i redukovano otpora potiskivanog sastava, i računa prema izrazu:

$$k_T = \frac{\Sigma Q_e}{\bar{R}_{skl}} \left[\frac{t}{N} \cdot \frac{m^2}{s^2} \right] \quad 7.9$$

pri čemu su:

$$k_T - \text{pokazatelj kvaliteta tonaže, } \frac{t}{N} \cdot \frac{m^2}{s^2};$$

ΣQ_e – ukupna eksploataciona nosivost svih potisnica u sastavu, t;

$$\bar{R}_{skl} - \text{redukovani otpor potiskivanog sklopa, } N \cdot \frac{s^2}{m^2}$$

7.2 Potreba za poznavanjem eksploatacionih pokazatelja rada brodova

Za ekonomiju rečnog saobraćaja velika važnost pridaje se rešavanju problema da:

- potiskivani sastav/sklop postigne najveću moguću brzinu kod određene nosivosti i snage pogonskih uređaja, ili
- potiskivani sastav/sklop postigne određenu brzinu sa najmanjom mogućom snagom pogonskih uređaja, a time i najmanjom potrošnjom goriva.

Iz tog razloga posebna pažnja pridaje se pronalaženju rešenja za ostvarivanje što povoljnijeg i ekonomičnijeg oblika potiskivanog sastava/sklopa, kao i zbog predviđanja njegovih svojstava na temelju ispitivanja u realnim uslovima plovidbe. Zbog toga pristupa se posebnim ispitivanjima koja se sprovode u cilju izučavanja uticaja režima rada pogonskih uređaja broda-potiskivača, oblika i dimenzija potiskivanih sastava, odnosno, sklopova, karakteristika plovnog puta (pri čemu su od posebne važnosti dubina i brzina rečnog toka) na njihova brzinska i eksploataciona svojstva. Na temelju ovakvih ispitivanja izrađuju se preporuke čiji cilj je poboljšanje radnih i brzinskih svojstava sastava/sklopova, pripremaju se dodatna uputstva u cilju preciznijeg normiranja opterećenja pogonskih uređaja brodova-potiskivača u skladu s njihovima tehničkim stanjem i, na kraju, utvrđuje se stepen usklađenosti rada pogonskih uređaja sa efektima koje postiže propulzivni kompleks u zavisnosti od njihovog trenutnog stanja.

Poznavanje prevozne sposobnosti jednog potiskivanog sastava/sklopa podrazumeva utvrđivanje veličine transportnog rada koji može da bude ostvaren sastavima/sklopovima unapred utvrđenih karakteristika pri određenoj opremljenosti, na plovnom putu čije osobine su poznate i usvojenoj organizaciji rada u posmatranom vremenskom periodu. Prema tome, prevozna sposobnost izražava proizvodnu moć transportnih sredstava.

Pri analizi transportne sposobnosti brodova za praktične potrebe eksploatacije od velikog značaja je rešavanje dva zadatka:

1. određivanje najveće moguće (maksimalne) prevozne sposobnosti postojećih potiskivanih teretnjaka i brodova-potiskivača pri stvarnim uslovima rada, i

2. određivanje minimalno potrebnog broja plovnih prevoznih sredstava za izvršenje predviđenog (zadatog) obima prevoženja.

Jedan od najvažnijih načina za proračun veličine transportne sposobnosti potiskivanih sastava/sklopova ($\Pi_{(ps)}$) i brodova-potiskivača ($\Pi_{(pot)}$), u zadatom periodu eksploatacije (T_e), je primena eksploatacionih pokazatelja, pri čemu najveću važnost ima rezultativni eksploatacioni pokazatelj, P_r , pomoću izraza:

► potiskivani sastav:

$$\Pi_{(ps)} = P_{r(ps)} \cdot \sum Q_r \cdot T_e (=) \frac{t \cdot km}{t_n \cdot h} \cdot t_n \cdot h (=) t \cdot km \quad 7.10$$

► brod-potiskivač:

$$\Pi_{(pot)} = P_{r(pot)} \cdot \sum N_e \cdot T_e (=) \frac{t \cdot km}{kW \cdot h} \cdot kW \cdot h (=) t \cdot km \quad 7.11$$

gde su $\sum Q_r$ – registrovana nosivost svih potisnica u odabranom sastavu dok je $\sum N_e$ – suma efektivne snage pogonskih motora broda-potiskivača utvrđena eksperimentom u realnim uslovima plovidbe.

7.3 Postupak utvrđivanja radnih karakteristika brodova-potiskivača pri radu sa potiskivanim sastavima/sklopovima na osnovu eksperimenata izvršenim u realnim uslovima plovidbe

Izloženo je već (poglavlje 6) da se eksperimenti u realnim uslovima plovidbe izvode za više režima rada pogonskih uređaja broda-potiskivača, kojom prilikom se za svaki od režima mere (ili očitavaju) srednja brzina plovidbe u odnosu na vodu (v), ukupna efektivna snaga izmerena na propellerskim vratilima ($\sum N_e$) i broj obrtaja propellerskih vratila (n).

Postupak utvrđivanja radnih karakteristika potiskivanih sastava/sklopova i brodova potiskivača na osnovu rezultata utvrđenih merenjem parametara u realnim uslovima plovidbe sastoji se iz sledećih celina, i to:

1. na osnovu uvida i pregleda odgovarajuće tehničke dokumentacije pristupa se utvrđivanju osnovnih konstruktivnih osobenosti broda-potiskivača i potiskivanih teretnjaka (potisnica), pod kojima se podrazumevaju: dužina preko svega i dužina na konstruktivnoj vodnoj liniji (L_{oa} ; L_{kvl}), širina na konstruktivnoj vodnoj liniji (B_{kvl}), gaz praznog i punog broda (T_0 ; T_{max}), konstruktivna visina (H_k), deplasman (D), koeficijent punoće istisnine (δ), koeficijent iskorišćenja deplasmana (η_{DW}), broj pogonskih motora i njihova ukupna ugrađena snaga ($\sum N_i$) i registrovana nosivost potisnica (Q_r);
2. utvrđivanje osnovnih karakteristika, za eksperiment, odabranih potiskivanih sastava i sklopova, kao što su: ukupna dužina sklopa/sastava (L_{skl}/L_{sast}), ukupna širina sklopa/sastava (B_{skl}/B_{sast}), odnos dužine i širine sklopa/sastava (L_{skl}/B_{skl} ; L_{sast}/B_{sast}), srednji gaz potiskivanog sklopa kojeg čine sve potisnice u sklopu i brod-potiskivač (\bar{T}); koeficijent prenosa snage (η_{pr}); koeficijent iskorišćenja nosivosti potisnica u sastavu (ϵ_{sast}).

Srednji gaz svih plovila u potiskivanom sklopu računa se na osnovu izraza (Павленко 1979):

$$\bar{T} = T \cdot [1 + l_T \cdot (t_T - 1)] \quad 7.12$$

pri čemu su: $l_T = \frac{L_T}{L}$, odnosno $t_T = \frac{T_T}{T}$, gde su: L_T ; T_T – konstruktivne dimenzije

broda-potiskivača, a L i T – konstruktivne dimenzije potiskivanog sastava. Vrlo čest slučaj, koji se javlja tokom eksploatacije brodova je da su potisnice u sastavu utovarene na različiti gaz, čiju veličinu nije lako očitati neposredno pre započinjanja eksperimenta. Budući da nosivost brodova zavisi od veličine gaza, $Q_e = f(T_e)$, ova okolnost istovremeno, menja eksploatacionu nosivost brodova, odnosno eksploatacionu nosivost svih brodova za prevoz tereta koji ulaze u potiskivani sastav, ΣQ_e . Pri eksploatacionom gasu T_e nosivost broda (Анфимов i drugi 1978, Головников i drugi 1976., Ваганов i drugi 1986.) određuje se primenom linearne interpolacije, prema izrazu (5.26) pri čemu se q – specifična nosivost pojedinih potisnica iz sastava po 1 cm gaza (t/cm) računa prema izrazu $q = \frac{Q_r}{T_r - T_0}$. Na

osnovu podataka iz tovarnog lista utvrđuje se stvarno utovarena količine tereta (Q_e) za svaku od potisnica iz sastava na osnovu čega može da se ustanovi njen trenutni gaz tokom faze obavljanja eksperimenata, pomoću izraza:

$$T_e = T_r - \frac{Q_r - Q_e}{q} \quad 7.13$$

Analizom uzajamnog odnosa pogonski motor-propeler proverava se stepen usaglašenosti propelera konstantnog koraka sa snagom koju razvijaju pogonski motori pri različitim režimima rada, u različitim uslovima plovidbe i za različite oblike potiskivanih sklopova. Geometrijske karakteristike propelera treba da budu takve da oni u potpunosti odgovaraju pogonskom postrojenju i obliku sklopa za poznate uslove plovidbe. Smatra se da je propeler konstantnog koraka saglasan s radom pogonskog motora, ako motor, predajući snagu propeleru, razvija nominalnu snagu (N_0) i nominalni broj obrtaja (n_0) pri računskoj brzini plovidbe. U tom smislu pristupa se konstrukciji dijagrama rada pogonskog motora sa karakteristikama koje odgovaraju ispitanim na probnom stolu opitne stanice proizvođača kao i konstrukciji krivih (ili samo tačaka) koje opisuju rad pogonskog motora za različite oblike potiskivanih sklopova. Ukoliko se pri nominalnoj snazi (N_0) postigne u eksperimentu broj obrtaja manji od nominalnog $n < n_0$ tada je propeler u hidrodinamičkom smislu *težak* (krive koje opisuju rad pogonskog motora za različite sklopove nalaze se iznad krive konstruisane na osnovu rezultata postignutih na probnom stolu u opitnoj stanici, i tada propulzor ima opterećujuće dejsvo na motor. I obrnuto, ukoliko se krive koje opisuju rad pogonskog motora za različite sklopove nalaze ispod krive konstruisane na osnovu rezultata postignutih na probnom stolu u opitnoj stanici tada je propeler u hidrodinamičkom *lak* (u tom slučaju motor

postizhe broj obrtaja, ali razvijaće snagu koja je manja od nominalne) (Анфимов i drugi 1978., Головников i drugi 1976, Čolić i drugi 2005).

Stepen iskorišćenja ukupne snage pogonskih motora broda-potiskivača, koji se izražava pomoću koeficijenta prenosa snage, (η_{pr}) pri radu sa sklopovima različitih

karakteristika i pri različitim režimima rada računa se pomoću izraza $\eta_{pr} = \frac{\Sigma N_e}{\Sigma N_i}$, gde su

ΣN_e - ukupno izmerena (efektivna) snaga broda-potiskivača utvrđena na propelerskim vratilima tokom eksperimenata, a ΣN_i – ukupna snaga pogonskih motora ugrađenih u brod-potiskivač. Koeficijent prenosa snage (η_{pr}) u sebi sadrži stepen iskorišćenja pogonskog motora (η_m), stepen iskorišćenja prenosnika (η_r) i stepen iskorišćenja ležaja propelerskih vratila (η_{vr}) do mesta postavljanja torziometra na vratilu. Prema dostupnoj literaturi, stepen iskorišćenja pogonskih motora (ili mehanički koeficijent korisnog delovanja postrojenja, koji obuhvata sve gubitke nastale u pogonskom uređaju) nalazi se u granicama $\eta_m=0,78\div 0,92$; stepen iskorišćenja prenosnika zavisi od vrste prenosnika i obuhvata gubitke nastale u prenosniku, a nalazi se u granicama $\eta_r=0,97\div 0,99$, dok koeficijent iskorišćenja voda vratila (međuvratilo i propelersko vratilo), koji nastaje zbog trenja u ležajima, zavisi od vrste i broja ležaja na koja se oslanja vratilo i nalazi se u granicama $\eta_{vr}=0,97\div 0,99$ (pri čemu se gornja granica usvaja kod kratkih vratila). Prema tome, kompleksni mehanički koeficijent korisnog delovanja prenosa računa se kao proizvod tri navedena koeficijenta, tj. $\eta_{pr} = \eta_m \cdot \eta_r \cdot \eta_{vr}$. (Анфимов i drugi 1978., Головников i drugi 1976, Čolić i drugi 2005).

Koeficijent iskorišćenja deplasmana jedne potisnice (*koeficijent utilizacije* – Лесюков 1982) računa se na osnovu izraza $\eta_{DW} = \frac{Q_r}{D}$, dok se koeficijent iskorišćenja nosivosti

potisnica u potiskivanom sastavu računa pomoću izraza $\epsilon_{sast} = \frac{\Sigma Q_e}{\Sigma Q_r}$, pri čemu su ΣQ_e –

ukupna količina tereta u svim potisnicama sastava, dok je ΣQ_r – suma registrovanih nosivosti svih potisnica u sastavu.

3. utvrđivanje osnovnih karakteristika dela merne staze na kojoj se eksperiment odvija, i to: srednja dubina (\bar{h}), odnos između srednje dubine na mernoj stazi i srednjeg gaza potiskivanog sklopa (\bar{h}/\bar{T}), srednja (izmerena) brzina plovidbe u odnosu na vodu na delu merne staze koji odgovara datom obliku potiskivanog sklopa i režimu rada pogonskih motora (v), kriterijumi za određivanje minimalne dubine na delu merne staze na kojoj se odvija eksperiment (h_{min} ili Frudov broj po dubini – $Fr_{(\bar{h})}$).

Kriterijumi za određivanje minimalne dubine vode na delu merne staze na kojoj se obavljaju eksperimenti imaju oblik:

$$\left. \begin{aligned} h_{\min} &\approx \frac{4 \cdot v^2}{g}; \\ Fr_{(\bar{h})} &= \frac{v}{\sqrt{g \cdot \bar{h}}} \leq 0,5 \end{aligned} \right\} 7.14$$

1. Posebnu grupu podataka čine izračunate vrednosti eksploatacionih pokazatelja rada odabranih potiskivanih sastava/sklopova, pod kojima se podrazumevaju: ukupna količina tereta utovarenog u sve potisnice koje čine sastav (ΣQ_e), ukupno izmerena (efektivna) snaga na propelerskim vratilima broda-potiskivača (ΣN_e), statički koeficijent opterećenja (p), prevozni učinak sastava (PU), rezultativni pokazatelj (Pr), koeficijent kvaliteta tonaže potiskivanog sastava/sklopa (k_T) kao i specifični otpori prema deplasmanu sklopova (r_D) i prema ukupnoj nosivosti sklopova (r_Q).
2. Grafički deo rezultata istraživanja tokom postupka utvrđivanja radnih karakteristika potiskivanih sastava/sklopova i brodova potiskivača na osnovu rezultata utvrđenih merenjem parametara u realnim uslovima plovidbe sastoji se iz sledećih celina, i to:
 - 2.1. na dijagramima, urađenim u odgovarajućoj razmeri, predstavljeni su sređeni podaci o stanju pogonskih motora i propelera i njihov međusobni odnos (promena snage motora po sklopovima utvrđena tokom eksperimenata u odnosu na promenu snage u zavisnosti od broja obrtaja vratila dobijena na osnovu rezultata ispitivanja motora na probnom stolu optitne stanice u fabrici);
 - 2.2. integralna kriva promene statičkog opterećenja motora u funkciji brzine plovidbe u odnosu na vodu, $p=f(v)$;
 - 2.3. integralna kriva promene rezultativnog pokazatelja u funkciji brzine plovidbe u odnosu na vodu, $Pr=f(v)$;
 - 2.4. integralna kriva promene rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja motora, $Pr=f(p)$;
 - 2.5. promena vrednosti rezultativnog pokazatelja $Pr=f(v)$ za usvojene oblike potiskivanih sklopova i usvojene režime rada pogonskih motora (tačkasti dijagram);
 - 2.6. integralna kriva promene koeficijenta kvaliteta tonaže $k_T=f(v)$;
3. Skice oblika ispitivanih potiskivanih sklopova u formi P+n+n (pri čemu prvo slovo n označava broj potisnica po dužini sastava, a drugo slovo n – broj potisnica po širini sastava), kao i njihova oznaka (velika slova abecede).

Tokom istraživanja utvrđeno je da promena parametara po brzini plovidbe u odnosu na vodu može da se opiše funkcijama oblika $y = a_0 \cdot x^n + a_1 \cdot x^{n-1} + \dots + a_n$. Kada se izvede zamena veličina $x \rightarrow v$ slede izrazi za funkcije kojima se opisuju navedeni parametri, na primer $y = a_0 \cdot v^n + a_1 \cdot v^{n-1} + \dots + a_n$. Stepenn polinoma n u funkcijama, pokazalo se, uvek je

nenegativan broj. Konstante funkcije (koeficijenti funkcije) a_0, a_1, \dots, a_n dobijaju svoju vrednost tokom neposredne konstrukcije parametra, tako što se u dijagram unose stvarne-eksperimentom utvrđene vrednosti parametra koji se proučava u funkciji postignute brzine plovidbe posmatranog broda-potiskivača pri radu sa sastavom poznatog oblika za različite režime rada pogonskih motora na mernoj stazi (plovnom putu) poznate dubine i širine. Tokom izrade teze pokazalo se, da se promena funkcije bilo kojeg od parametara najbolje opisuje funkcijama kod kojih je $n \leq 5$.

Pokazalo se, takođe, da su funkcije svih parametara konstruisane na bazi eksperimentom dobijenih vrednosti neprekidne funkcije i definisane za sve vrednosti brzine v u intervalu brzina $0 \leq v \leq v_{\max}$. Takođe, funkcije promene navedenih parametara, u istom intervalu brzina, imaju tačke minimuma, odnosno maksimuma.

Osim toga, u opsegu brzina plovidbe koje brod-potiskivač postiže tokom eksperimenata u realnim uslovima plovidbe sa različitim oblicima potiskivanih sastava (pri $7,0 \leq v \leq 16,0$ km/h) promena svakog od proučavanih parametara-eksploatacionih pokazatelja može da bude opisana pomoću nekoliko funkcija oblika $y = a_0 \cdot v^n + a_1 \cdot v^{n-1} + \dots + a_n$. Budući da se jedan parametar može opisati sa više funkcija, pristupa se osrednjavanju njihovih vrednosti u datom opsegu brzina čime se dobijaju tzv. **integralne krive promene** pokazatelja rada broda-potiskivača sa potiskivanim sastavima različitih oblika i nosivosti u realnim uslovima plovidbe pri realnom stanju pogonskih uređaja i propelera koji su očitani tokom ispitivanja.

Na temelju izvedenih integralnih krivih kojima se opisuju funkcije promene rezultativnog pokazatelja i pokazatelja kvaliteta tonaže, moguće je da se utvrde brzine plovidbe (v) broda-potiskivača pri radu sa potiskivanim sastavima u datom (utvrđenom) tehničkom stanju pogonskih motora i prenosa, koje se sastoji od izračunavanja prvog izvoda

funkcija $\frac{dP_r}{dv}$ i $\frac{dk_T}{dv}$ takve, da proučavani pokazatelji postižu najveće vrednosti.

Na sličan način pristupa se definisanju integralne krive promene rezultativnog pokazatelja broda u funkciji statičkog opterećenja pogonskih motora, tj. $P_r=f(p)$ za slučaj

kada brod radi sa usvojenim oblicima sastava. Primenom prvog izvoda $\frac{dP_r}{dp}$ integralne krive

utvrđuje se takva vrednost statičkog opterećenja pri kojoj rezultativni pokazatelj (P_r) ostvaruje najveću vrednost.

U tabelama koje slede u potpoglavlju 7.4 prikazane su sledeće tehničko-eksploatacione veličine: dužina preko svega – L_{oa} (m), dužina na konstruktivnoj vodnoj liniji (KVL) – L_{kvl} (m), širina na KVL – B_{kvl} (m), gaženje praznog broda (potisnice) – T_0 (m), konstruktivno (maksimalno) gaženje broda (potisnice) – T_{km} (m), visina boka broda (potisnice) – H_k (m), deplasman – D (t), koeficijent punoće istisnine – δ , koeficijent

utilizacije– η_{DW} , ugrađena (instalirana) snaga pogonskih motora – ΣN_i (kW), registrovana nosivost – Q_r (t), ukupna dužina sastava – L_{sast} (m), ukupna širina sastva – B_{sast} (m), odnos dužine i širine sastva– L_{sast}/B_{sast} , koeficijent prenosa snage – η_{pr} , koeficijent iskorišćenja nosivosti celog sastava – ε_{sast} , srednja dubina u plovnom putu – \bar{h} (m), gaženje – T (m), odnos srednje dubine u plovnom putu i srednjeg gaženja– \bar{h}/\bar{T} , brzina plovidbe u odnosu na vodu – v (km/h), minimalna dubina plovnog puta – h_{min} , Frudov broj – Fr , ukupna utovarena količina tereta u sve teretnjake u sastavu (ukupna eksploataciona nosivost svih teretnjaka u sastavu) – ΣQ_e (t), ukupna izmerena snaga na propelerskim vratilima – ΣN_e (kW), eksploatacionog pokazatelja iskorišćenja snage pogonskih motora (okazatelj stičkog opterećenja pogonskih motora) – p (t/kW), prevozni učinak – PU (tkm/h), rezultativni eksploatacioni pokazatelj – Pr (tkm/kWh), kvalitet tonaže – k_T (t/N·m²/s²), specifični otpor potiskivanog sastava po 1 t nosivosti – r_Q (N/t) i specifični otpor potiskivanog sastava po 1 t deplasmana – r_D (N/t).

7.4 Prikaz rezultata istraživanja

7.4.1 Brod potiskivač „Romanija” – prvo ispitivanje

Tabela 7.1 Osnovne osobenosti potiskivača „Romanija”- prvo ispitivanje i potisnica BBP77400

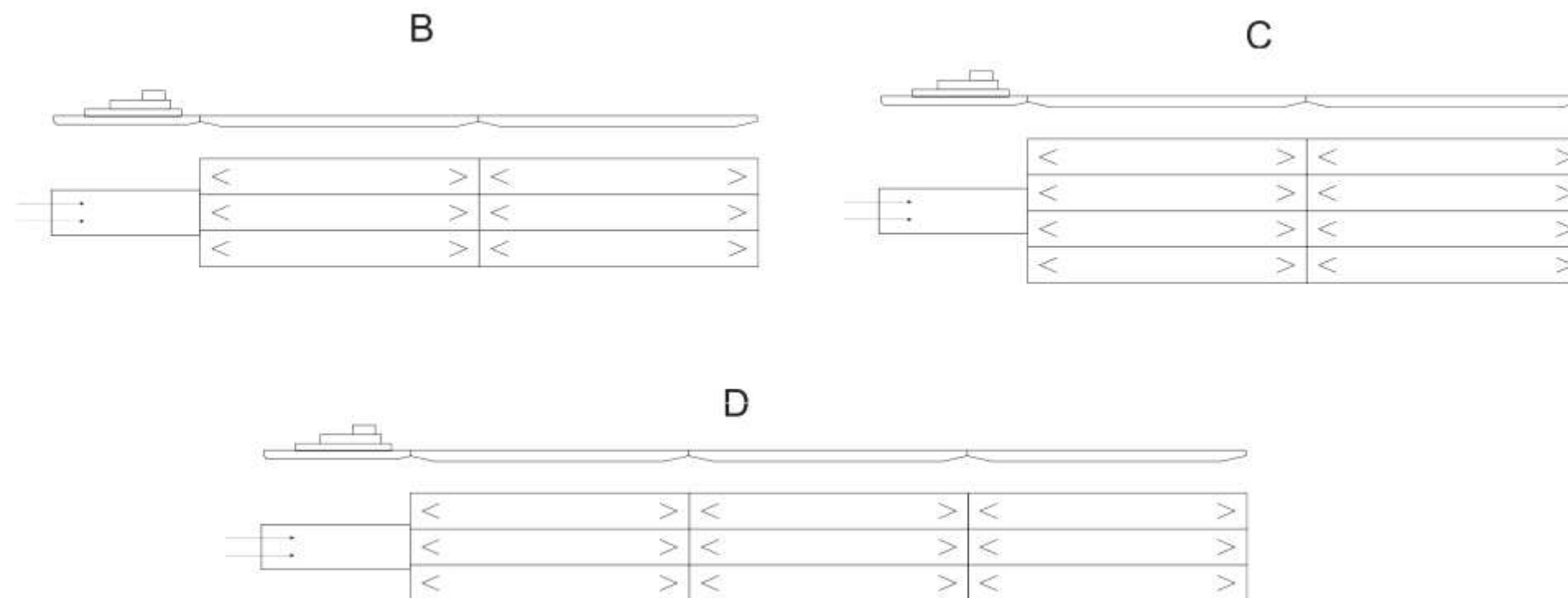
	L_{oa} (m)	L_{kvl} (m)	B_{kvl} (m)	T_0 (m)	T_{km} (m)	H_k (m)	D (t)	δ	η_{DW}	ΣN_i (kW)	Q_r (t)
Brod potiskivač	33,56	31,00	9,20	1,67	1,85	2,57	371,50	0,7041	-	$2 \times 540,96 = 1081,92$	-
Serijska potisnica u sastavu BBP 77400	61,90	59,60	7,60	0,43	2,20	2,46	893,06	0,8961	0,8196	-	731,991

Tabela 7.2 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač „Romanija” – prvo ispitivanje

Oblik sklopa	L_{sast} (m)	B_{sast} (m)	L_{sast}/B_{sast}	η_{pr}	ϵ_{sast}	\bar{h} (m)	T (m)	\bar{h}/\bar{T}	v (km/h)	$h_{min} = 4 \cdot \frac{v^2}{g}$	$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot \bar{h}}}$
B – P+3+3	119,2	22,8	5,2280	1,00	1,00	10,5	2,20	4,7727	12,14	4,6368	0,3322
C – P+4+4	119,2	30,4	3,9210	1,00	1,00	12,0	2,20	5,4545	10,91	3,7448	0,2793
D – P+3+3+3	178,8	22,8	7,8421	1,00	1,00	10,0	2,20	4,5454	10,05	3,1777	0,2818

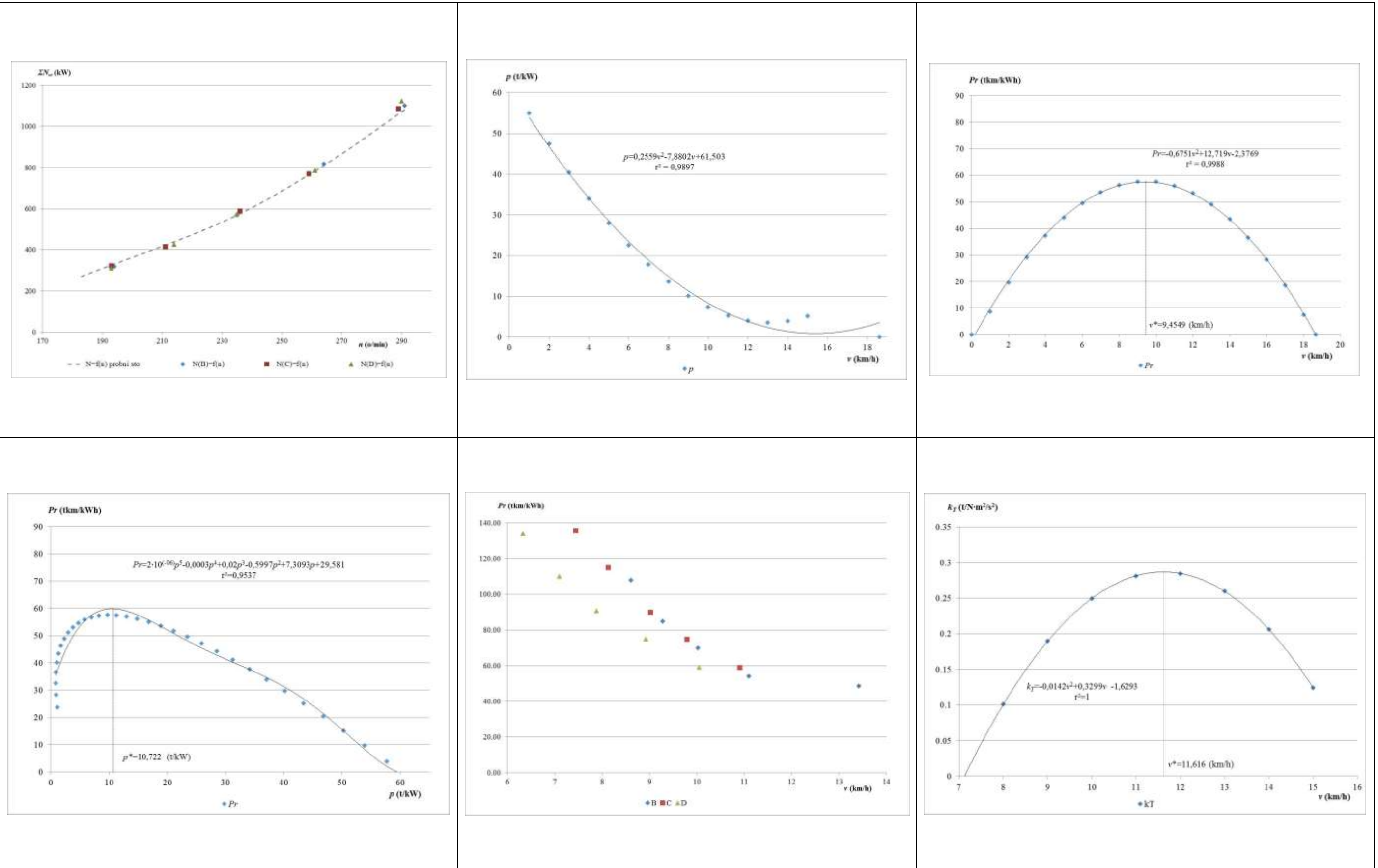
Tabela 7.3 Eksploatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač „Romanija” – prvo ispitivanje

Oblik sklopa	v (km/h)	ΣQ_e (t)	ΣN_e (kW)	p (t/kW)	PU (tkm/h)	Pr (tkm/kWh)	k_T (t/N·m ² /s ²)	r_Q (N/t)	r_D (N/t)
B – P+3+3	12,14	4.391,946	1081,1	4,0624	53.318,224	49,3175	0,277	49,80	41,04
C – P+4+4	10,91	5.855,928	1086,6	5,3892	63.888,174	58,7961	0,275	39,39	32,46
D – P+3+3+3	10,05	6.687,919	1123,1	5,9548	67.213,585	59,8464	0,248	37,14	30,61



Slika 7.1 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Romanija” – prvo ispitivanje

Tabela 7.4 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač "Romanija" – prvo ispitivanje



Merna staza na kojoj su obavljani eksperimenti sa brodom "Romanija" u potpunosti zadovoljava postavljene uslove, kako prema kriterijumu h_{min} tako i po Frudovom broju, Fr . Pri takvim uslovima smatra se da dubina ne utiče na dopunsko povećanje ukupnog otpora sklopova, kao i da ne remeti pravilan rad propulzora.

Potiskivani sastavi za potrebe eksperimenata formirani su od potisnica simetričnog oblika, istog tipa (serije BBP 77400), jednakih dimenzija, gotovo identičnih nosivosti. Osim toga, sve potisnice utovarene su na najveći gaz, zbog čega koeficijent iskorišćenja nosivosti potiskivanih sastava iznosi $\varepsilon_{sast}=1,0$.

Koeficijent iskorišćenja deplasmana - jedna od osnovnih konstruktivnih karakteristika, potisnica tipa BBP77400 iznosi $\eta_{DW}=0,8196$.

Analizom dijagrama iz kojeg se sagledavaju stanje pogonskih motora i propelera (promena snage motora po sklopovima utvrđena tokom eksperimenata) i međusobni odnos prema promeni snage u zavisnosti od broja obrtaja vratila dobijena na osnovu rezultata ispitivanja motora na probnom stolu opitne stanice u fabrici zaključuje se, da se tačke koje opisuju izmerene snage na propelerskim vratilima po sklopovima koji su ispitivani tokom eksperimenta gotovo poklapaju sa krivom promene snage sa probnog stola. Ovo pokazuje da sa ispitivanim sastavima potisnica propeleri preuzimaju snagu od motora u povoljnom odnosu, te se propulzija može smatrati potpuno zadovoljavajućom.

Stepen iskorišćenja ukupne snage pogonskih motora broda-potiskivača (η_{pr}) pri radu sa sklopovima različitih karakteristika i pri različitim režimima rada jednak je za sve sklopove, i iznosi $\eta_{pr}=1,00$.

Prvim izvodom integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji brzine $P_r=f(v)$ određuje se takva brzina ($v^*=9,4549$ km/h) pri kojoj ovaj pokazatelj postiže najveću vrednost, koja iznosi $P_r=57,5293$ tkm/kWh. Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja $P_r=f(p)$ definiše preporučenu vrednost ove veličine, koja iznosi $p^*=10,722$ t/kW. Upoređivanjem podataka o statičkom opterećenju postignutom tokom ispitivanja ($p_{P+3+3}=4,0624 < 10,722$; $p_{P+4+4}=5,3892 < 10,722$; $p_{P+3+3+3}=5,9548 < 10,722$) vidi se da niti jedan od sastava, ni približno, ne dostiže preporučenu vrednost. Zaključuje se, da motornom brodu-potiskivaču „Romanija“, snage pogonskih motora $\Sigma N_i=1081,92$ kW, ne odgovaraju sastavi formirani od ovakvog tipa potisnica. Preporučena nosivost potiskivanog sastava, koja odgovara vrednosti $p^*=10,722$ t/kW i ukupnoj snazi pogonskih motora broda ($\Sigma N_e=1081,92$ kW) iznosi $\Sigma Q_e=11.600,346$ tona, što čini sastav od 15,847 potisnica.

Od ispitivanih oblika sastava u realnim uslovima plovidbe, na osnovu položaja tačaka kojima se opisuje položaj rezultativnog pokazatelja $P_r(v)$ za svaki od sklopova, prednost u toku eksploatacije treba dati sklopu oblika P+4+4. Analiza vrednosti pokazatelja kvaliteta tonaže (k_T) potvrđuje izloženi zaključak.

7.4.2 Brod potiskivač “Romanija” – drugo ispitivanje

Tabela 7.5 Osnovne osobenosti potiskivača “Romanija”- drugo ispitivanje i potisnica BBP78000 i tegljenica BBP4620

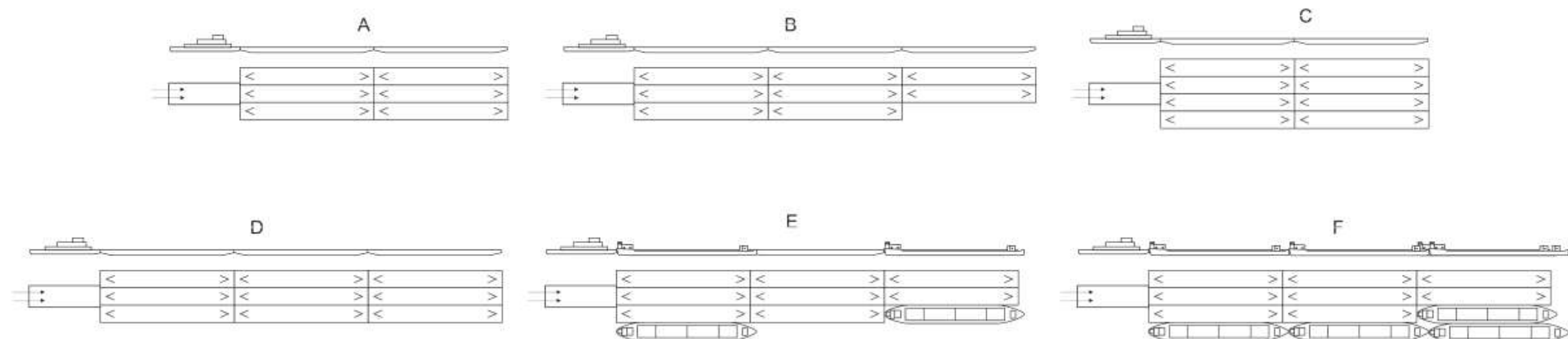
	L_{oa} (m)	L_{kvl} (m)	B_{kvl} (m)	T_0 (m)	T_{km} (m)	H_k (m)	D (t)	δ	η_{DW}	ΣN_i (kW)	Q_r (t)
Brod potiskivač	33,56	31,00	9,20	1,67	1,85	2,57	371,50	0,7041	-	$2 \times 540,96 = 1081,92$	-
Serijska potisnica u sastavu BBP 78000	61,97	59,60	7,60	0,53	2,50	2,81	994,21		0,8102	-	805,5385
Serijska tegljenica u sastavu BBP 46200	64,86	61,50	7,10	0,397	2,050	2,30	751,9543	0,8400	0,8237	-	619,4256

Tabela 7.6 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač “Romanija” – drugo ispitivanje

Oblik sklopa	L_{sast} (m)	B_{sast} (m)	L_{sast}/B_{sast}	η_{pr}	ϵ_{sast}	\bar{h} (m)	T (m)	\bar{h}/\bar{T}	v (km/h)	$h_{min} = 4 \cdot \frac{v^2}{g}$	$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot \bar{h}}}$
A – P+3+3	119,2	22,8	5,2280	0,8642	1,0	9,0	2,5	3,60	11,05	3,8415	0,3266
B – P+3+3+2	178,8	22,8	7,8421	0,9011	1,0	9,0	2,5	3,60	10,75	3,6358	0,3178
C – P+4+4	178,8	30,4	3,9210	0,8974	1,0	9,0	2,5	3,60	10,55	3,5017	0,3118
D – P+3+3+3	178,8	22,8	7,8421	0,8836	1,0	9,0	2,5	3,60	10,05	3,177	0,2971
E – nepravilan oblik	178,8	29,9	5,9799	0,8706	1,0	9,0	2,41	3,9419	9,62	2,9116	0,2768
F – nepravilan oblik	178,8	29,9	5,9799	0,8734	1,0	9,0	2,35	3,8297	9,27	2,7036	0,2740

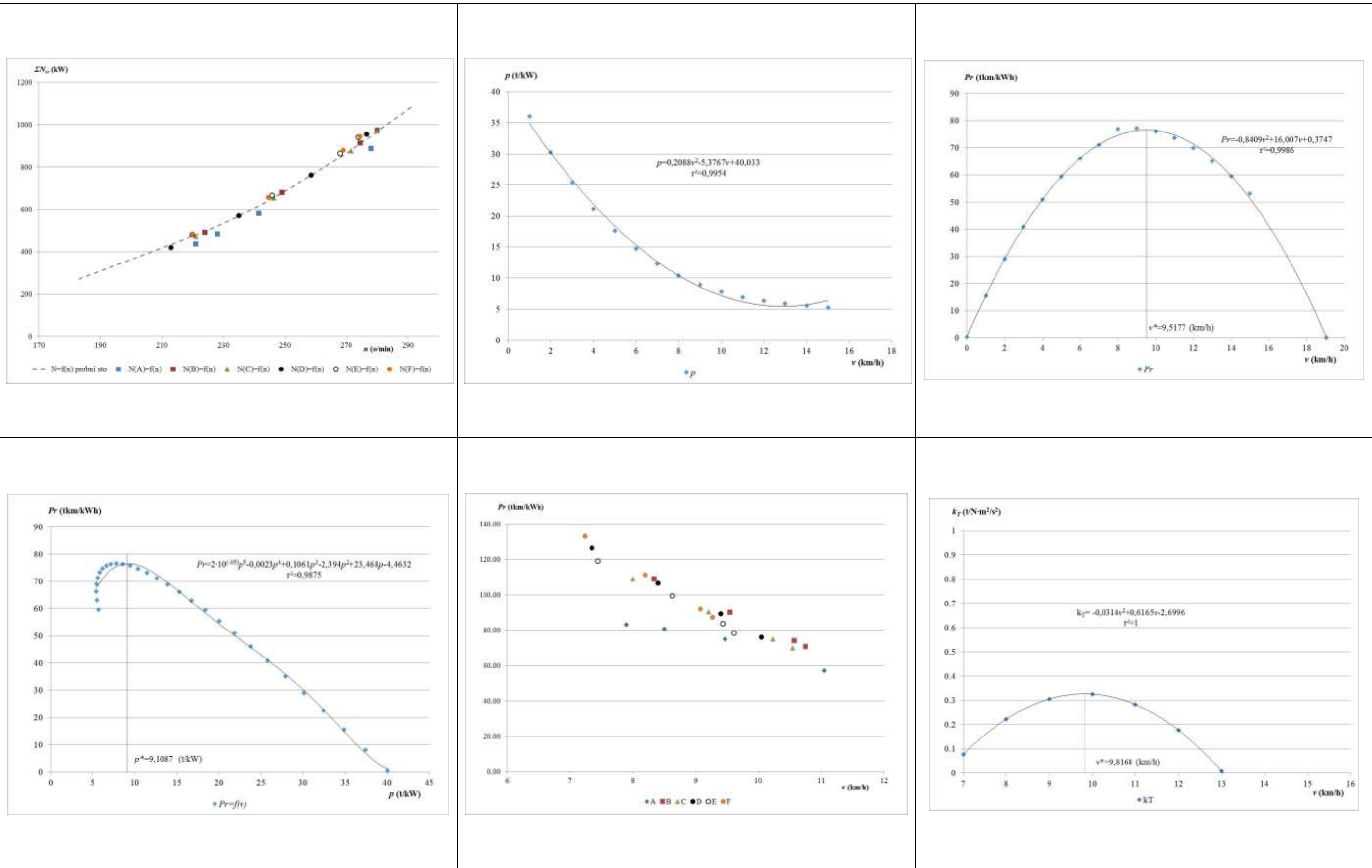
Tabela 7.7 Eksploatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač “Romanija” – drugo ispitivanje

Oblik sklopa	v (km/h)	ΣQ_e (t)	ΣN_e (kW)	p (t/kW)	PU (tkm/h)	Pr (tkm/kWh)	k_T (t/N·m ² /s ²)	r_Q (N/t)	r_D (N/t)
A – P+3+3	11,05	4.833,231	935	5,1692	53.407,2025	57,1200	0,266	42,48	34,14
B – P+3+3+2	10,75	6.444,308	975	6,6095	69.276,3110	71,0526	0,321	33,49	26,92
C – P+4+4	10,55	6.444,308	971	6,6367	67.987,4494	70,0179	0,308	33,65	27,04
D – P+3+3+3	10,05	7.249,846	956	7,5835	72.498,4600	76,2143	0,313	30,12	24,21
E – nepravilan oblik	9,62	7.683,159	942	8,1562	73.911,9895	78,4628	0,302	28,52	23,03
F – nepravilan oblik	9,27	8.922,010	945	9,4412	82.707,0327	87,5206	0,320	24,99	20,24



Slika 7.2 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Romanija“ – drugo ispitivanje

Tabela 7.8 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Romanija“ – drugo ispitivanje



Merna staza na kojoj su obavljani eksperimenti sa brodom "Romanija" tokom provođenja drugog ispitivanja u potpunosti zadovoljava postavljene uslove, kako prema kriterijumu h_{min} tako i po Frudovom broju, Fr . Pri takvim uslovima smatra se da dubina ne utiče na dopunsko povećanje ukupnog otpora sklopova, kao i da ne remeti pravilan rad propulzora.

Tokom drugog ispitivanja broda "Romanija" četiri potiskivana sastava formirana su od potisnica simetričnog oblika, istog tipa (serije BBP78000), jednakih dimenzija, gotovo identičnih nosivosti. Pored toga, u eksperimentima su učestvovala dva sastava formirana u mešovitom obliku – od potisnica serije BBP 78000 i tegljenih teretnjaka (tegljenica) serije BBP46200. Sve potisnice i tegljeni teretnjaci utovareni su na najveći gaz, zbog čega koeficijent iskorišćenja nosivosti ispitivanih potiskivanih sastava iznosi $\varepsilon_{sast}=1,0$.

Koeficijent iskorišćenja deplasmana, kao jedna od osnovnih konstruktivnih karakteristika potisnica tipa BBP78000 iznosi $\eta_{DW}=0,8196$, dok tegljenih teretnjaka iznosi $\eta_{DW}=0,8237$.

Analizom dijagrama iz kojeg se sagledavaju stanje pogonskih motora i propelera (promena snage motora po sklopovima utvrđena tokom eksperimenata) i međusobni odnos prema promeni snage u zavisnosti od broja obrtaja vratila dobijena na osnovu rezultata ispitivanja motora na probnom stolu opitne stanice u fabrici zaključuje se:

- ▶ šest potisnica u sastavu (sklop P+3+3) za brod „Romanija“, snage $\Sigma N_e=1081,92$ kW, ne predstavlja dovoljno opterećenje, zbog čega se kriva promene snage u zavisnosti od broja obrtaja [$N_{vr}=f(n_{vr})$] nalazi ispod odgovarajuće krive sačinjene na osnovu rezultata ispitivanja na probnom stolu opitne stanice fabrike. To istovremeno znači da propeleri pri plovidbi ovakvog sklopa deluju rasterećujuće.

- ▶ da se tačke koje opisuju izmerene snage na propelerskim vratilima za ostale sklopove koji su ispitivani tokom eksperimenta gotovo poklapaju sa krivom promene snage sa probnog stola. Ovo pokazuje da sa ispitivanim sastavima propeleri preuzimaju snagu od motora u povoljnom odnosu, te se propulzija može smatrati potpuno zadovoljavajućom.

Stepen iskorišćenja ukupne snage pogonskih motora broda-potiskivača (η_{pr}) pri radu sa sklopovima različitih karakteristika i pri različitim režimima rada nije jednak je za sve sklopove, i menja se u granicama 0,8642 do 0,9011 (pri čemu srednja vrednost stepena iskorišćenja snage iznosi $\bar{\eta}_{pr}=0,8817$).

Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji brzine $P_r=f(v)$ određuje brzinu ($v^*=9,5177$ km/h) pri kojoj ovaj pokazatelj postiže najveću vrednost, $P_r=76,5502$ tkm/kWh. Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja $P_r=f(p)$ definiše preporučenu vrednost ove veličine, koja iznosi $p^*=9,1087$ t/kW. Upoređivanjem podataka o statičkom opterećenju postignutom tokom ispitivanja vidi se da niti jedan od sastava, ni približno, ne dostiže preporučenu vrednost, osim sklopa nepravilnog oblika F. Preporučena nosivost potiskivanog sastava, koja odgovara

vrednosti $p^*=9,1087$ t/kW i ukupnoj (srednjoj, utvrđenoj tokom eksperimenata u realnoj plovidbi) snazi pogonskih motora broda ($\sum \bar{N}_e = 954$ kW) iznosi $\Sigma Q_e = 8.689,70$ tona, što čini sastav od 10,787 potisnica serije BBP 78000. Zaključuje se, da motornom brodu-potiskivaču „Romanija“, ugrađene snage pogonskih motora $\Sigma N_i = 1081,92$ kW, ne odgovaraju sastavi raznorodno formirani – od potisnica i tegljenica, što potvrđuje i izrazito mala vrednost rezultujućeg pokazatelja kvaliteta tonaže – koji, pri brzini plovidbe $v^* = 9,8168$ km/h, iznosi svega $k_T = 0,3264$.

U poređenju sa rezultatima prvog ispitivanja broda „Romanija“, koja su izvršena sa sastavima potisnica serije BBP77400, eksperimentima tokom drugog ispitivanja utvrđeno je da sastavi koje čine potisnice većih nosivosti (serije BBP78000) pokazuju određeni porast prevoznih učinaka, kako rezultativnog pokazatelja (Pr), tako i pokazatelja kvaliteta tonaže (k_T).

Od ispitivanih oblika sastava u realnim uslovima plovidbe za dato stanje pogonskih motora broda, na osnovu položaja tačaka kojima se opisuje položaj rezultativnog pokazatelja $Pr(v)$, potom vrednosti pokazatelja p^* i kvaliteta tonaže k_T , za svaki od sklopova, prednost u toku eksploatacije treba dati sklopu oblika F.

7.4.3 Brod potiskivač "Vinodol"

Tabela 7.9 Osnovne osobenosti potiskivača "Vnodol i potisnica BBP7740

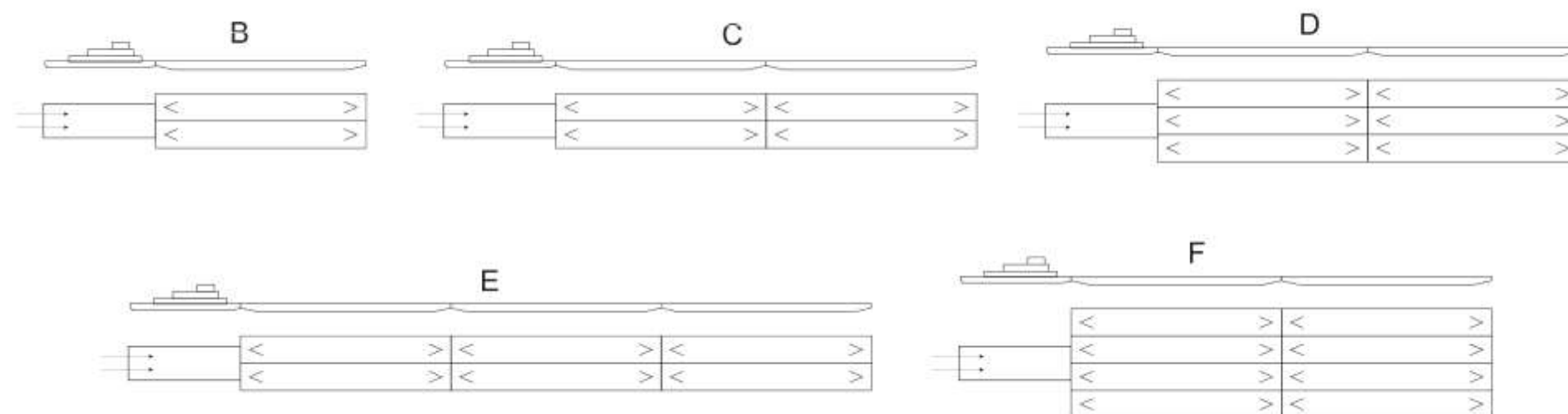
	L_{oa} (m)	L_{kvl} (m)	B_{kvl} (m)	T_0 (m)	T_{km} (m)	H_k (m)	D (t)	δ	η_{DW}	ΣN_i (kW)	Q_r (t)
Brod potiskivač	30,04	29,10	9,18	1,56	1,70	2,56	314,60	0,6927	-	2×379=758	-
Serijska potisnica u sastavu BBP 77400	61,90	59,60	7,60	0,43	2,20	2,46	893,06	0,8961	0,8196	-	731,991

Tabela 7.10 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Vinodol"

Oblik sklopa	L_{sast} (m)	B_{sast} (m)	L_{sast}/B_{sast}	η_{pr}	ϵ_{sast}	\bar{h} (m)	T (m)	\bar{h}/\bar{T}	v (km/h)	$h_{min} = 4 \cdot \frac{v^2}{g}$	$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot \bar{h}}}$
B – P+2	59,6	15,2	3,9210	0,825	1,0	8,88	2,2	4,036	14,6	6,706	0,4578
C – P+2+2	119,2	15,2	7,8421	0,894	1,0	8,88	2,2	4,036	12,2	4,682	0,3825
D – P+3+3	119,2	22,8	5,2280	0,913	1,0	8,88	2,2	4,036	10,0	3,146	0,3135
E – P+2+2+2	178,8	15,2	11,7631	0,906	1,0	8,88	2,2	4,036	9,8	3,021	0,3072
F – P+4+4	119,2	30,4	3,9210	0,926	1,0	8,88	2,2	4,036	8,7	2,381	0,3041

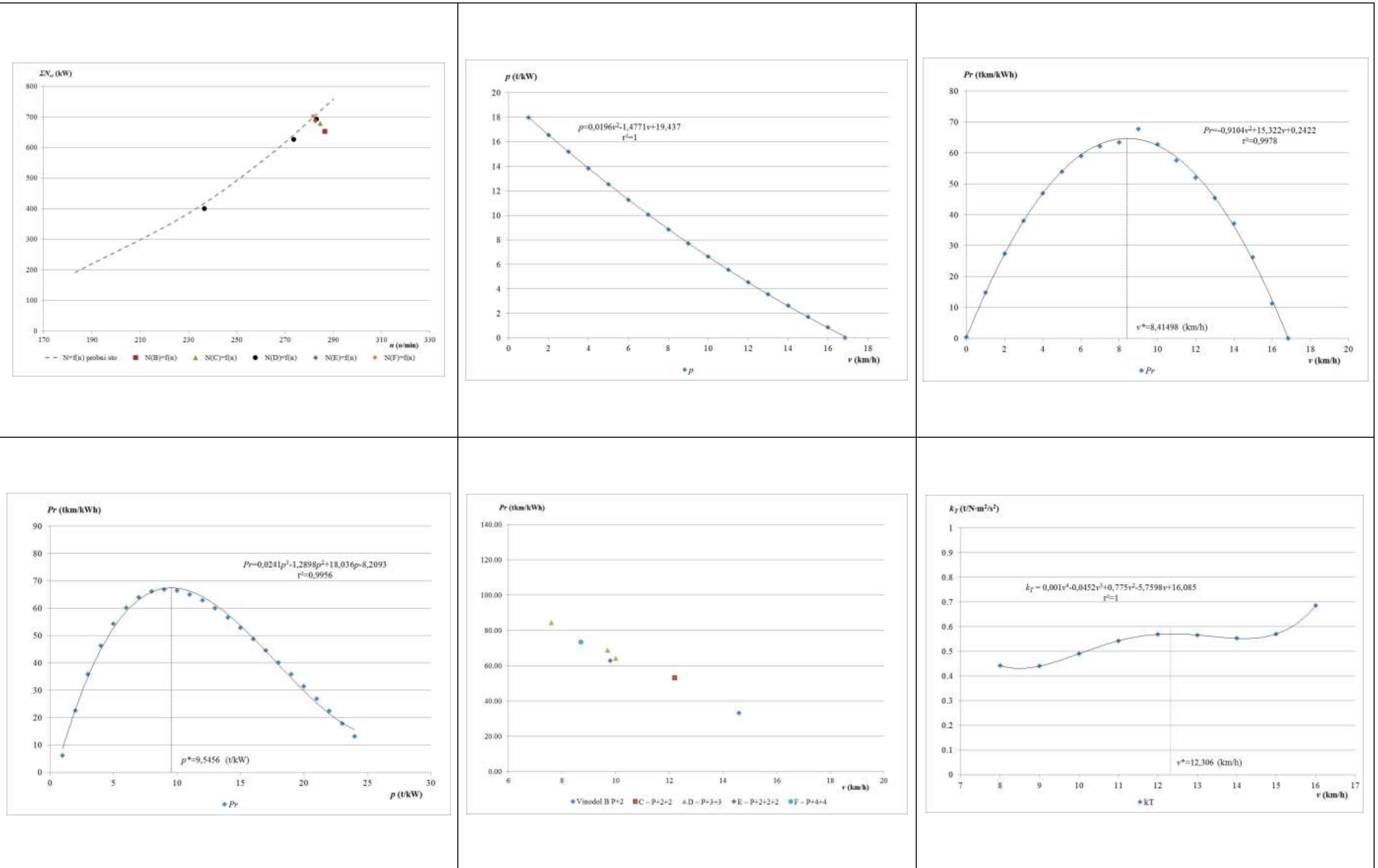
Tabela 7.11 Eksploatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač "Vinodol"

Oblik sklopa	v (km/h)	ΣQ_e (t)	ΣN_e (kW)	p (t/kW)	PU (tkm/h)	Pr (tkm/kWh)	k_T (t/N·m ² /s ²)	r_Q (N/t)	r_D (N/t)
B – P+2	14,6	1463,982	625,5	2,3404	21.374,1372	34,1712	0,246	77,07	63,37
C – P+2+2	12,2	2927,964	677,9	4,3191	35.721,1608	52,6938	0,274	49,58	40,76
D – P+3+3	10,0	4391,946	692,4	6,3430	43.919,46	63,4307	0,247	37,42	30,77
E – P+2+2+2	9,8	4391,946	687,3	6,3901	43.041,0708	62,6234	0,237	37,78	30,79
F – P+4+4	8,7	5855,928	702,1	8,3405	50.946,5736	72,5631	0,235	29,88	24,57



Slika 7.3 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Vinodol“

Tabela 7.12 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač "Vinodol"



Merna staza na kojoj su obavljani eksperimenti sa brodom "Vinodol" u potpunosti zadovoljava postavljene uslove, kako prema kriterijumu h_{min} tako i po Frudovom broju, Fr . Pri takvim uslovima smatra se da dubina ne utiče na dopunsko povećanje ukupnog otpora sklopova, kao i da ne remeti pravilan rad propulzora.

Potiskivani sastavi za potrebe eksperimenata formirani su od potisnica simetričnog oblika, istog tipa (serije BBP77400), jednakih dimenzija, gotovo identičnih nosivosti. Osim toga, sve potisnice utovarene su na najveći gaz, zbog čega koeficijent iskorišćenja nosivosti potiskivanih sastava iznosi $\varepsilon_{sast}=1,0$. Koeficijent iskorišćenja deplasmana potisnica serije BBP77400 iznosi $\eta_{DW}=0,8196$.

Tokom eksperimenata sa brodom "Vinodol" u realnim uslovima plovidbe kompletna ispitivanja propulzivnih osobenosti obavljena su samo sa sklopom oblika P+3+3. Ispitivanja ostalih sklopova obavljena su samo za slučaj najvećeg punjenja motora za trajni pogon. Analizom dijagrama iz kojeg se sagledavaju stanje pogonskih motora i propelera (promena snage motora po sklopovima utvrđena tokom eksperimenata) i međusobni odnos prema promeni snage u zavisnosti od broja obrtaja vratila dobijena na osnovu rezultata ispitivanja motora na probnom stolu opitne stanice u fabrici zaključuje se, da sastavi od dva (P+2), odnosno četiri potiskivana teretnjaka (P+2+2) ne predstavljaju dovoljno opterećenje, te u tom slučaju propeleri deluju rasterećujuće. Izvesno, sasvim malo, rasterećujuće delovanje propelera (približno 5%) sklopa oblika P+3+3 može, u eksploataciji, da se smatra prihvatljivo. Identičan zaključak može da se izvede pri radu broda sa sklopovima oblika P+2+2+2 i P+4+4. Istovremeno, propeleri odgovaraju u pogledu preuzimanja snage od pogonskih motora, zbog čega je propulzija potpuno zadovoljavajuća.

Stepen iskorišćenja ukupne snage pogonskih motora broda-potiskivača (η_{pr}) pri radu sa sklopovima različitih karakteristika i pri različitim režimima rada nije jednak je za sve sklopove, i menja se u granicama 0,825 (za sklop oblika P+2) do 0,926 (za sklop oblika P+4+4), pri čemu srednja vrednost stepena iskorišćenja snage iznosi $\bar{\eta}_{pr}=0,8928$.

Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji brzine $P_r=f(v)$ definiše brzinu plovidbe ($v^*=8,41498$ km/h) pri kojoj ovaj pokazatelj postiže najveću vrednost, $P_r=64,7093$ tkm/kWh. Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja $P_r=f(p)$ definiše preporučenu vrednost ove veličine, koja iznosi $p^*=9,5456$ t/kW. Upoređivanjem podataka o statičkom opterećenju postignutom tokom ispitivanja vidi se da preporučenu vrednost (približno) dostiže, sklop oblika F (P+4+4). Preporučena nosivost potiskivanog sastava, koja odgovara vrednosti $p^*=9,5456$ t/kW i ukupnoj (srednjoj, utvrđenoj tokom eksperimenata u realnoj plovidbi) snazi pogonskih motora broda ($\sum \bar{N}_e=689,925$ kW) iznosi $\Sigma Q_e=6.585,748$ tona, što čini sastav od 8,99 potisnica serije BBP77400 (približno 9 potisnica ove serije). Zaključuje se, da motornom brodu-potiskivaču „Romanija“, ugrađene snage pogonskih motora $\Sigma N_i=758$ kW, ne odgovaraju sastavi od malog broja potisnica, što potvrđuju ne samo male vrednosti

rezultativnog pokazatelja Pr , već i veoma dobra vrednost pokazatelja kvaliteta tonaže – koji, pri brzini plovidbe $v^*=12,306$ km/h, iznosi čak $k_T=0,5725$.

Od ispitivanih oblika sastava u realnim uslovima plovidbe pri datom tehničkom stanju pogonskih motora broda, na osnovu položaja tačaka kojima se opisuje položaj rezultativnog pokazatelja $Pr(v)$ za svaki od sklopova, prednost u toku eksploatacije treba dati sklopu oblika P+3+3, P+2+2+2 ili P+4+4.

7.4.4 Brod potiskivač „Banat II”

Tabela 7.13 Osnovne osobenosti potiskivača „Banat II” i potisnica PIM71700

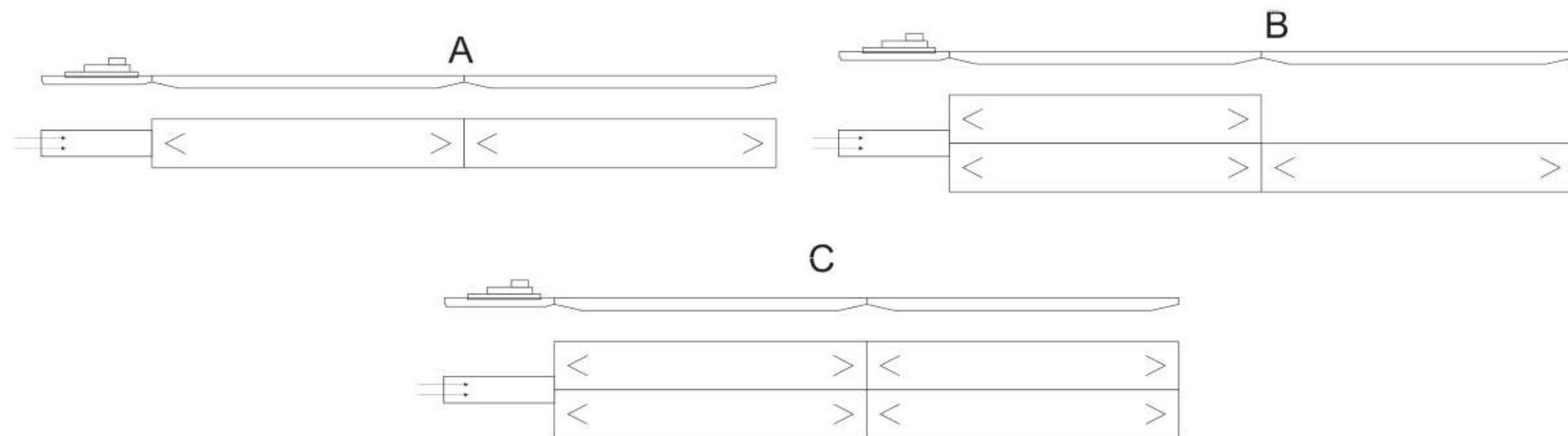
	L_{oa} (m)	L_{kvl} (m)	B_{kvl} (m)	T_0 (m)	T_{km} (m)	H_k (m)	D (t)	δ	η_{DW}	ΣN_i (kW)	Q_r (t)
Brod potiskivač	26,09	24,85	6,62	1,67	1,70	2,58	176,30	0,6304		$2 \times 264,96 = 529,92$	-
Serijska potisnica u sastavu PIM 71700	70,95	68,20	11,60	0,498	2,413	2,72	1812,983	0,9497	0,8394	-	1521,958

Tabela 7.14 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač „Banat II”

Oblik sklopa	L_{sast} (m)	B_{sast} (m)	L_{sast}/B_{sast}	η_{pr}	ϵ_{sast}	\bar{h} (m)	T (m)	\bar{h}/\bar{T}	v (km/h)	$h_{min} = 4 \cdot \frac{v^2}{g}$	$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot \bar{h}}}$
A – P+1+1	136,4	11,6	11,7586	0,8424	1,0	9,6	2,413	3,9784	13,96	6,1313	0,3995
B – P+2+1	136,4	23,2	5,8793	0,8163	1,0	10,0	2,413	4,1856	11,80	4,3807	0,3309
C – P+2+2	136,4	23,2	5,8793	0,8078	1,0	10,1	2,413	4,1442	10,68	3,5886	0,2980

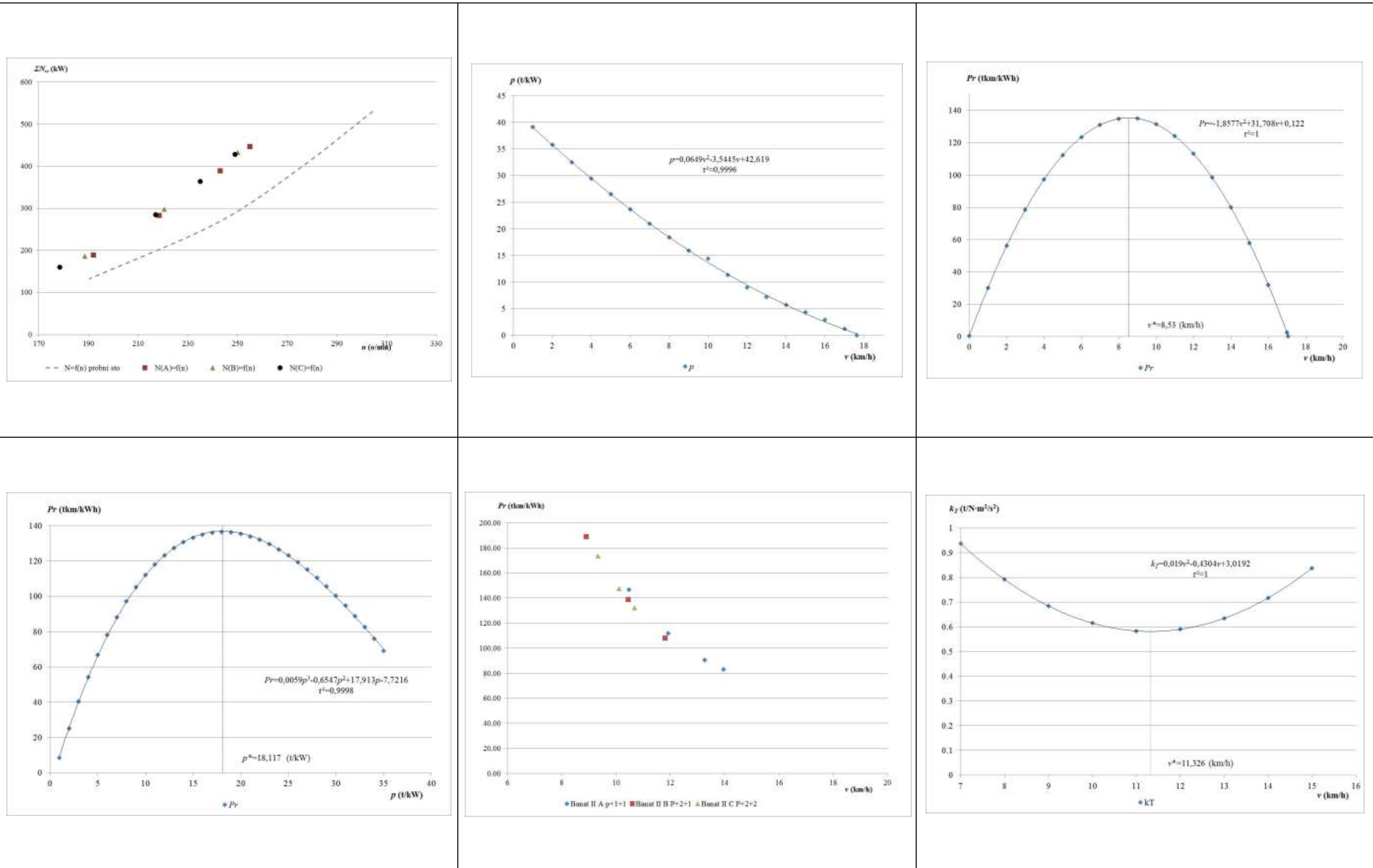
Tabela 7.15 Eksploatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač „Banat II”

Oblik sklopa	v (km/h)	ΣQ_e (t)	ΣN_e (kW)	p (t/kW)	PU (tkm/h)	Pr (tkm/kWh)	k_T (t/N·m ² /s ²)	r_Q (N/t)	r_D (N/t)
A – P+1+1	13,96	3.043,916	446,4	6,8188	42.493,0673	95,1905	0,719	26,31	19,11
B – P+2+1	11,80	4.565,874	432,6	10,5544	53.877,3132	124,5430	0,590	24,01	17,37
C – P+2+2	10,68	6.087,832	428,1	14,2205	65.018,0457	151,8758	0,593	19,49	14,17



Slika 7.4 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Banat II”

Tabela 7.16 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač "Banat II"



Merna staza na kojoj su obavljani eksperimenti sa brodom "Banat II" tokom provođenja ispitivanja u potpunosti zadovoljava postavljene uslove, kako prema kriterijumu h_{min} tako i po Frudovom broju, Fr . Pri takvim uslovima smatra se da dubina ne utiče na dopunsko povećanje ukupnog otpora sklopova, kao i da ne remeti pravilan rad propulzora.

Potiskivani sastavi za potrebe eksperimenata formirani su od potisnica simetričnog oblika, istog tipa (serije PIM71700), jednakih dimenzija, gotovo identičnih nosivosti. Osim toga, sve potisnice utovarene su na najveći gaz, zbog čega koeficijent iskorišćenja nosivosti potiskivanih sastava iznosi $\varepsilon_{sast}=1,0$. Koeficijent iskorišćenja deplasmana potisnica serije PIM71700 iznosi $\eta_{DW}=0,8394$.

Analizom dijagrama iz kojeg se sagledavaju stanje pogonskih motora i propelera (promena snage motora po sklopovima utvrđena tokom eksperimenata) i međusobni odnos prema promeni snage u zavisnosti od broja obrtaja vratila dobijena na osnovu rezultata ispitivanja motora na probnom stolu opitne stanice u fabrici zaključuje se: da se tačke kojima se opisuje propulzija ispitivanih sklopva (P+1+1, P+2+1 i P+2+2) nalaze iznad odgovarajuće krive promene snage u zavisnosti od broja obrtaja [$N_{vr}=f(n_{vr})$] sačinjene na osnovu rezultata ispitivanja na probnom stolu opitne stanice fabrike, tako da propeleri u svim slučajevima deluju opterećujuće na pogonske motore. Iz tog razloga zaključuje se da propulzija motornog broda „Banat II“ ne zadovoljava.

Stepen iskorišćenja ukupne snage pogonskih motora broda-potiskivača (η_{pr}) pri radu sa sklopovima različitih karakteristika i pri različitim režimima rada nije jednak za sve sklopove, i menja se u granicama 0,8424 (za sklop oblika P+1+1) do 0,8078 (za sklop oblika P+2+2), pri čemu srednja vrednost stepena iskorišćenja snage iznosi $\bar{\eta}_{pr}=0,8221$. Iz ovoga sledi, da je ukupna snaga merena na propelerskim vratilima u odnosu na ugrađenu snagu pogonskih motora sklopa kojeg čine 4 potisnice, manja za gotovo 20%. Iz istog razloga vrednosti statičkog opterećenja (p) neuobičajeno i nesrazmerno su veće što, na kraju, utiče na vrlo visoke vrednosti rezultativnog pokazatelja rada broda (Pr).

Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji brzine $P_r=f(v)$ definiše brzinu plovidbe ($v^*=8,53$ km/h) pri kojoj ovaj pokazatelj postiže izrazito veliku vrednost, $Pr=135,4233$ tkm/kWh. Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja $P_r=f(p)$ definiše preporučenu vrednost ove veličine, koja iznosi $p^*=18,117$ t/kW. Preporučena nosivost potiskivanog sastava, koja odgovara vrednosti $p^*=18,117$ t/kW i ukupnoj (srednjoj, utvrđenoj tokom eksperimenata u realnoj plovidbi) snazi pogonskih motora broda ($\sum \bar{N}_e=435,7$ kW) iznosi $\Sigma Q_e=7.893,5769$ tona, što čini sastav od $5,186 \approx 5$ potisnica serije PIM71700, što je nerealno i neprihvatljivo za dato stanje pogonskih motora.

7.4.5 Brod potiskivač "Srem"

Tabela 7.17 Osnovne osobenosti potiskivača "Srem" i potisnica PIM71800 i PIM71700

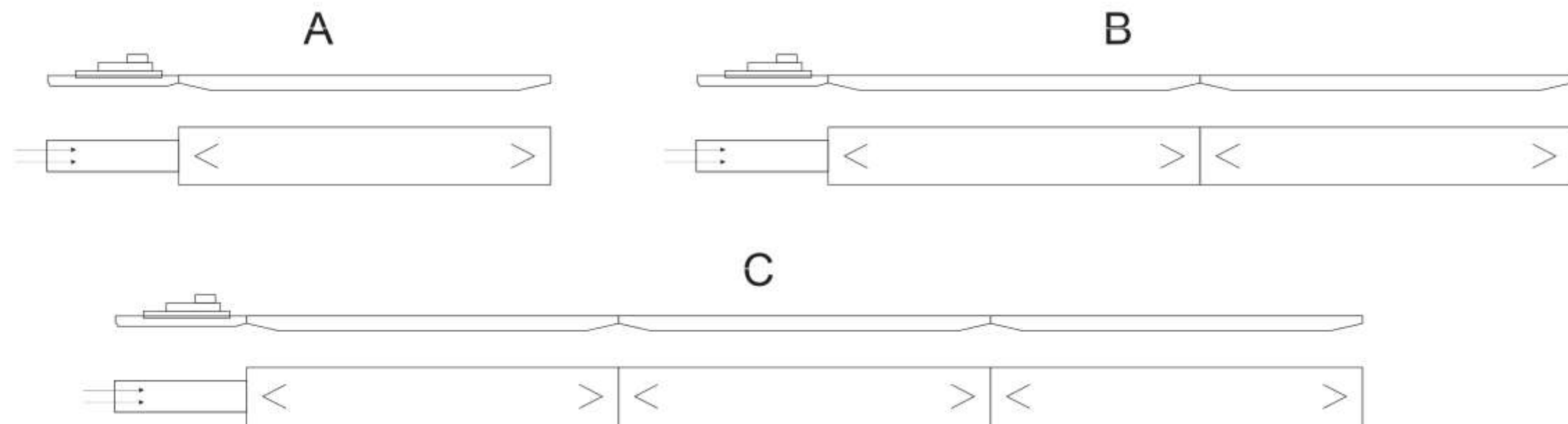
	L_{oa} (m)	L_{kvl} (m)	B_{kvl} (m)	T_0 (m)	T_{km} (m)	H_k (m)	D (t)	δ	η_{DW}	ΣN_i (kW)	Q_r (t)
Brod potiskivač	26,09	24,85	6,62	1,63	1,80	2,58	208,00	0,7024	-	$2 \times 279,68 = 559,36$	-
Serijska potisnica u sastavu PIM 71800	70,95	68,20	11,60	0,498	2,413	2,72	1812,983	0,9497	0,8394	-	1521,958
Serijska potisnica u sastavu PIM 71700	70,95	68,20	11,60	0,498	2,413	2,72	1812,983	0,9497	0,8394	-	1521,958

Tabela 7.18 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač "Srem"

Oblik sklopa	L_{sast} (m)	B_{sast} (m)	L_{sast}/B_{sast}	η_{pr}	ϵ_{sast}	\bar{h} (m)	T (m)	\bar{h}/\bar{T}	v (km/h)	$h_{min} = 4 \cdot \frac{v^2}{g}$	$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$
A – P+1	68,2	11,6	5,8793	0,7362	1,0	10,5	2,413	4,3514	15,80	7,8541	0,4324
B – P+1+1	136,4	11,6	11,7586	0,7787	1,0	10,5	2,413	4,3514	13,55	5,7764	0,3708
C – P+1+1+1	204,6	11,6	17,6379	0,7905	1,0	10,5	2,413	4,3514	11,40	4,0887	0,3120

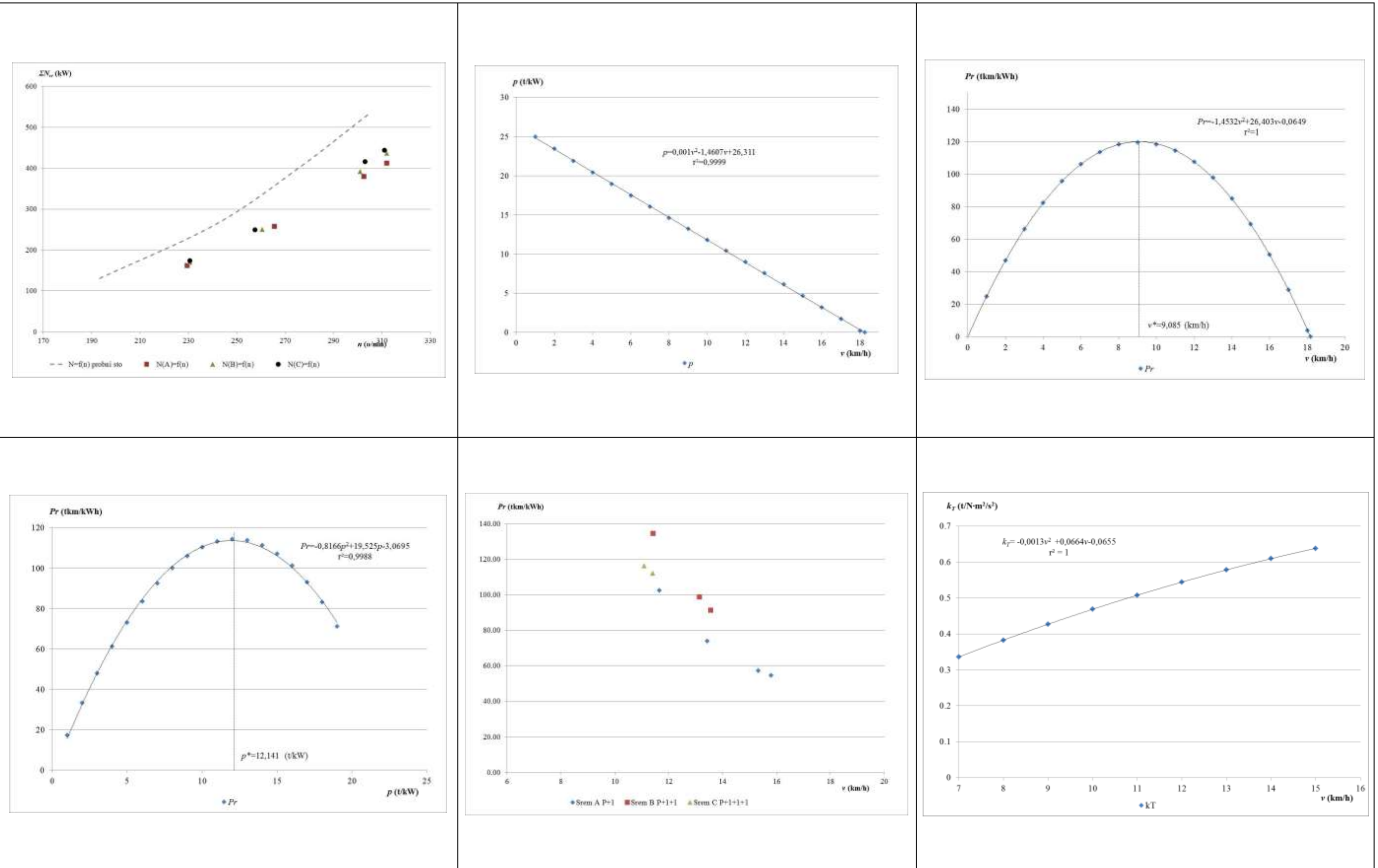
Tabela 7.19 Eksploatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač "Srem"

Oblik sklopa	v (km/h)	ΣQ_e (t)	ΣN_e (kW)	p (t/kW)	PU (tkm/h)	Pr (tkm/kWh)	k_T (t/N·m ² /s ²)	r_Q (N/t)	r_D (N/t)
A – P+1	15,80	1521,958	411,8	3,6958	24.046,9364	58,3946	0,668	31,09	24,20
B – P+1+1	13,55	3043,916	435,6	6,9886	41.245,0618	94,6856	0,602	27,07	21,84
C – P+1+1+1	11,40	4565,874	442,2	10,3253	52.050,9636	117,7090	0,527	22,86	18,23



Slika 7.5 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Srem“

Tabela 7.20 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač "Srem"



Merna staza na kojoj su obavljeni eksperimenti sa brodom "Srem" tokom provođenja ispitivanja u potpunosti zadovoljava postavljene uslove, kako prema kriterijumu h_{min} tako i po Frudovom broju, Fr . Pri takvim uslovima smatra se da dubina ne utiče na dopunsko povećanje ukupnog otpora sklopova, kao i da ne remeti pravilan rad propulzora.

Potiskivani sastavi za potrebe eksperimenata formirani su od potisnica simetričnog oblika serije PIM71700 i serije PIM71800, koje su jednakih dimenzija i gotovo identičnih nosivosti. Osim toga, sve potisnice u procesu provođenja eksperimenta bile su utovarene na najveći gaz, zbog čega koeficijent iskorišćenja nosivosti potiskivanih sastava iznosi $\varepsilon_{sast}=1,0$. Koeficijent iskorišćenja deplasmana potisnica serije PIM71700 i PIM71800 iznosi $\eta_{DW}=0,8394$.

Analizom dijagrama iz kojeg se sagledavaju stanje pogonskih motora i propelera (promena snage motora po sklopovima utvrđena tokom eksperimenata) i međusobni odnos prema promeni snage u zavisnosti od broja obrtaja vratila [$N_{vr}=f(n_{vr})$] dobijena na osnovu rezultata ispitivanja motora na probnom stolu opitne stanice u fabrici zaključuje se da tačke koje opisuju rad broda ne leže ni približno u odnosu na krivu sa probnog stola, te propulzori u svim slučajevima eksperimenta (sva tri sklopa) deluju značajno rasterećujuće na pogonske motore broda. Iz ovoga sledi da propulzija motornog potiskivača „Srem“ ne zadovoljava. Međutim, na osnovu činjenica da tokom ispitivanja motori ni u jednom slučaju nisu dostigli očekivane snage i odgovarajuće brojeve obrtaja ne mogu se samo propulzori okriviti da deluju rasterećujuće, već je uzrok tome, takođe, i stanje samih pogonskih motora.

Stepen iskorišćenja ukupne snage pogonskih motora broda-potiskivača (η_{pr}) pri radu sa sklopovima koji se odlikuju različitim karakteristikama i pri različitim režimima rada nije jednak je za sve sklopove, i menja se u granicama 0,7362 (za sklop oblika P+1) do 0,7905 (za sklop oblika P+1+1+1), pri čemu srednja vrednost stepena iskorišćenja snage iznosi $\bar{\eta}_{pr}=0,7684$. Iz ovoga sledi, da je ukupna snaga merena na propelerskim vratilima u odnosu na ugrađenu snagu pogonskih motora manja za 147,5 kW, ili 26,38% (sklop P+1), odnosno za 117,16 kW ili 20,94% (sklop P+1+1+1).

Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji brzine $P_r=f(v)$ definiše brzinu plovidbe ($v^*=9,085$ km/h) pri kojoj ovaj pokazatelj postiže vrlo veliku vrednost, koja iznosi $P_r=119,8632$ tkm/kWh. Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja $P_r=f(p)$ definiše preporučenu vrednost ove veličine, koja iznosi $p^*=12,141$ t/kW. Upoređivanjem podataka o statičkom opterećenju postignutom tokom ispitivanja vidi se da preporučenu vrednost ne dostiže nijedan od sklopova. Preporučena nosivost potiskivanog sastava, u datom stanju pogonskih motora, koja odgovara vrednosti $p^*=12,141$ t/kW i ukupnoj (srednjoj, utvrđenoj tokom eksperimenata u realnoj plovidbi) snazi pogonskih motora broda ($\sum \bar{N}_e=438,9$ kW) iznosi $\Sigma Q_e=5.328,6849$ tona, što čini sastav od 3,501 potisnica serije PIM71700 (ili serije PIM71800). Veoma dobre

vrednosti pokazatelja kvaliteta tonaže (k_T) rezultat su, pre svega, povoljnog oblika potiskivanih sklopova.

Od ispitivanih oblika sastava u realnim uslovima plovidbe pri datom tehničkom stanju pogonskih motora broda, na osnovu položaja tačaka kojima se opisuje položaj rezultativnog pokazatelja $Pr(v)$ za svaki od sklopova, prednost u toku eksploatacije treba dati sklopu oblika P+1+1. Sklop oblika P+1 ne preporučuje se.

7.4.6 Brod potiskivač „Deligrad“

Tabela 7.21 Osnovne osobenosti potiskivača “Deligrad” i potisnica JRB81200 i JRB71300

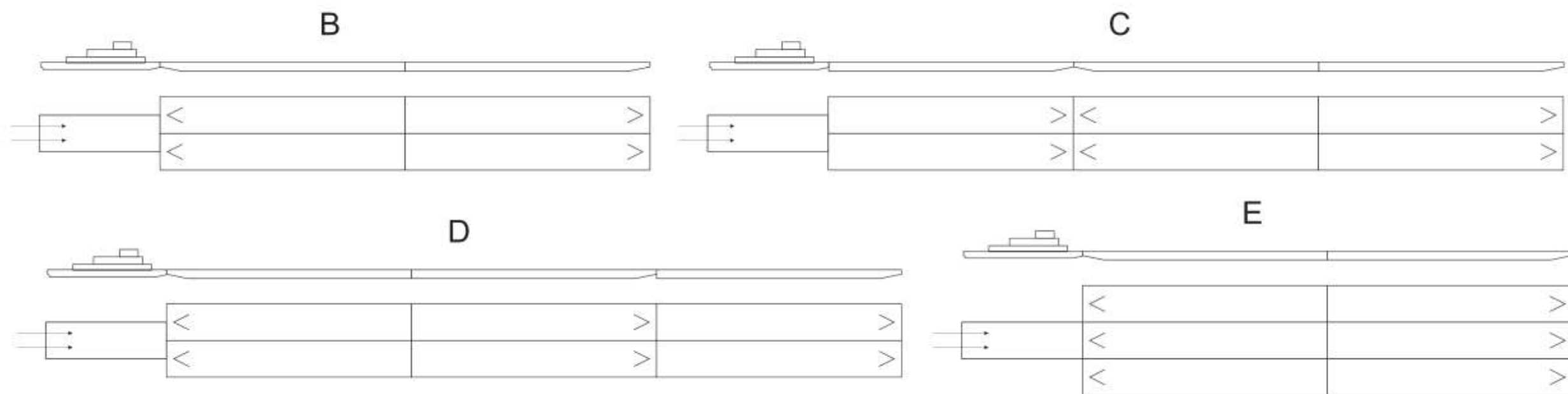
	L_{oa} (m)	L_{kvl} (m)	B_{kvl} (m)	T_0 (m)	T_{km} (m)	H_k (m)	D (t)	δ	η_{DW}	ΣN_i (kW)	Q_r (t)
Brod potiskivač	35,51	34,11	9,80	1,200	1,50	2,55	354,4	0,7067	-	$2 \times 456 = 912$	-
Serijska potisnica u sastavu JRB 81200	67,00	65,82	10,20	0,370	2,30	2,61	1470,681	0,9521	0,8445	-	1242,0045
Serijska potisnica u sastavu JRB 71300	66,95	65,926	10,20	0,370	2,30	2,62	1483,1194	0,9589	0,8504	-	1,261,366

Tabela 7.22 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač “Deligrad”

Oblik sklopa	L_{sast} (m)	B_{sast} (m)	L_{sast}/B_{sast}	η_{pr}	ϵ_{sast}	\bar{h} (m)	T (m)	\bar{h}/\bar{T}	v (km/h)	$h_{min} = 4 \cdot \frac{v^2}{g}$	$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$
B – P+2+2	131,852	20,4	6,463	0,8207	1,00	12,5	2,3	5,36	11,35	4,053	0,297
C – P+2+(2+2)	197,778	20,4	9,684	0,8752	0,9873	12,5	2,3	5,36	9,86	3,0587	0,3113
D – P+(2+2)+2	197,778	20,4	9,684	0,8638	0,9873	12,5	2,3	5,36	9,86	3,0587	0,3113
E – P+3+3	131,852	30,6	4,3088	0,8515	0,9873	12,5	2,3	5,36	9,75	2,9908	0,255

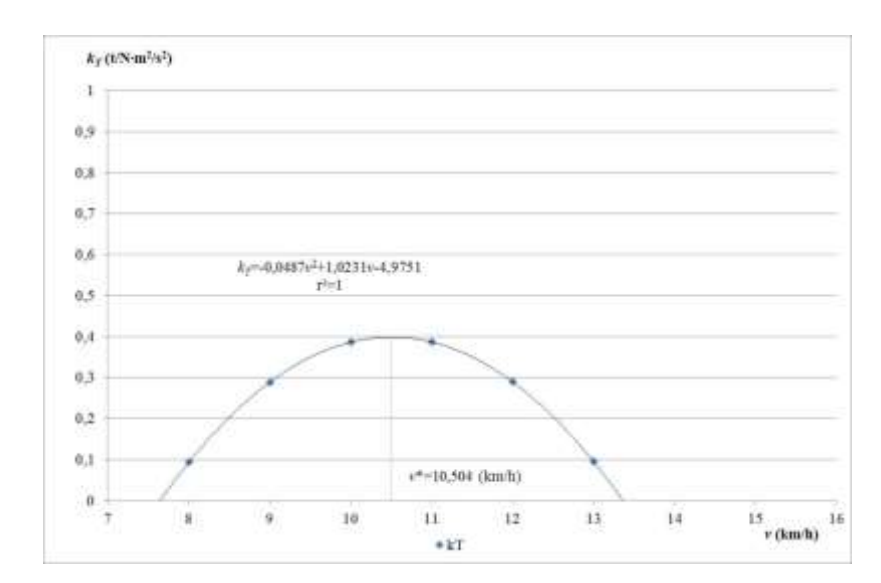
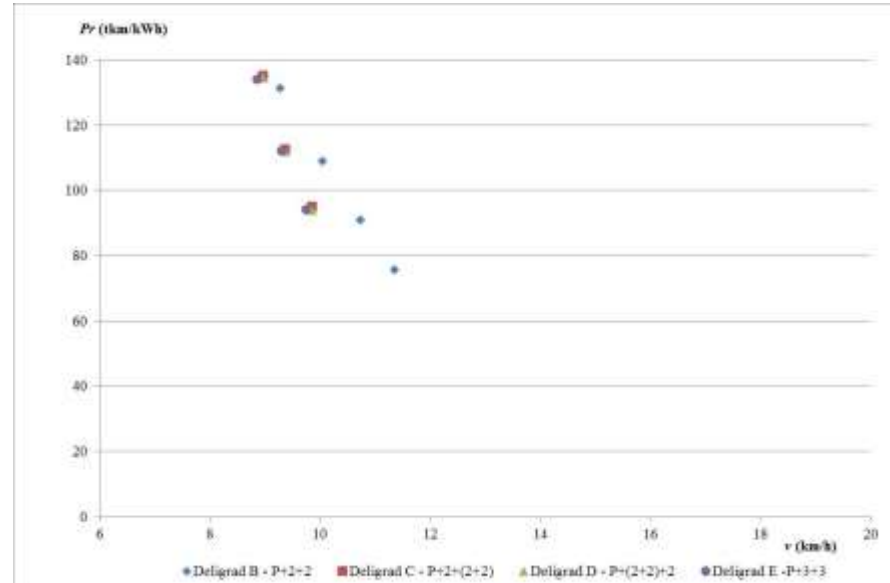
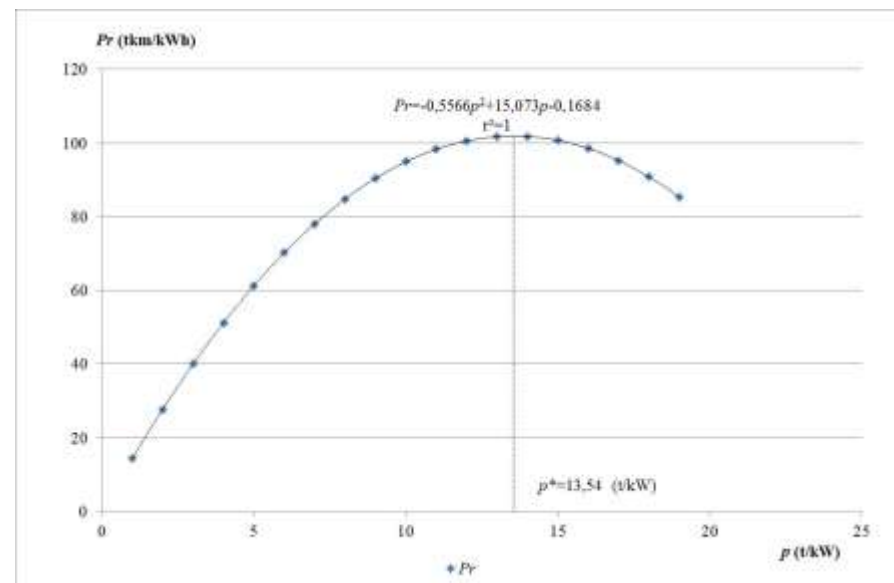
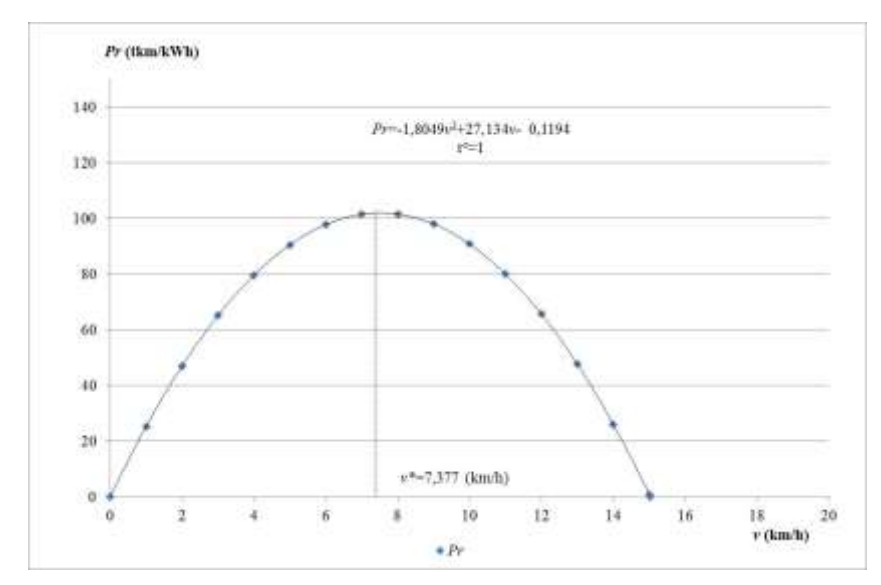
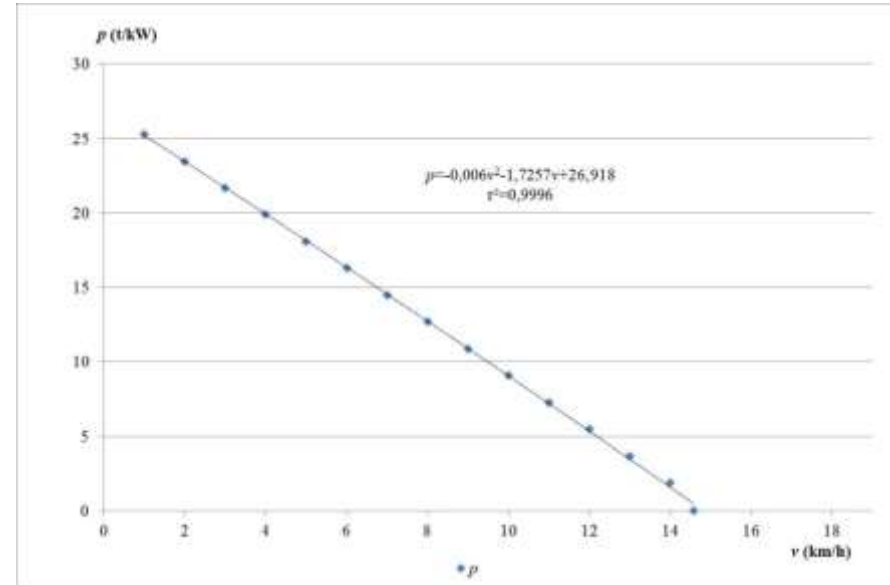
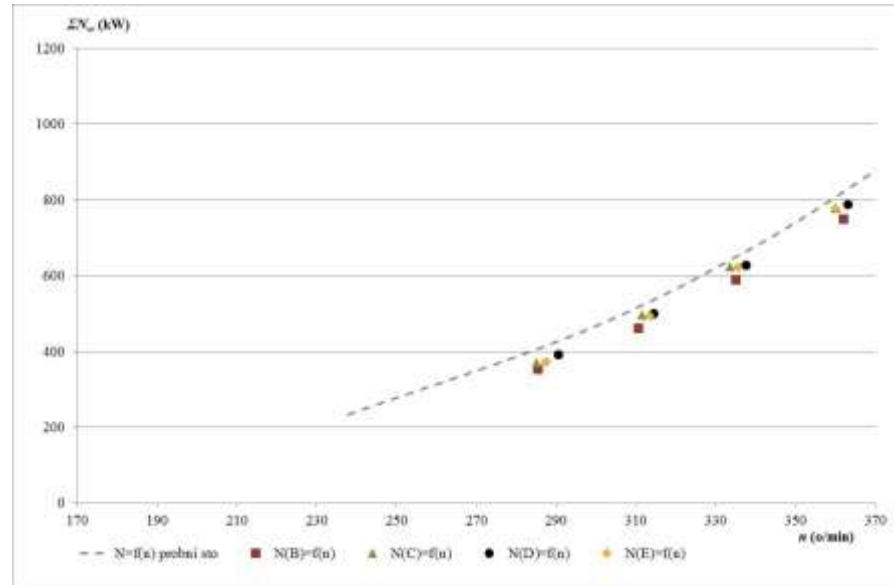
Tabela 7.23 Eksploatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač “Deligrad”

Oblik sklopa	v (km/h)	ΣQ_e (t)	ΣN_e (kW)	p (t/kW)	PU (tkm/h)	Pr (tkm/kWh)	k_T (t/N·m ² /s ²)	r_Q (N/t)	r_D (N/t)
B – P+2+2	11,35	4968,018	748,50	6,6373	56.387,0043	75,3333	0,364	31,62	26,64
C – P+2+(2+2)	9,86	7396,018	798,54	9,2619	72.924,7374	91,3225	0,380	23,04	19,41
D – P+(2+2)+2	9,86	7396,018	787,80	9,3882	72.924,7374	92,5675	0,377	23,21	19,55
E – P+3+3	9,75	7396,018	776,61	9,5234	72.111,1755	92,8537	0,371	23,09	19,45



Slika 7.6 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Deligrad“ (motorni potiskivač)

Tabela 7.24 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Deligrad“ (motorni potiskivač)



Merna staza na kojoj su obavljani eksperimenti sa brodom "Deligrad" tokom provođenja ispitivanja u potpunosti zadovoljava postavljene uslove, kako prema kriterijumu h_{min} tako i po Frudovom broju, Fr . Pri takvim uslovima smatra se da dubina ne utiče na dopunsko povećanje ukupnog otpora sklopova, kao i da ne remeti pravilan rad propulzora.

Potiskivani sastavi za potrebe eksperimenata formirani su od nesimetričnih potisnica serije JRB71300 i serije JRB81200, koje su jednakih dimenzija i gotovo identičnih nosivosti. Osim toga, sve potisnice u procesu provođenja eksperimenta bile su utovarene na najveći gaz, zbog čega koeficijent iskorišćenja nosivosti potiskivanih sastava iznosi $\varepsilon_{sast}=1,0$. Koeficijent iskorišćenja deplasmana potisnica serije JRB71300 iznosi $\eta_{DW}=0,8504$, a serije JRB81200 iznosi $\eta_{DW}=0,8445$.

Analizom dijagrama iz kojeg se sagledavaju stanje pogonskih motora i propelera (promena snage motora po sklopovima utvrđena tokom eksperimenata) i međusobni odnos prema promeni snage u zavisnosti od broja obrtaja vratila [$N_{vr}=f(n_{vr})$] dobijena na osnovu rezultata ispitivanja motora na probnom stolu opitne stanice u fabrici zaključuje se da:

► se tačke koje opisuju rad broda u sklopu P+2+2 nalaze ispod krive sa probnog stola, te propeleri preuzimaju manju snagu u odnosu na ugrađenu (za 17,92%), zbog čega deluju rasterećujuće u odnosu na snagu pogonskih motora. Prema tome, sklop oblika P+2+2, ukupne nosivosti $\Sigma Q_e=4968,018$ tona ne odgovara instalisanoj snazi potiskivača.

► se tačke koje opisuju rad broda sa sklopovima P+2+(2+2), P+(2+2)+2 i P+3+3 nalaze blisko uz krivu motora dobijenu na probnom stolu, tako da propeleri odgovaraju u pogledu preuzimanja snage, ne deluju ni opterećujuće niti rasterećujuće - zbog čega propulzija zadovoljava.

Stepen iskorišćenja ukupne snage pogonskih motora broda-potiskivača (η_{pr}) pri radu sa sklopovima koji se odlikuju različitim karakteristikama i pri različitim režimima rada nije jednak je za sve sklopove, i menja se u granicama 0,8207 (za sklop oblika P+2+2) do 0,8695 (za sklop oblika P+2+2+2), pri čemu srednja vrednost stepena iskorišćenja snage iznosi $\bar{\eta}_{pr}=0,8635$. Iz ovoga sledi, da je ukupna snaga merena na propelerskim vratilima u odnosu na ugrađenu snagu pogonskih motora manja za 163,5 kW, ili 17,92% (sklop P+2+2), za 118,83 kW ili 13,0% (sklop P+2+2+2), odnosno 135,39 kW ili 14,84% za sklop P+3+3.

Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji brzine $P_r=f(v)$ definiše brzinu plovidbe ($v^*=7,377$ km/h) pri kojoj ovaj pokazatelj postiže vrlo veliku vrednost, koja iznosi $P_r=101,8252$ tkm/kWh, zahvaljujući najviše visokim vrednostima statičkog opterećenja pogonskih motora (p). Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja $P_r=f(p)$ definiše preporučenu vrednost ove veličine, koja iznosi $p^*=13,54$ t/kW. Upoređivanjem podataka o statičkom opterećenju postignutom tokom ispitivanja vidi se da preporučenu vrednost ne dostiže nijedan od sklopova. Preporučena nosivost potiskivanog sastava, u datom stanju pogonskih motora, koja odgovara vrednosti $p^*=13,54$ t/kW i ukupnoj (srednjoj, utvrđenoj tokom eksperimenata u

realnoj plovidbi) snazi pogonskih motora broda ($\sum \bar{N}_e = 787,65$ kW) iznosi $\Sigma Q_e = 10.664,78$ tona, što čini sastav od 8,45 potisnica serije JRB71300 ili 8,58 potisnica serije JRB81200. Pokazatelj kvaliteta tonaže (k_T) ostvaruje, pri svim sklopovima, prosečne vrednosti, zahvaljujući pre svega, povoljnom obliku potiskivanih sklopova.

Od ispitivanih oblika sastava u realnim uslovima plovidbe pri datom tehničkom stanju pogonskih motora broda, na osnovu položaja tačaka kojima se opisuje položaj rezultativnog pokazatelja $Pr(v)$ za svaki od sklopova, prednost u toku eksploatacije treba dati sklopovima oblika P+2+2+2 i P+3+3. Sklop oblika P+2+2 ne preporučuje se.

7.4.7 Brod potiskivač „Sloga“

Tabela 7.25 Osnovne osobenosti potiskivača „Sloga“ i potisnica DL81500

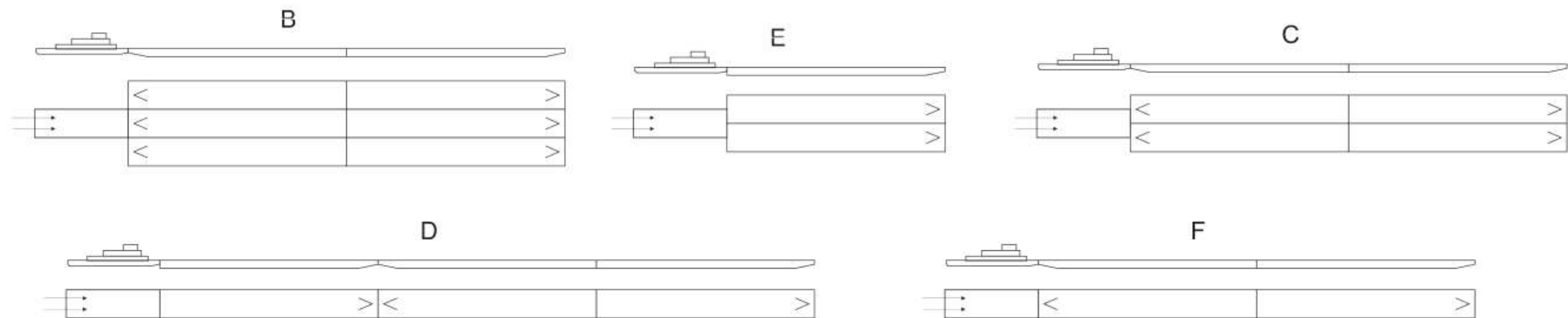
	L_{oa} (m)	L_{kvl} (m)	B_{kvl} (m)	T_0 (m)	T_{km} (m)	H_k (m)	D (t)	δ	η_{DW}	ΣN_i (kW)	Q_r (t)
Brod potiskivač	33,64	32,18	10,98	1,35	1,90	2,63	393,00	0,5853		$2 \times 706,6 = 1413,2$	-
Serijska potisnica u sastavu DL 81500	80,00	78,06	10,96	0,383	2,52	2,81	2020,0183	0,9369	0,8564	-	1729,9416

Tabela 7.26 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač „Sloga“

Oblik sklopa	L_{sast} (m)	B_{sast} (m)	L_{sast}/B_{sast}	η_{pr}	ϵ_{sast}	\bar{h} (m)	T (m)	\bar{h}/\bar{T}	v (km/h)	$h_{min} = 4 \cdot \frac{v^2}{g}$	$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$
B – P+3+3	156,12	32,88	4,7481	0,9288	0,9609	12,5	2,52	4,9603	13,3	5,565	0,3336
C – P+2+2	156,12	21,92	7,1222	0,9272	0,9609	10,5	2,52	4,1666	15,8	7,854	0,4324
D – P+1+(1+1)	234,18	10,96	21,3667	0,9294	0,9609	10,5	2,52	4,1666	16,7	8,774	0,4570
E – P+2	78,06	21,92	3,5611	0,9259	0,9609	10,5	2,52	4,1666	15,6	7,656	0,4269
F – P+1+1	156,12	10,96	14,2445	0,9212	0,9609	10,5	2,52	4,1666	18,5	10,767	0,5063

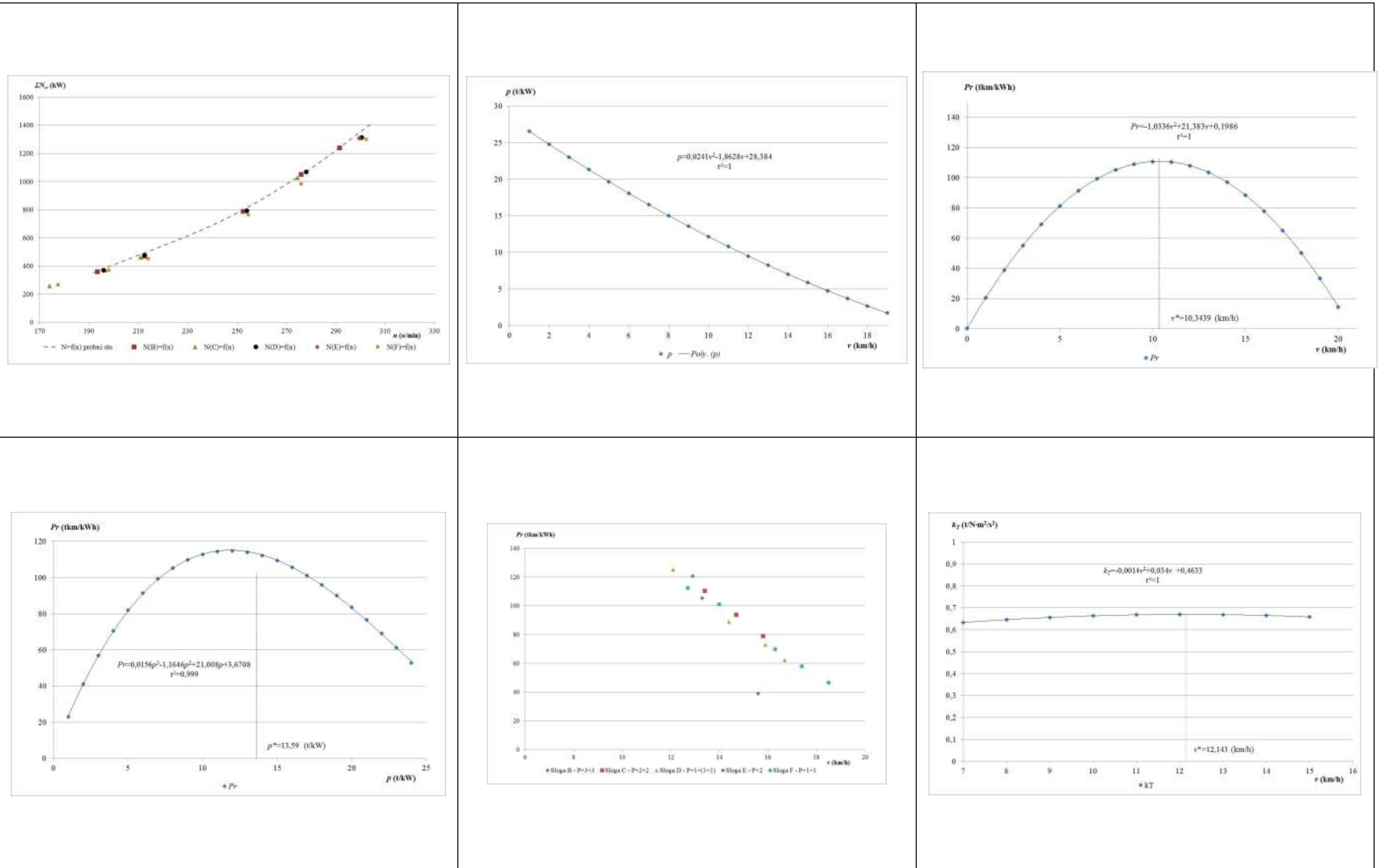
Tabela 7.27 Eksploatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač „Sloga“

Oblik sklopa	v (km/h)	ΣQ_e (t)	ΣN_e (kW)	p (t/kW)	PU (tkm/h)	Pr (tkm/kWh)	k_T (t·N·m ² /s ²)	r_Q (N/t)	r_D (N/t)
B – P+3+3	13,3	9.807,10	1312,7	7,9236	130.434,43	105,3845	0,669	24,69	19,98
C – P+2+2	15,8	6.538,06	1310,4	4,9893	103.301,34	78,8319	0,687	33,08	26,76
D – P+1+(1+1)	16,7	4.903,50	1313,5	3,7331	81.888,45	62,3437	0,617	40,72	32,95
E – P+2	15,6	3.269,00	1308,6	2,4980	50.996,40	38,9702	0,331	67,67	54,76
F – P+1+1	18,5	3.269,00	1301,9	2,5109	60.476,50	46,4524	0,630	46,92	37,96



Slika 7.7 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Sloga“

Tabela 7.28 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Sloga“



Merna staza na kojoj su obavljani eksperimenti sa brodom "Sloga" tokom provođenja ispitivanja u potpunosti zadovoljava postavljene uslove za sve sklopove (osim sklopa oblika P+1+1), kako prema kriterijumu h_{min} tako i po Frudovom broju, Fr . Pri takvim uslovima smatra se da dubina ne utiče na dopunsko povećanje ukupnog otpora sklopova, kao i da ne remeti pravilan rad propulzora. Tokom plovidbe za vreme obavljanja eksperimenata sa sklopom oblika P+1+1 srednja dubina u plovnom putu, koja iznosi $\bar{h}=10,5$ m, za 0,267 metara (ili 26,7 cm) manja je od preporučene $h_{min}=10,767$ m. Osim toga, za sklop oblika P+1+1 premašena je i vrednost Frudovog broja ($0,5063 > 0,50$). Iz tih razloga moguć je uticaj dubine kako na povećanje ukupnog otpora sklopa, tako i na pravilan rad propulzora.

Potiskivani sastavi za potrebe eksperimenata formirani su od nesimetričnih potisnica serije DL81500, koje su jednakih dimenzija i gotovo identičnih nosivosti. Osim toga, sve potisnice u procesu provođenja eksperimenta bile su utovarene na srednji gaz, koji iznosi $\bar{T}_e = 2,416$ m, zbog čega koeficijent iskorišćenja nosivosti potiskivanih sastava iznosi $\varepsilon_{sast}=0,9606$. Koeficijent iskorišćenja deplasmana potisnica serije DL 81500 iznosi $\eta_{DW}=0,8564$.

Analizom dijagrama iz kojeg se sagledavaju stanje pogonskih motora i propelera (promena snage motora po sklopovima utvrđena tokom eksperimenata) i međusobni odnos prema promeni snage u zavisnosti od broja obrtaja vratila [$N_{vr}=f(n_{vr})$] dobijena na osnovu rezultata ispitivanja motora na probnom stolu opitne stanice u fabrici zaključuje se, da se tačke koje odgovaraju sklopovima oblika P+3+3 i P+2+2 gotovo uklapaju u krivu promene snage dobijene na probnom stolu, zbog čega propulzija može da se smatra veoma povoljnom. Sklopovi oblika P+1+1+1, P+1+1 i P+2 ne predstavljaju potpuno opterećenje za potiskivač snage $\Sigma N_i=1413,2$ kW, propeleri imaju izvesno rasterećujuće dejstvo.

Stepen iskorišćenja ukupne snage pogonskih motora broda-potiskivača (η_{pr}) pri radu sa sklopovima koji se odlikuju različitim karakteristikama i pri različitim režimima rada gotovo je identičan za sve sklopove, i menja se u vrlo malim granicama, pri čemu srednja vrednost stepena iskorišćenja snage iznosi $\bar{\eta}_{pr}=0,9265$. Iz ovoga sledi, da je ukupna snaga merena na propelerskim vratilima po svim sklopovima u odnosu na ugrađenu snagu pogonskih motora manja za, u proseku, 103,87 kW, ili 7,35%.

Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji brzine $P_r=f(v)$ definiše brzinu plovidbe ($v^*=10,3439$ km/h) pri kojoj ovaj pokazatelj postiže vrlo veliku vrednost, koja iznosi $Pr=110,7908$ tkm/kWh, zahvaljujući najviše visokim vrednostima brzine plovidbe u odnosu na vodu (v). Istovremeno, karakteristične su male vrednosti statičkog opterećenja pogonskih motora (p). Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja $P_r=f(p)$ definiše preporučenu vrednost ove veličine, koja iznosi $p^*=13,59$ t/kW. Upoređivanjem podataka o statičkom opterećenju postignutom tokom ispitivanja sklopova u realnim uslovima vidi se da preporučenu vrednost ne dostiže nijedan od sklopova. Preporučena nosivost potiskivanog sastava, u datom stanju

pogonskih motora, koja odgovara vrednosti $p^*=13,59$ t/kW i ukupnoj (srednjoj, utvrđenoj tokom eksperimenata sa sklopovima u realnoj plovidbi) snazi pogonskih motora broda ($\sum \bar{N}_e = 1.309,42$ kW) iznosi $\Sigma Q_e = 17.795,0178$ tona, što čini sastav od 10,28 potisnica serije DL81500.

Od ispitivanih oblika sastava u realnim uslovima plovidbe pri datom tehničkom stanju pogonskih motora broda, na osnovu položaja tačaka kojima se opisuje položaj rezultativnog pokazatelja $Pr(v)$ za svaki od sklopova, prednost u toku eksploatacije treba dati sklopu P+3+3 i, donekle sklopu P+2+2. Ostali sklopovi ne preporučuje se zbog vrlo malih vrednosti rezultativnog pokazatelja P_r .

Rad broda „Sloga“ tokom eksperimenata karakterišu visoke vrednosti pokazatelja kvaliteta tonaže k_T (osim sklopa oblika P+2), što je posledica dobre usaglašenosti oblika, ukupne nosivosti sastava (ΣQ_e) i ukupnog otpora sklopova (R_{skl}).

7.4.8 Brod potiskivač „Pinki“ – prvo ispitivanje

Tabela 7.29 Osnovne osobnosti potiskivača “Pinki” – prvo ispitivanje i potisnica HP71700 i HP77400

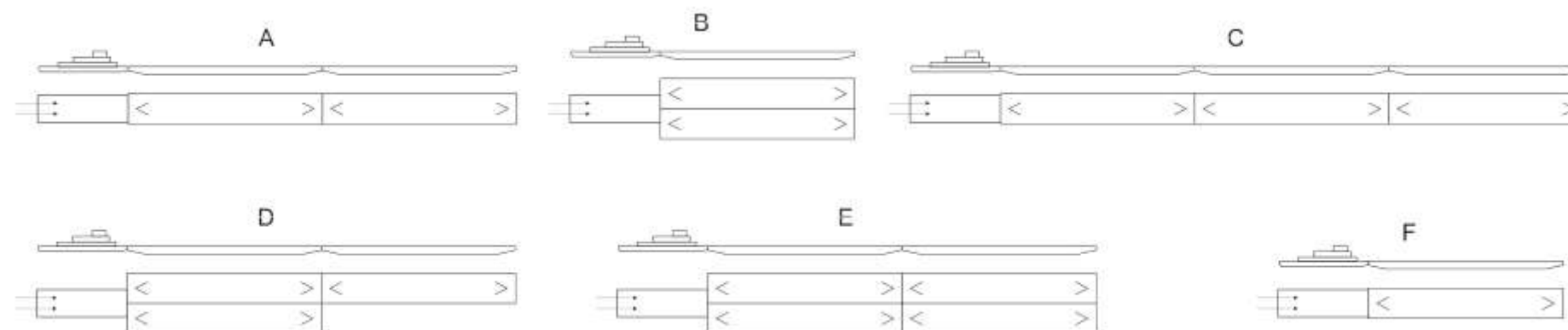
	L_{oa} (m)	L_{kvl} (m)	B_{kvl} (m)	T_0 (m)	T_{km} (m)	H_k (m)	D (t)	δ	η_{DW}	ΣN_i (kW)	Q_r (t)
Brod potiskivač	31,27	28,50	9,20	1,50	1,80	2,58	338,75	0,7177		$2 \times 379,04 = 758,08$	-
Serijska potisnica u sastavu HP 71700	70,95	68,20	11,60	0,487	2,50	2,70	1760,00	0,8898	0,8329	-	1466,025
Serijska potisnica u sastavu HP 77400	70,95	68,20	11,60	0,490	2,50	2,70	1760,00	0,8898	0,8332	-	1466,60

Tabela 7.30 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač “Pinki” – prvo ispitivanje

Oblik sklopa	L_{sast} (m)	B_{sast} (m)	L_{sast}/B_{sast}	η_{pr}	ϵ_{sast}	\bar{h} (m)	T (m)	\bar{h}/\bar{T}	v (km/h)	$h_{min} = 4 \cdot \frac{v^2}{g}$	$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot \bar{h}}}$
A – P+1+1	136,4	11,6	11,7586	0,9580	1,0	9,5	2,5	3,80	16,2	8,256	0,4661
B – P+2	68,2	23,2	2,9396	0,9225	1,0	9,0	2,5	3,60	15,3	7,364	0,4523
C – P+1+1+1	204,6	11,6	17,6379	0,9570	1,0	8,0	2,5	3,20	13,9	6,078	0,4358
D – P+2+1 (nesim)	136,4	23,2	5,8793	0,9488	1,0	7,5	2,5	3,00	13,1	5,399	0,4242
E – P+2+2	136,4	23,2	5,8793	0,9515	1,0	8,0	2,5	3,00	11,6	4,233	0,3637
F – P+1	68,2	11,6	5,8793	0,9834	1,0	9,0	2,5	3,6	18,6	10,884	0,5498

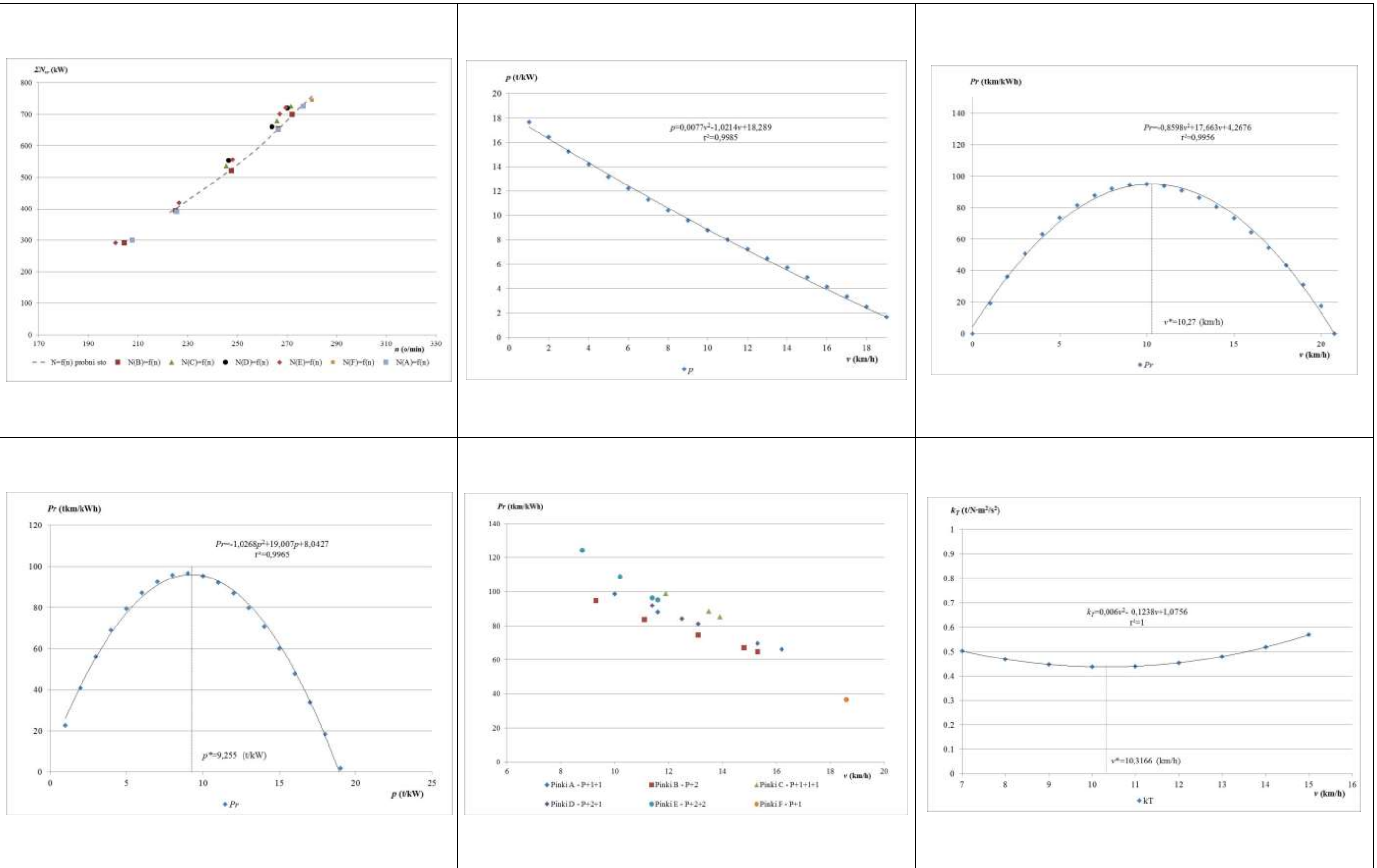
Tabela 7.31 Eksperimentalni pokazatelji kvaliteta tonage i specifični otpor sklopova za brod potiskivač “Pinki” – prvo ispitivanje

Oblik sklopa	v (km/h)	ΣQ_e (t)	ΣN_e (kW)	p (t/kW)	PU (tkm/h)	Pr (tkm/kWh)	k_T (t/N·m ² /s ²)	r_Q (N/t)	r_D (N/t)
A – P+1+1	16,2	2.932,625	726,3	4,0377	47.508,5250	65,4117	0,652	33,62	28,36
B – P+2	15,3	2.932,625	699,3	4,1936	44.869,1625	64,1629	0,535	37,29	31,46
C – P+1+1+1	13,9	4.398,937	725,4	6,0641	61.145,2243	84,2917	0,546	31,07	26,21
D – P+2+1 (nesim)	13,1	4.398,937	719,2	6,1164	57.626,0747	80,1252	0,460	33,06	27,88
E – P+2+2	11,6	5.865,250	721,3	8,1314	68.036,9000	94,3253	0,440	27,38	23,06
F – P+1	18,6	1.466,3125	745,5	1,9668	27.273,4125	36,5840	0,960	29,11	20,34



Slika 7.8 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Pinki“ – prvo ispitivanje

Tabela 7.32 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Pinki“ – prvo ispitivanje



Merna staza na kojoj su obavljani eksperimenti sa brodom "Pinki" tokom provođenja ispitivanja u potpunosti zadovoljava postavljene uslove za sve sklopove (osim sklopa oblika P+1), kako prema kriterijumu h_{min} tako i po Frudovom broju, Fr . Pri takvim uslovima smatra se da dubina ne utiče na dopunsko povećanje ukupnog otpora sklopova, kao i da ne remeti pravilan rad propulzora. Tokom plovidbe za vreme obavljanja eksperimenata sa sklopom oblika P+1 srednja dubina u plovnom putu, koja iznosi $\bar{h}=9,0$ m, za 1,884 metara (ili 188,4 cm) manja je od preporučene $h_{min}=10,884$ m. Osim toga, za sklop oblika P+1 premašena je i vrednost Frudovog broja ($0,5498 > 0,50$). Iz tih razloga moguć je uticaj dubine kako na povećanje ukupnog otpora sklopa, tako i na pravilan rad propulzora.

Potiskivani sastavi za potrebe eksperimenata formirani su od potisnica simetričnog oblika serija HP71700 i HP77400, koje su jednakih dimenzija i gotovo identičnih nosivosti. Osim toga, sve potisnice u procesu provođenja eksperimenta bile su utovarene na srednji gaz, koji iznosi $\bar{T}_e=2,50$ m, zbog čega koeficijent iskorišćenja nosivosti potiskivanih sastava iznosi $\varepsilon_{sast}=1,00$. Koeficijent iskorišćenja deplasmana potisnica serije HP71700 iznosi $\eta_{DW}=0,8329$, odnosno 0,8332.

Analizom dijagrama iz kojeg se sagledavaju stanje pogonskih motora i propelera (promena snage motora po sklopovima utvrđena tokom eksperimenata) i međusobni odnos prema promeni snage u zavisnosti od broja obrtaja vratila [$N_{vr}=f(n_{vr})$] dobijena na osnovu rezultata ispitivanja motora na probnom stolu opitne stanice u fabrici zaključuje se:

- da sastav oblika P+1+1 ne predstavlja neko veće opterećenje za brod snage $\Sigma N_i=758,08$ kW jer se tačke koje opisuju promenu snage u zavisnosti od broja obrtaja skoro poklapaju sa krivom dobijenom na osnovu ispitivanja na probnom stolu. To znači da propulzori koriste dobijenu energiju u punoj meri, tj. postoji usklađenost u radu između propulzora i pogonskih motora;
- pri plovidbi motornog potiskivača sa sastavom od dve potisnice u jednom redu (oblik P+2) ispitivanjem se dobijaju rezultati gotovo identični kao i pri plovidbi sklopa oblika P+1+1. Tačke koje opisuju promenu snage u zavisnosti od broja obrtaja skoro poklapaju sa krivom dobijenom na osnovu ispitivanja motora na probnom stolu, tako da propulzori koriste dobijenu energiju u punoj meri, tj. postoji usklađenost u radu između propulzora i pogonskih motora;
- rezultati ispitivanja sklopa oblika P+1+1+1 ukazuju na izvesno preopterećenje pogonskih motora, odnosno na opterećujuće dejstvo propelera. Prilikom ispitivanja ovog sklopa, kada su motori radili sa najvećim punjenjem za trajni pogon, nisu dostignuti ni nominalni broj obrtaja niti nominalna snaga – i pored toga može se smatrati da je propulzija zadovoljavajuća;
- rezultati ispitivanja sklopa oblika P+2+1 ukazuju na još veće opterećujuće dejstvo propelera na rad motora. Dostignuti broj obrtaja propelerskih vratila i ostvarena snaga

zaostaju za nominalnim zbog čega se može reći da se u ovom slučaju propulzija nalazi u donjoj granici zadovoljavajućeg područja;

- sastav od četiri potisnice (oblik sklopa P+2+2) treba da predstavlja normalno opterećenje motornog potiskivača "Pinki" zbog čega bi trebalo da propulzori, u ovom slučaju, postiču najveći stepen usaglašenosti sa pogonskim motorima. Rezultati ispitivanja ukazuju na izvesno opterećujuće delovanje propelera, nominalni broj obrtaja i nominalna snaga nisu postignuti, zbog čega nepovoljno utiču na postizanje željenih eksploatacionih rezultata;
- potiskivanje jedne potisnice (oblik sklopa P+1) za motorni potiskivač "Pinki" ne predstavlja nikakvo opterećenje, zbog čega u ovom slučaju propeleri deluju rasterećujuće na pogonske motore. Sa gledišta eksploatacije ovakav sklop ostvaruje veoma niske rezultate, te ga ne treba ni primenjivati.

Stepen iskorišćenja ukupne snage pogonskih motora broda-potiskivača (η_{pr}) pri radu sa sklopovima koji se odlikuju različitim karakteristikama i pri različitim režimima rada gotovo je identičan za sve sklopove, i menja se u vrlo malim granicama, pri čemu srednja vrednost stepena iskorišćenja snage iznosi $\bar{\eta}_{pr}=0,9535$. Iz ovoga sledi, da je ukupna snaga merena na propelerskim vratilima po svim sklopovima u odnosu na ugrađenu snagu pogonskih motora manja za, u proseku, 35,225 kW, ili 4,65%.

Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji brzine $P_r=f(v)$ definiše brzinu plovidbe ($v^*=10,27$ km/h) pri kojoj ovaj pokazatelj postiže veliku vrednost, koja iznosi $P_r=94,981$ tkm/kWh, najviše zahvaljujući visokim vrednostima brzine plovidbe u odnosu na vodu (v). Istovremeno, karakteristične su male vrednosti statičkog opterećenja pogonskih motora (p). Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja $P_r=f(p)$ definiše preporučenu vrednost ove veličine, koja iznosi $p^*=9,255$ t/kW. Upoređivanjem podataka o statičkom opterećenju postignutom tokom ispitivanja sklopova u realnim uslovima vidi se da preporučenu vrednost ne dostiže nijedan od sklopova. Preporučena nosivost potiskivanog sastava, u datom stanju pogonskih motora, koja odgovara vrednosti $p^*=9,255$ t/kW i ukupnoj (srednjoj, utvrđenoj tokom eksperimenata sa sklopovima u realnoj plovidbi, $\sum \bar{N}_e=722,833$ kW) snazi pogonskih motora broda iznosi $\Sigma Q_e=6.689,82$ tona, što čini sastav od 4,5 potisnica serije HP71700 i HP77400 – što, gotovo, u potpunosti odgovara projektovanom sklopu oblika P+2+2.

Prevozni učinak i rezultativni eksploatacioni pokazatelj ukazuju da mp „Pinki“ sa sastavom od četiri potisnice (oblik sklopa P+2+2) postiže vrlo dobre rezultate te, zbog toga, sastave sa manjim brojem potisnica treba primenjivati samo kada je to neizbežno.

7.4.9 Brod potiskivač „Pinki“ – drugo ispitivanje

Tabela 7.33 Osnovne osobenosti potiskivača “Pinki” – drugo ispitivanje i potisnica HP71700 i HP77400

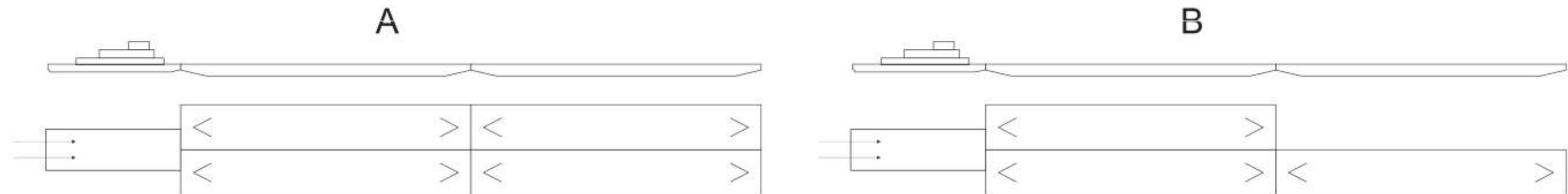
	L_{oa} (m)	L_{kvl} (m)	B_{kvl} (m)	T_0 (m)	T_{km} (m)	H_k (m)	D (t)	δ	η_{DW}	ΣN_i (kW)	Q_r (t)
Brod potiskivač	31,27	28,50	9,20	1,50	1,80	2,58	338,75	0,7177		$2 \times 379,04 = 758,08$	-
Serijska potisnica u sastavu HP 71700	70,95	68,20	11,60	0,487	2,50	2,70	1760,00	0,8898	0,8329	-	1466,025
Serijska potisnica u sastavu HP 77400	70,95	68,20	11,60	0,490	2,50	2,70	1760,00	0,8898	0,8332	-	1466,60

Tabela 7.34 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač “Pinki” – drugo ispitivanje

Oblik sklopa	L_{sast} (m)	B_{sast} (m)	L_{sast}/B_{sast}	η_{pr}	ϵ_{sast}	\bar{h} (m)	T (m)	\bar{h}/\bar{T}	v (km/h)	$h_{min} = 4 \cdot \frac{v^2}{g}$	$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$
A – P+2+2	136,4	23,2	5,8793	0,7236	1,0	8,5	2,5	3,40	10,919	3,751	0,3321
B - P+2+1 (nesim)	136,4	23,2	5,8793	0,6995	1,0	8,5	2,5	3,40	12,445	4,872	0,3785

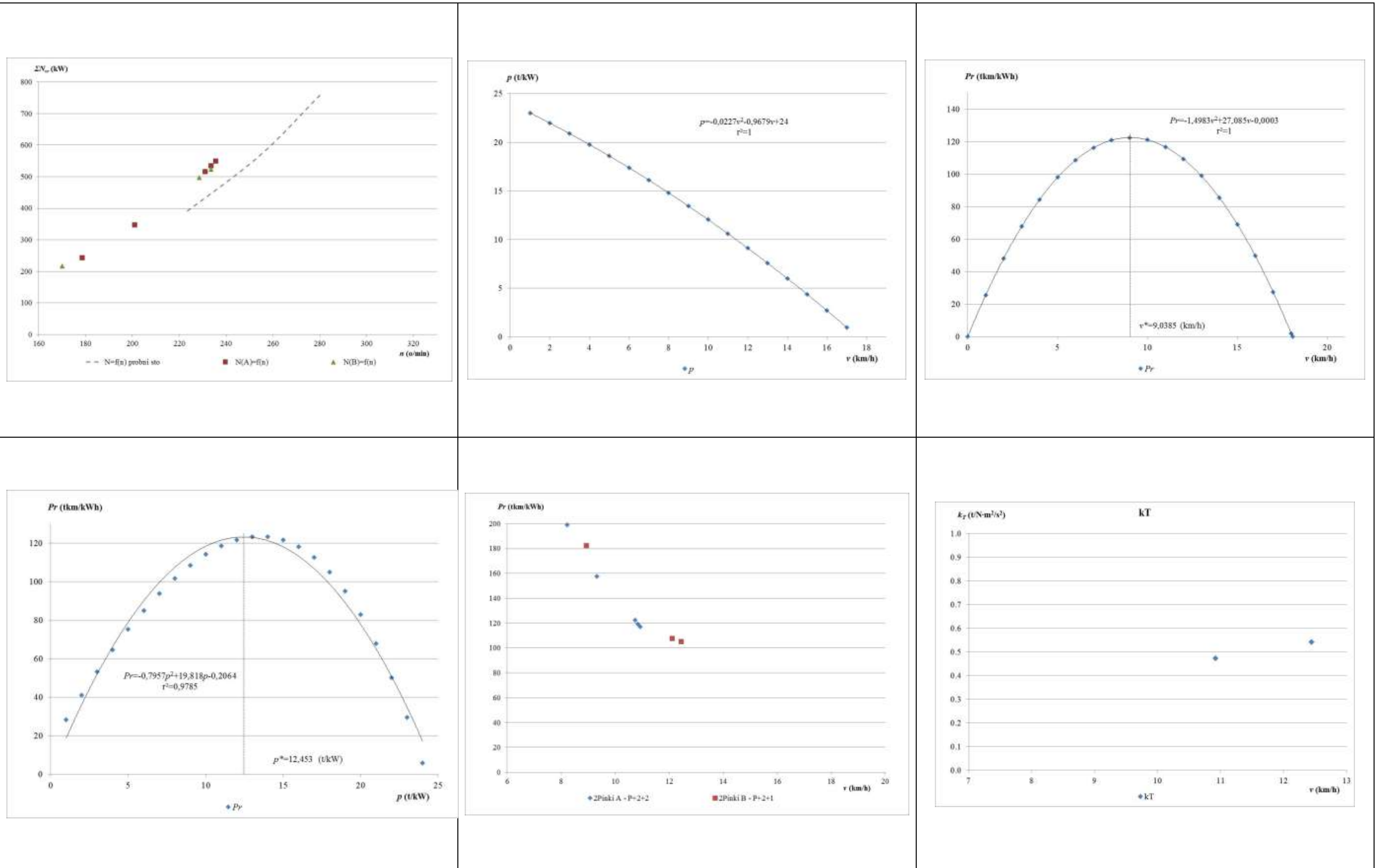
Tabela 7.35 Eksploatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač “Pinki” – drugo ispitivanje

Oblik sklopa	v (km/h)	ΣQ_e (t)	ΣN_e (kW)	p (t/kW)	PU (tkm/h)	Pr (tkm/kWh)	k_T (t/N·m ² /s ²)	r_Q (N/t)	r_D (N/t)
A – P+2+2	10,919	5.864,675	548,6	10,6902	64.036,3863	116,7269	0,473	22,70	18,99
B - P+2+1 (nesim)	12,445	4.398,075	530,3	8,2935	54.734,0433	103,2133	0,542	25,36	21,24



Slika 7.9 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Pinki“ – drugo ispitivanje

Tabela 7.36 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Pinki“ – drugo ispitivanje



Merna staza na kojoj su obavljani eksperimenti sa brodom "Pinki" tokom provođenja drugog ispitivanja u potpunosti zadovoljava postavljene uslove za sve sklopove kako prema kriterijumu h_{min} tako i po Frudovom broju, Fr . Pri takvim uslovima smatra se da dubina ne utiče na dopunsko povećanje ukupnog otpora sklopova, kao i da ne remeti pravilan rad propulzora.

Potiskivani sastavi za potrebe eksperimenata formirani su od potisnica simetričnog oblika serija HP71700 i HP77400, koje su jednakih dimenzija i gotovo identičnih nosivosti. Osim toga, sve potisnice u procesu provođenja eksperimenta bile su utovarene na srednji gaz, koji iznosi $\bar{T}_e=2,50$ m, zbog čega koeficijent iskorišćenja nosivosti potiskivanih sastava iznosi $\varepsilon_{sast}=1,00$. Koeficijent iskorišćenja deplasmana potisnica serije HP71700 iznosi $\eta_{DW}=0,8329$, odnosno 0,8332.

Analizom dijagrama iz kojeg se sagledavaju stanje pogonskih motora i propelera (promena snage motora po sklopovima utvrđena tokom eksperimenata) i međusobni odnos prema promeni snage u zavisnosti od broja obrtaja vratila [$N_{vr}=f(n_{vr})$] dobijena na osnovu rezultata ispitivanja motora na probnom stolu opitne stanice u fabrici zaključuje se da pri plovidbi oba sklopa (P+2+2 i P+2+1) propeleri deluju opterećujuće na pogonske motore. Tačke kojima se pokazuje promena snage u funkciji brojeva obrtaja oba sklopa gotovo se poklapaju. Budući da položaj tačaka promene snage u odnosu na srednji broj obrtaja treba da, približno, odgovara tačkama dobijenim tokom ispitivanja motora na probnom stolu, može da se zaključi da propulzija mp „Pinki“ tokom drugog ispitivanja ne zadovoljava. Međutim, na osnovu činjenica da tokom ispitivanja motori ni u jednom slučaju nisu dostigli očekivane snage i odgovarajuće brojeve obrtaja ne mogu se samo propulzori okriviti da deluju rasterećujuće, već je uzrok tome, takođe, i stanje samih pogonskih motora.

Stepen iskorišćenja ukupne snage pogonskih motora broda-potiskivača (η_{pr}) pri radu sa sklopovima koji se odlikuju različitim karakteristikama i pri različitim režimima rada gotovo je identičan za oba sklopa, i menja se u granicama od 0,7236 (P+2+2) do 0,6996 (sklop P+2+1), pri čemu srednja vrednost stepena iskorišćenja snage iznosi $\bar{\eta}_{pr}=0,7115$. Iz ovoga sledi, da je ukupna snaga merena na propelerskim vratilima po svim sklopovima u odnosu na ugrađenu snagu pogonskih motora manja za, u proseku, 218,668 kW, ili 28,85%.

Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji brzine $P_r=f(v)$ definiše brzinu plovidbe ($v^*=9,0385$ km/h) pri kojoj ovaj pokazatelj postiže izrazito veliku vrednost, koja iznosi $P_r=122,4046$ tkm/kWh, najviše zahvaljujući visokim vrednostima statičkog opterećenja motora (p). Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja $P_r=f(p)$ definiše preporučenu vrednost ove veličine, koja iznosi $p^*=12,453$ t/kW. Preporučena nosivost potiskivanog sastava, u datom stanju pogonskih motora, koja odgovara vrednosti $p^*=12,453$ t/kW i ukupnoj (srednjoj, utvrđenoj tokom eksperimenata sa sklopovima u realnoj plovidbi, $\sum \bar{N}_e=539,45$ kW) snazi

pogonskih motora broda iznosi $\Sigma Q_e=6.717,77$ tona, što čini sastav od 4,58 potisnica serije HP71700 i HP77400 – što, gotovo, u potpunosti odgovara sklopu oblika P+2+2.

Ukoliko se uporede prvo i drugo ispitivanje ovog broda postoji sumnja u ispravnost rada i opšte stanje pogonskih motora broda. Izvesno lako opterećujuće dejstvo propelera utvrđeno je i pri prvom ispitivanju, ali su motori dostizali približno nominalne brojeve obrtaja i nominalnu snagu, što se prilikom drugog ispitivanja nije dogodilo. Iz tog razloga postignuti rezultati rezultativnog pokazatelja (Pr) nemaju realnu osnovu.

7.4.10 Brod potiskivač „Panonija“ – prvo ispitivanje

Tabela 7.37 Osnovne osobenosti potiskivača „Panonija“ – prvo ispitivanje i potisnica HP71700 i HP77400

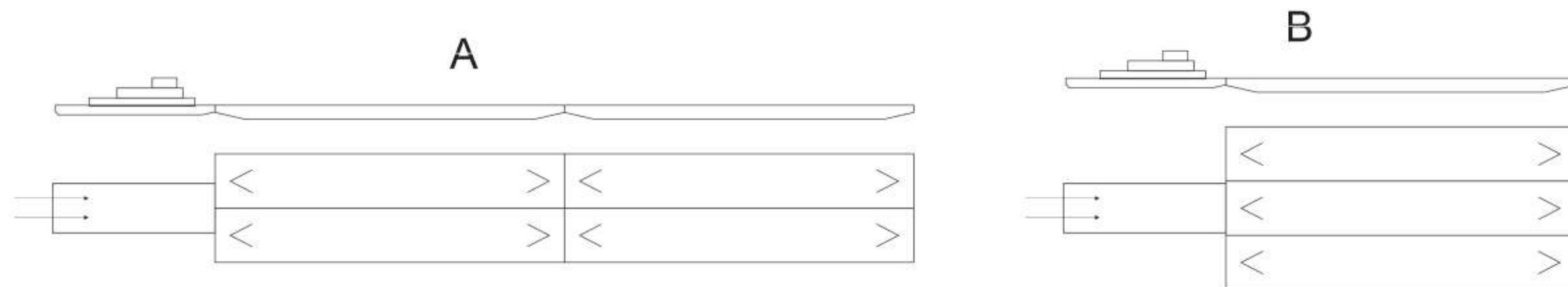
	L_{oa} (m)	L_{kvl} (m)	B_{kvl} (m)	T_0 (m)	T_{km} (m)	H_k (m)	D (t)	δ	η_{DW}	ΣN_i (kW)	Q_r (t)
Brod potiskivač	30,04	28,50	9,20	1,42	1,80	2,55	338,75	0,7177		$2 \times 379,04 = 758,08$	-
Serijska potisnica u sastavu HP 71700	70,95	68,20	11,60	0,487	2,50	2,70	1760,00	0,8898	0,8329	-	1466,025
Serijska potisnica u sastavu HP 77400	70,95	68,20	11,60	0,490	2,50	2,70	1760,00	0,8898	0,8332	-	1466,60

Tabela 7.38 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač „Panonija“ – prvo ispitivanje

Oblik sklopa	L_{sast} (m)	B_{sast} (m)	L_{sast}/B_{sast}	η_{pr}	ϵ_{sast}	\bar{h} (m)	T (m)	\bar{h}/\bar{T}	v (km/h)	$h_{min} = 4 \cdot \frac{v^2}{g}$	$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot \bar{h}}}$
A – P+2+2	136,40	23,2	5,8793	0,8641	1,0	9,5	2,50	3,80	11,35	4,053	0,3265
B – P+3	68,20	34,8	1,9597	0,8309	1,0	9,5	2,50	3,80	11,45	4,124	0,3294

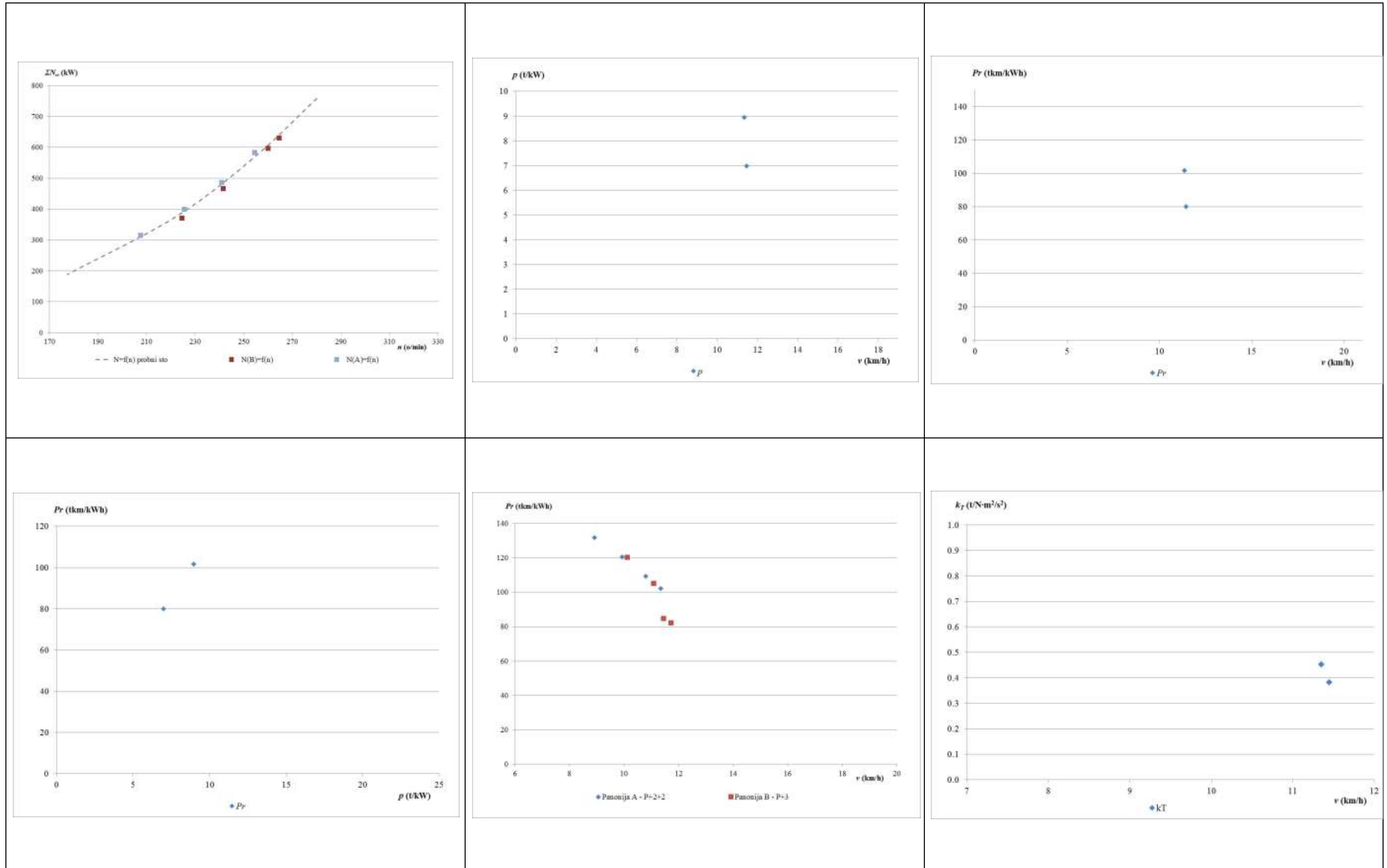
Tabela 7.39 Eksploatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač „Panonija“ – prvo ispitivanje

Oblik sklopa	v (km/h)	ΣQ_e (t)	ΣN_e (kW)	p (t/kW)	PU (tkm/h)	Pr (tkm/kWh)	k_T (t/N·m ² /s ²)	r_Q (N/t)	r_D (N/t)
A – P+2+2	11,35	5.865,25	655,1	8,9532	66.570,5875	101,6189	0,453	25,69	21,51
B – P+3	11,45	4.398,9375	629,9	6,9835	50.367,8343	79,9616	0,383	32,41	27,11



Slika 7.10 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Panonija“ – prvo ispitivanje

Tabela 7.40 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Panonija“ – prvo ispitivanje



Merna staza na kojoj su obavljani eksperimenti sa brodom "Panonija" tokom provođenja prvog ispitivanja u potpunosti zadovoljava postavljene uslove za sve sklopove kako prema kriterijumu h_{min} tako i po Frudovom broju, Fr . Pri takvim uslovima smatra se da dubina ne utiče na dopunsko povećanje ukupnog otpora sklopova, kao i da ne remeti pravilan rad propulzora.

Potiskivani sastavi za potrebe eksperimenata formirani su od potisnica simetričnog oblika serija HP71700 i HP77400, koje su jednakih dimenzija i gotovo identičnih nosivosti. Osim toga, sve potisnice u procesu provođenja eksperimenta bile su utovarene na srednji gaz, koji iznosi $\bar{T}_e = 2,50$ m, zbog čega koeficijent iskorišćenja nosivosti potiskivanih sastava iznosi $\varepsilon_{sast} = 1,00$. Koeficijent iskorišćenja deplasmana potisnica serije HP71700 iznosi $\eta_{DW} = 0,8329$, odnosno 0,8332.

Analizom dijagrama iz kojeg se sagledavaju stanje pogonskih motora i propelera (promena snage motora po sklopovima utvrđena tokom eksperimenata) i međusobni odnos prema promeni snage u zavisnosti od broja obrtaja vratila [$N_{vr} = f(n_{vr})$] dobijena na osnovu rezultata ispitivanja motora na probnom stolu opitne stanice u fabrici zaključuje se da pri plovidbi sklopa oblika P+2+2 propeleri imaju lako opterećujuće dejstvo tako da se, kao posledica, javljaju niži brojevi obrtaja i manja snaga. Kod sklopa oblika P+3 uočava se blago rasterećujuće dejstvo na pogonske motore. Budući da položaj tačaka promene snage u odnosu na srednji broj obrtaja treba da, približno, odgovara tačkama dobijenim tokom ispitivanja motora na probnom stolu, može da se zaključi da propulzija mp „Panonija“ ostvarena tokom ispitivanja oba sklopa zadovoljava.

Stepen iskorišćenja ukupne snage pogonskih motora broda-potiskivača (η_{pr}) pri radu sa sklopovima koji se odlikuju različitim karakteristikama i pri različitim režimima rada gotovo je identičan za oba sklopa, i menja se u granicama od 0,8641 (P+2+2) do 0,8309 (sklop P+3), pri čemu srednja vrednost stepena iskorišćenja snage iznosi $\bar{\eta}_{pr} = 0,8475$. Iz ovoga sledi, da je ukupna snaga merena na propelerskim vratilima po svim sklopovima u odnosu na ugrađenu snagu pogonskih motora manja za, u proseku, 115,607 kW, ili 15,2499%.

Eksperiment obavljen sa brodom "Panonija" u realnim uslovima plovidbe na Dunavu obuhvata ispitivanje samo dva oblika potiskivanih sastava (P+2+2 i P+3), zbog čega se rezultati proračuna na odgovarajućim dijagramima pokazuju u obliku dve tačke. Iz tog razloga nije moguće konstruisati integralne krive rezultativnog pokazatelja oblika $P_r = f(v)$ niti $P_r = f(p)$ na osnovu kojih se utvrđuju preporučena brzina plovidbe (v^*), preporučena vrednost statičkog opterećenja (p^*) niti preporučena nosivost sastava ΣQ_e .

Prevozni učinak i rezultativni eksploatacioni pokazatelj ukazuju da mp „Panonija“ sa sastavom od četiri potisnice (oblik sklopa P+2+2) postiže vrlo dobre rezultate te. Sklop oblika P+3 ostvaruje dobru vrednost rezultativnog pokazatelja ali treba ga primenjivati samo kada je to neizbežno usled vrlo malih vrednosti specifičnih otpora r_Q i r_D .

7.4.11 Brod potiskivač „Panonija“ – drugo ispitivanje

Tabela 7.41 Osnovne osobnosti potiskivača „Panonija“ – drugo ispitivanje i potisnica HP71700 i HP77400

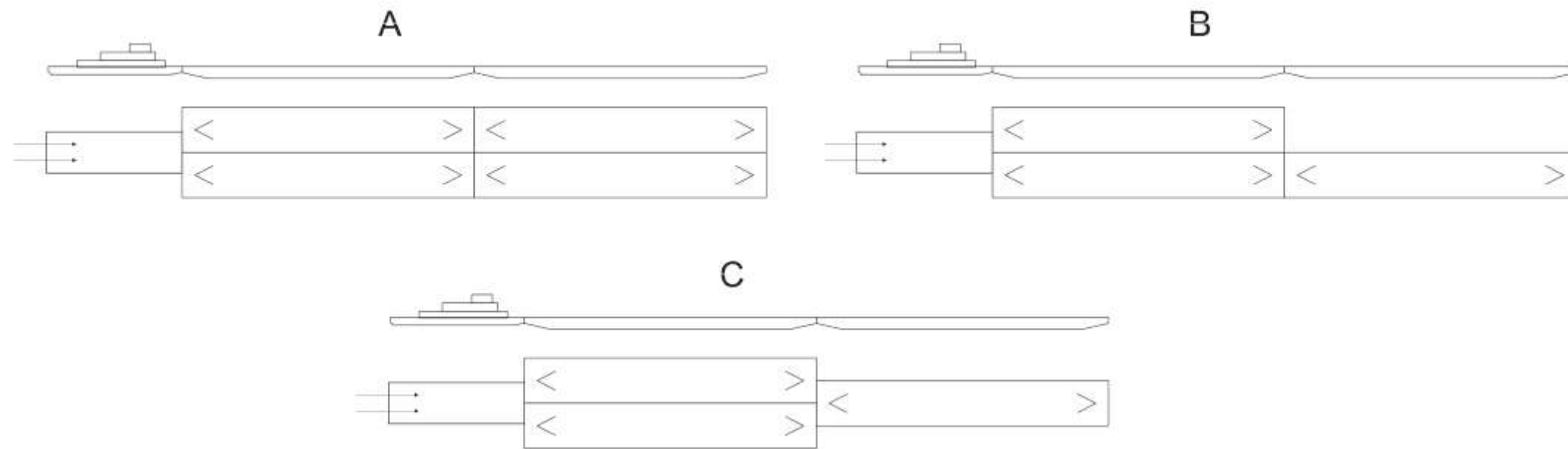
	L_{oa} (m)	L_{kvl} (m)	B_{kvl} (m)	T_0 (m)	T_{km} (m)	H_k (m)	D (t)	δ	η_{DW}	ΣN_i (kW)	Q_r (t)
Brod potiskivač	30,04	28,50	9,20	1,42	1,80	2,55	338,75	0,7177		$2 \times 379,04 = 758,08$	-
Serijska potisnica u sastavu HP 71700	70,95	68,20	11,60	0,487	2,50	2,70	1760,00	0,8898	0,8329	-	1466,025
Serijska potisnica u sastavu HP 77400	70,95	68,20	11,60	0,490	2,50	2,70	1760,00	0,8898	0,8332	-	1466,60

Tabela 7.42 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač „Panonija“ – drugo ispitivanje

Oblik sklopa	L_{sast} (m)	B_{sast} (m)	L_{sast}/B_{sast}	η_{pr}	ϵ_{sast}	\bar{h} (m)	T (m)	\bar{h}/\bar{T}	v (km/h)	$h_{min} = 4 \cdot \frac{v^2}{g}$	$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$
A – P+2+2	136,4	23,2	5,8793	0,7603	1,0	10,3	2,5	4,12	10,33	3,357	0,2854
B – P+2+1 (nesim)	136,4	23,2	5,8793	0,7367	1,0	10,3	2,5	4,12	11,65	4,270	0,3219
C – P+2+1 (sim)	136,4	23,2	5,8793	0,7493	1,0	10,3	2,5	4,12	12,32	4,775	0,3404

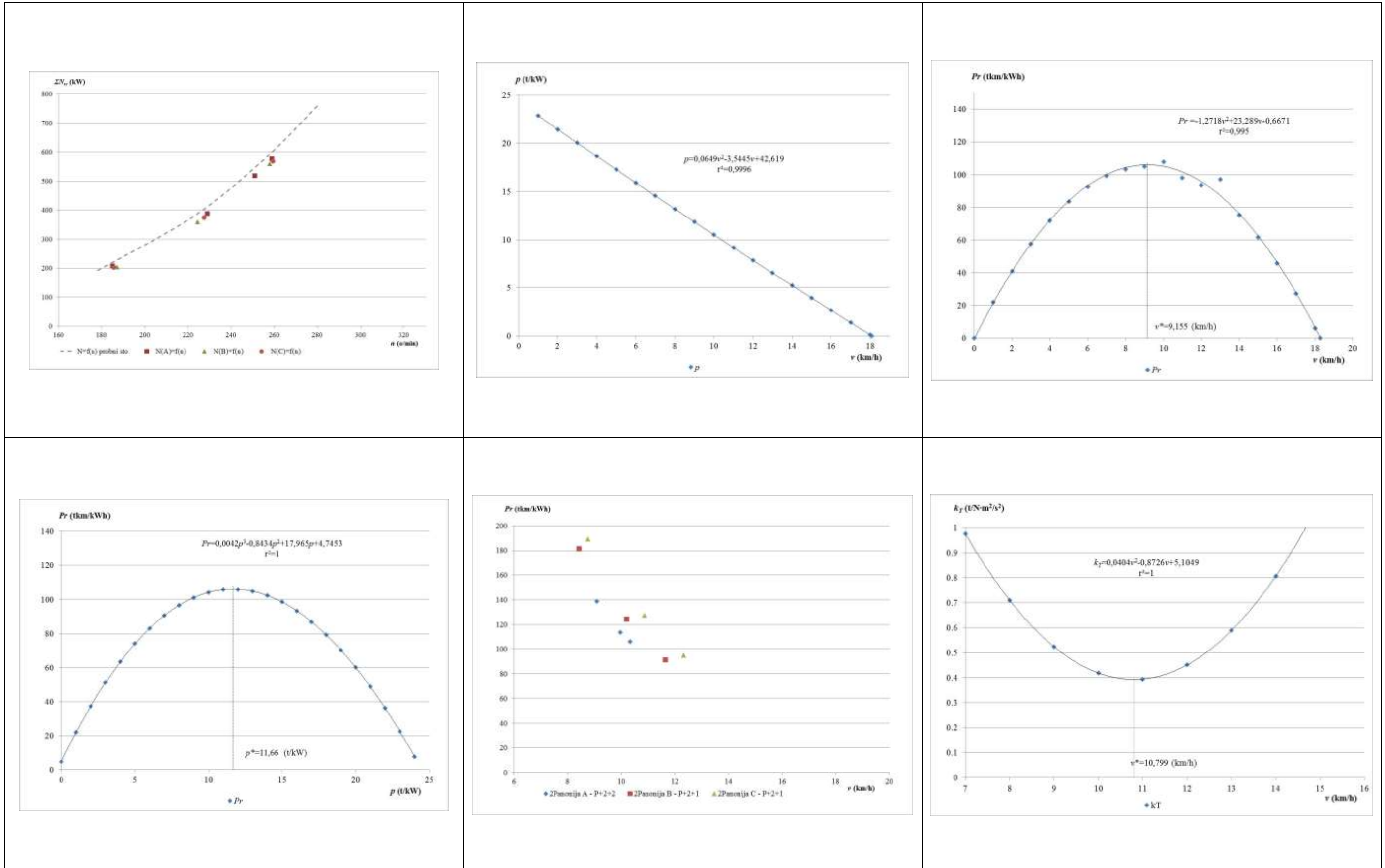
Tabela 7.43 Eksploatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač „Panonija“ – drugo ispitivanje

Oblik sklopa	v (km/h)	ΣQ_e (t)	ΣN_e (kW)	p (t/kW)	PU (tkm/h)	Pr (tkm/kWh)	k_T (t/N·m ² /s ²)	r_Q (N/t)	r_D (N/t)
A – P+2+2	10,33	5.864,675	576,4	10,1746	60.582,0927	105,1042	0,401	24,01	20,18
B – P+2+1 (nesim)	11,65	4.398,650	558,5	7,8758	51.244,2725	91,7533	0,421	29,13	24,17
C – P+2+1 (sim)	12,32	4.398,650	568,1	7,7427	54.191,3680	95,3905	0,485	28,14	23,35



Slika 7.11 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Panonija“ – drugo ispitivanje

Tabela 7.44 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Panonija“ – drugo ispitivanje



Merna staza na kojoj su obavljani eksperimenti sa brodom „Panonija” tokom provođenja drugog ispitivanja u potpunosti zadovoljava postavljene uslove za sve sklopove kako prema kriterijumu h_{min} tako i po Frudovom broju, Fr . Pri takvim uslovima smatra se da dubina ne utiče na dopunsko povećanje ukupnog otpora sklopova, kao i da ne remeti pravilan rad propulzora.

Potiskivani sastavi za potrebe eksperimenata formirani su od potisnica simetričnog oblika serija HP 71700 i HP 77400, koje su jednakih dimenzija i gotovo identičnih nosivosti. Osim toga, sve potisnice u procesu provođenja eksperimenta bile su utovarene na srednji gaz, koji iznosi $\bar{T}_e=2,50$ m, zbog čega koeficijent iskorišćenja nosivosti potiskivanih sastava iznosi $\varepsilon_{sast}=1,00$. Koeficijent iskorišćenja deplasmana potisnica serije HP 71700 iznosi $\eta_{DW}=0,8329$, odnosno serije HP 77400 - $\eta_{DW}=0,8332$.

Analizom dijagrama iz kojeg se sagledavaju stanje pogonskih motora i propelera (promena snage motora po sklopovima utvrđena tokom eksperimenata) i međusobni odnos prema promeni snage u zavisnosti od broja obrtaja vratila [$N_{vr}=f(n_{vr})$] dobijena na osnovu rezultata ispitivanja motora na probnom stolu opitne stanice u fabrici zaključuje se da pri plovidbi sklopa oblika P+2+2 propeleri deluju rasterećujuće na pogonske motore. Pogonski motori ne ostvaruju nominalni broj obrtaja niti nominalnu snagu. Budući da položaj tačaka promene snage u odnosu na srednji broj obrtaja treba da, približno, odgovara tačkama dobijenim tokom ispitivanja motora na probnom stolu, može da se zaključi da propulzija mp „Panonija“ tokom drugog ispitivanja sklopa oblika P+2+2 ne zadovoljava. Međutim, na osnovu činjenica da tokom ispitivanja motori ni u jednom slučaju nisu dostigli očekivane snage i odgovarajuće brojeve obrtaja ne mogu se samo propulzori okriviti da deluju rasterećujuće, već je uzrok tome, takođe, i stanje samih pogonskih motora. Prilikom ispitivanja propulzivnih osobenosti potiskivača sa sklopovima oblika P+2+1 (nesimetrično) i oblika P+2+1 (simetrično postavljene potisnice) zaključak je identičan – propulzija ne zadovoljava.

Stepen iskorišćenja ukupne snage pogonskih motora broda-potiskivača (η_{pr}) pri radu sa sklopovima koji se odlikuju različitim karakteristikama i pri različitim režimima rada gotovo je identičan za oba sklopa, i menja se u granicama od 0,7367 (P+2+1, nesimetrično) do 0,7603 (sklop P+2+2), pri čemu srednja vrednost stepena iskorišćenja snage iznosi $\bar{\eta}_{pr}=0,7487$. Iz ovoga sledi, da je ukupna snaga merena na propelerskim vratilima po svim sklopovima u odnosu na ugrađenu snagu pogonskih motora manja za, u proseku, 190,45 kW, ili 25,12%.

Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji brzine $P_r=f(v)$ definiše brzinu plovidbe ($v^*=9,155$ km/h) pri kojoj ovaj pokazatelj postiže veoma veliku vrednost, koja iznosi $P_r=105,949$ tkm/kWh, najviše zahvaljujući visokim vrednostima statičkog opterećenja pogonskih motora (p). Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja $P_r=f(p)$ definiše preporučenu

vrednost ove veličine, koja iznosi $p^*=11,66$ t/kW. Preporučena nosivost potiskivanog sastava, u datom stanju pogonskih motora, koja odgovara vrednosti $p^*=11,66$ t/kW i ukupnoj (srednjoj, utvrđenoj tokom eksperimenata sa sklopovima u realnoj plovidbi, $\sum \bar{N}_e = 567,666$ kW) snazi pogonskih motora broda iznosi $\Sigma Q_e = 6.618,99$ tona, što čini sastav od 4,51 potisnica serije HP 71700 i HP 77400 – što odgovara projektovanom sklopu oblika P+2+2.

Prevozni učinak i rezultativni eksploatacioni pokazatelj ukazuju da mp „Panonija“ sa sastavom od četiri potisnice (oblik sklopa P+2+2) postiže najbolje rezultate te, zbog toga, sastave sa manjim brojem potisnica treba primenjivati samo kada je to neizbežno.

7.4.12 Brod potiskivač „Kablar“

Tabela 7.45 Osnovne osobenosti potiskivača “Kablar” i potisnica PIM77300

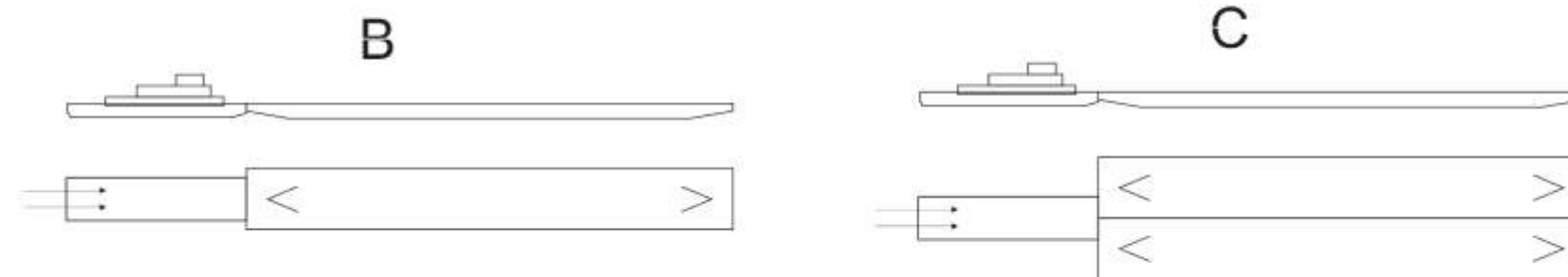
	L_{oa} (m)	L_{kvl} (m)	B_{kvl} (m)	T_0 (m)	T_{km} (m)	H_k (m)	D (t)	δ	η_{DW}	ΣN_i (kW)	Q_r (t)
Brod potiskivač	22,08	20,66	6,00	1,26	1,40	2,20	121,28	0,6988	-	$2 \times 110 = 220,8$	-
Serijska potisnica u sastavu PIM 77300	68,42	66,75	8,475	0,351	1,96	2,20	978,9483	0,8829	0,8367	-	819,1383

Tabela 7.46 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač “Kablar”

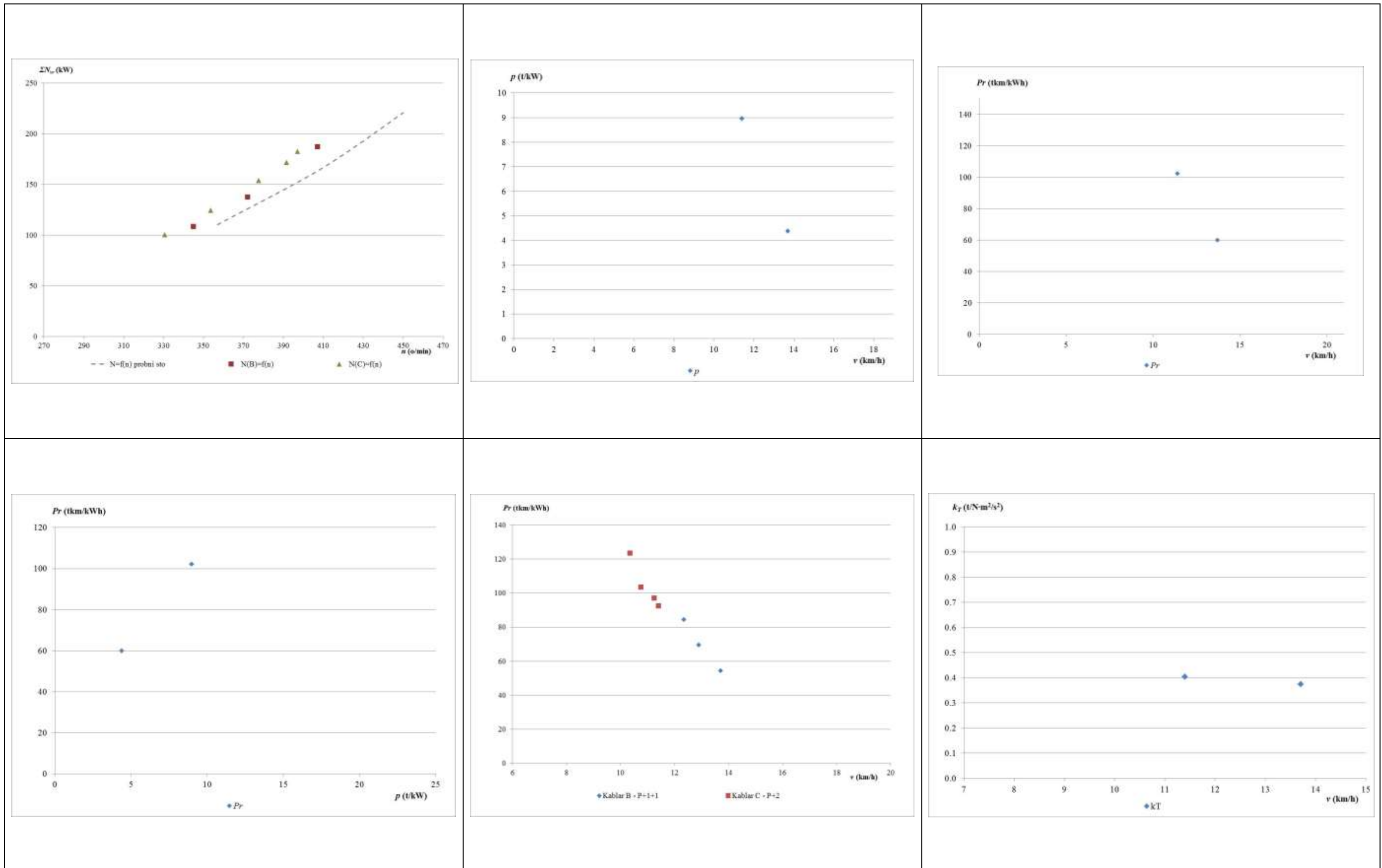
Oblik sklopa	L_{sast} (m)	B_{sast} (m)	L_{sast}/B_{sast}	η_{pr}	ϵ_{sast}	\bar{h} (m)	T (m)	\bar{h}/\bar{T}	v (km/h)	$h_{min} = 4 \cdot \frac{v^2}{g}$	$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot \bar{h}}}$
B – P+1	66,75	8,475	7,8761	0,8482	1,0	9,0	1,96	4,5918	13,70	5,905	0,4050
C – P+2	66,75	16,95	3,9380	0,8274	1,0	9,0	1,96	4,5918	11,40	4,088	0,3370

Tabela 7.47 Eksploatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač “Kablar”

Oblik sklopa	v (km/h)	ΣQ_e (t)	ΣN_e (kW)	p (t/kW)	PU (tkm/h)	Pr (tkm/kWh)	k_T (t/N·m ² /s ²)	r_Q (N/t)	r_D (N/t)
B – P+1	13,70	819,1383	187,3	4,3734	11.222,1947	59,9156	0,376	39,37	33,24
C – P+2	11,40	1638,2766	182,7	8,9670	18.676,3532	102,2241	0,405	24,56	20,67



Slika 7.12 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Kablar“

Tabela 7.48 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Kablar“

Merna staza na kojoj su obavljani eksperimenti sa brodom "Kablar" tokom provođenja ispitivanja u potpunosti zadovoljava postavljene uslove za sve sklopove kako prema kriterijumu h_{min} tako i po Frudovom broju, Fr . Pri takvim uslovima smatra se da dubina ne utiče na dopunsko povećanje ukupnog otpora sklopova, kao i da ne remeti pravilan rad propulzora.

Potiskivani sastavi za potrebe eksperimenata formirani su od potisnica simetričnog oblika serije PIM 77300 koje su jednakih dimenzija i gotovo identičnih nosivosti. Osim toga, sve potisnice u procesu provođenja eksperimenta bile su utovarene na najveći gaz, koji iznosi $\bar{T}_e = 1,96$ m, zbog čega koeficijent iskorišćenja nosivosti potiskivanih sastava iznosi $\varepsilon_{sast} = 1,00$. Koeficijent iskorišćenja deplasmana potisnica serije PIM 77300 iznosi $\eta_{DW} = 0,8367$.

Analizom dijagrama iz kojeg se sagledavaju stanje pogonskih motora i propelera (promena snage motora po sklopovima utvrđena tokom eksperimenata) i međusobni odnos prema promeni snage u zavisnosti od broja obrtaja vratila [$N_{vr} = f(n_{vr})$] dobijena na osnovu rezultata ispitivanja motora na probnom stolu opitne stanice u fabrici zaključuje se da tačke koje definišu rad pogonskih motora značajno odstupaju od krive karakteristike pogonskih motora sa probnog stola. Iz tog razloga propeleri deluju opterećujuće na motore, ne mogu da ostvare, ni blizu, nominalni broj obrtaja u režimu trajnog pogona te, prema tome, ni da prime odgovarajuću snagu. Jasno je da propulzija motornog potiskivača „Kablar“ ne zadovoljava.

Stepen iskorišćenja ukupne snage pogonskih motora broda-potiskivača (η_{pr}) pri radu sa sklopovima koji se odlikuju različitim karakteristikama i pri različitim režimima rada menja se u granicama od 0,8482 (P+1) do 0,8274 (sklop P+2), pri čemu srednja vrednost stepena iskorišćenja snage iznosi $\bar{\eta}_{pr} = 0,8378$. Iz ovoga sledi, da je ukupna snaga merena na propelerskim vratilima po svim sklopovima u odnosu na ugrađenu snagu pogonskih motora manja za, u proseku, 35,81 kW, ili 16,22%.

Eksperimenti obavljani sa brodom "Kablar" u realnim uslovima plovidbe na Dunavu obuhvatili su ispitivanja samo dva oblika potiskivanih sastava (P+1 i P+2), zbog čega se rezultati proračuna na odgovarajućim dijagramima pokazuju u obliku dve tačke. Iz tog razloga nije moguće konstruisati integralne krive rezultativnog pokazatelja oblika $P_r = f(v)$ niti $P_r = f(p)$ na osnovu kojih se utvrđuju preporučena brzina plovidbe (v^*), preporučena vrednost statičkog opterećenja (p^*) niti preporučena nosivost sastava ΣQ_e .

Prevozni učinak i rezultativni eksploatacioni pokazatelj ukazuju da mp „Kablar“ sa sastavom od dve potisnice (oblik sklopa P+2) postiže mnogo bolje rezultate od oblika P+1 te, zbog toga, taj sastav u eksploataciji treba primenjivati.

7.4.13 Brod potiskivač „Šumadija“

Tabela 7.49 Osnovne osobenosti potiskivača „Šumadija“ i potisnica BBP77400 i BBP78400

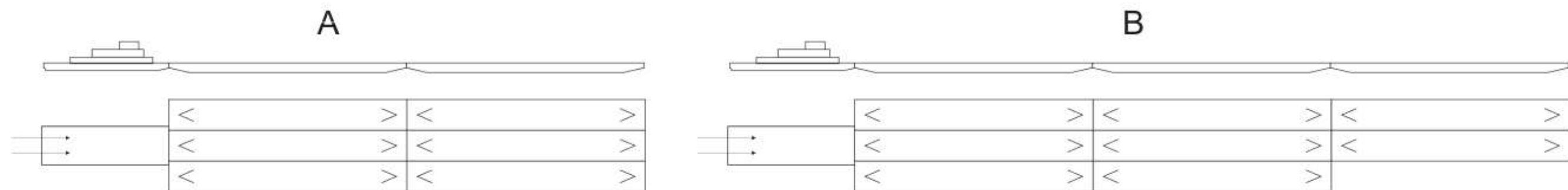
	L_{oa} (m)	L_{kvl} (m)	B_{kvl} (m)	T_0 (m)	T_{km} (m)	H_k (m)	D (t)	δ	η_{DW}	ΣN_i (kW)	Q_r (t)
Brod potiskivač-	30,04	28,50	9,20	1,45	1,80	2,55	338,75	0,7177	-	$2 \times 379,04 = 758,08$	-
Serijska potisnica u sastavu BBP 77400	61,90	59,60	7,60	0,43	2,20	2,46	893,06	0,8961	0,8196	-	731,991
Serijska potisnica u sastavu BBP 78400	61,97	59,60	7,60	0,53	2,50	2,81	994,21		0,8102	-	805,5385

Tabela 7.50 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač „Šumadija“

Oblik sklopa	L_{sast} (m)	B_{sast} (m)	L_{sast}/B_{sast}	η_{pr}	ϵ_{sast}	\bar{h} (m)	T (m)	\bar{h}/\bar{T}	v (km/h)	$h_{min} = 4 \cdot \frac{v^2}{g}$	$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$
A – P+3+3	119,2	22,8	5,2280	0,8873	1,00	9,0	2,3	3,9130	10,76	3,642	0,3181
B – P+3+3+2	178,8	22,8	7,8421	0,8795	1,00	9,0	2,3	3,9560	9,40	2,779	0,2778

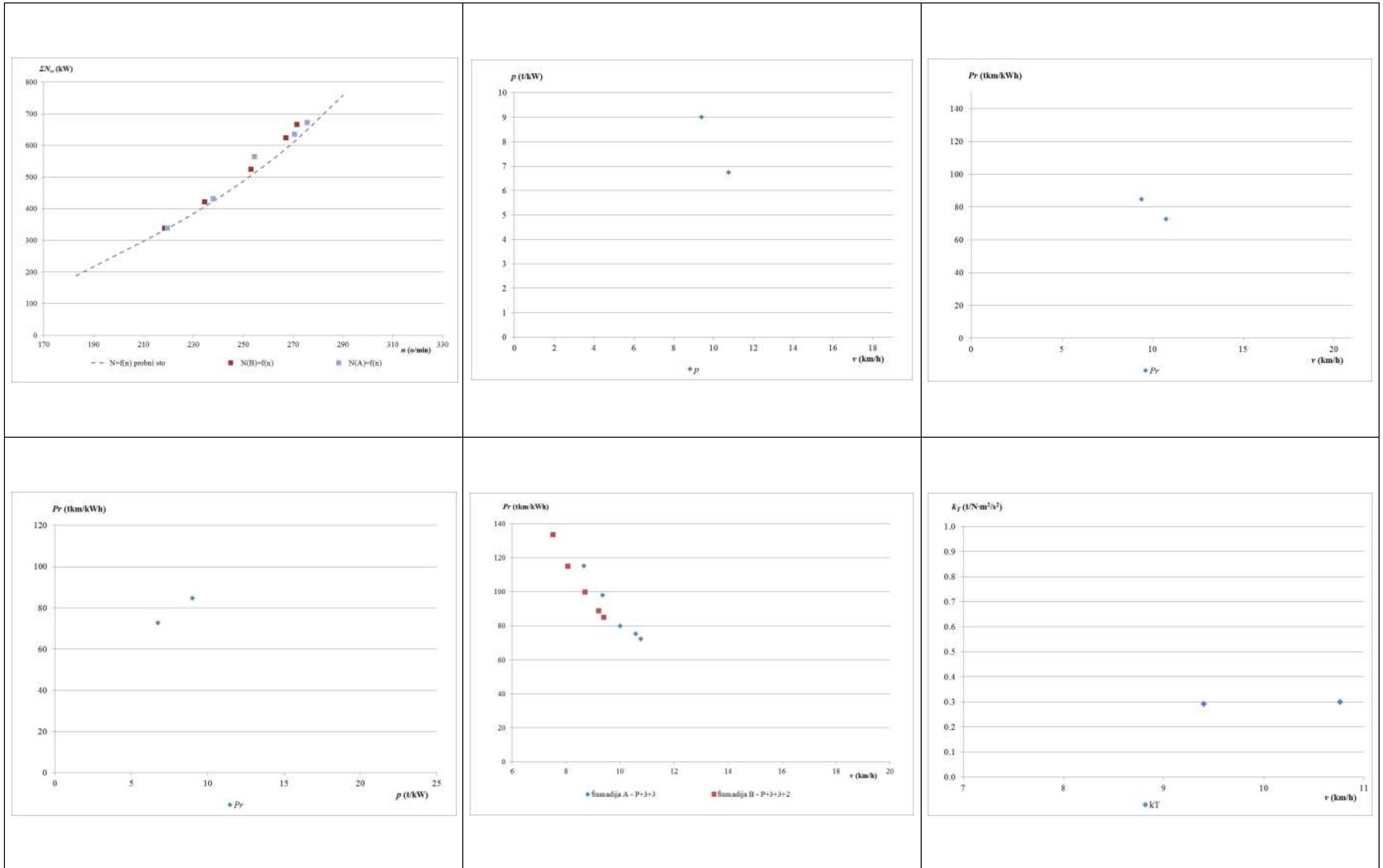
Tabela 7.51 Eksploatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova potiskivač „Šumadija“

Oblik sklopa	v (km/h)	ΣQ_e (t)	ΣN_e (kW)	p (t/kW)	PU (tkm/h)	Pr (tkm/kWh)	k_T (t/N·m ² /s ²)	r_Q (N/t)	r_D (N/t)
A – P+3+3	10,76	4.539,041	672,7	6,7474	48.840,0811	72,6020	0,300	35,01	29,27
B – P+3+3+2	9,40	6.003,023	666,8	9,0027	56.428,4162	84,6256	0,292	27,61	23,08



Slika 7.13 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Šumadija“

Tabela 7.52 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Šumadija“



Merna staza na kojoj su obavljani eksperimenti sa brodom "Šumadija" tokom provođenja ispitivanja u potpunosti zadovoljava postavljene uslove za sve sklopove kako prema kriterijumu h_{min} tako i po Frudovom broju, Fr . Pri takvim uslovima smatra se da dubina ne utiče na dopunsko povećanje ukupnog otpora sklopova, kao i da ne remeti pravilan rad propulzora.

Potiskivani sastavi za potrebe eksperimenata formirani su od potisnica simetričnog oblika serije BBP77400 i BBP78400 koje se odlikuju različitim gazom i različitim nosivostima. U procesu provođenja eksperimenta sve potisnice u ispitivanim sastavima bile su utovarene na najveći gaz, koji iznose $\bar{T}_e=2,20$ m i $\bar{T}_e=2,50$ m, zbog čega koeficijenti iskorišćenja nosivosti potiskivanih sastava iznose $\varepsilon_{sast}=1,00$. Koeficijent iskorišćenja deplasmana potisnica serije BBP77400 iznosi $\eta_{DW}=0,8196$, a potisnica serije BBP78400 - $\eta_{DW}=0,8102$.

Analizom dijagrama iz kojeg se sagledavaju stanje pogonskih motora i propelera (promena snage motora po sklopovima utvrđena tokom eksperimenata) i međusobni odnos prema promeni snage u zavisnosti od broja obrtaja vratila [$N_{vr}=f(n_{vr})$] dobijena na osnovu rezultata ispitivanja motora na probnom stolu opitne stanice u fabrici zaključuje se da postoji izvesno opterećujuće dejstvo propelera. Analizirajući rezultate ispitivanja oba sklopa (izložene u tabeli) utvrđeno je da ni u jednom slučaju pogonski motori ne ostvaruju niti predviđeni broj obrtaja, niti odgovarajuću snagu. Iz tog razloga može da se smatra da je stepen propulzije na graničnom nivou.

Stepen iskorišćenja ukupne snage pogonskih motora broda-potiskivača (η_{pr}) pri radu sa sklopovima koji se odlikuju različitim karakteristikama i pri različitim režimima rada menja se u vrlo malim granicama od 0,8873 (P+3+3) do 0,8795 (sklop P+3+3+2), pri čemu srednja vrednost stepena iskorišćenja snage iznosi $\bar{\eta}_{pr}=0,8834$. Iz ovoga sledi, da je ukupna snaga merena na propelerskim vratilima po svim sklopovima u odnosu na ugrađenu snagu pogonskih motora manja za, u proseku, 88,392 kW, ili 11,66%.

Eksperimenti obavljani sa brodom "Šumadija" u realnim uslovima plovidbe na Dunavu obuhvatili su ispitivanja samo dva oblika potiskivanih sastava (P+3+3 odnosno P+3+3+2), zbog čega se rezultati proračuna na odgovarajućim dijagramima pokazuju u obliku dve tačke. Iz tog razloga nije moguće konstruisati integralne krive rezultativnog pokazatelja oblika $P_r=f(v)$ niti $P_r=f(p)$ na osnovu kojih se utvrđuju preporučena brzina plovidbe (v^*), preporučena vrednost statičkog opterećenja (p^*) niti preporučena nosivost sastava ΣQ_e . I pored toga (zbog stanja pogonskih motora) nije preporučljivo povećavati broj potisnica u sastavu jer bi to dovelo do znatnijeg smanjenja brzine plovidbe i, shodno tome, manjeg prevoznog učinka.

Prevozni učinak i rezultativni eksploatacioni pokazatelj ukazuju da mp „Šumadija“ sa sastavom od osam potisnica (oblik sklopa P+3+3+2) postiže mnogo bolje rezultate od oblika P+3+3 (za 16,56%) te, zbog toga, taj sastav u eksploataciji treba primenjivati.

7.4.14 Brod potiskivač „Kladovo“

Tabela 7.53 Osnovne osobenosti potiskivača “Kladovo” i potisnica RBK71300 i RBK71700

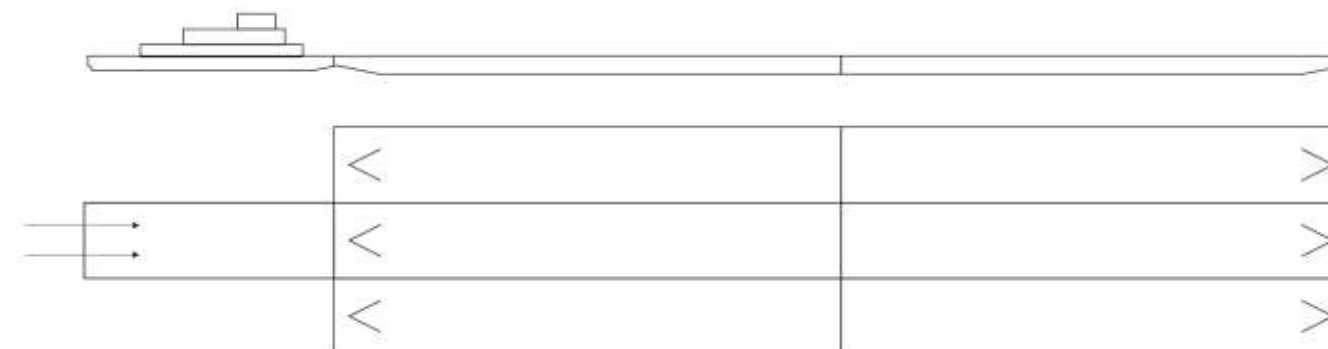
	L_{oa} (m)	L_{kvl} (m)	B_{kvl} (m)	T_0 (m)	T_{km} (m)	H_k (m)	D (t)	δ	η_{DW}	ΣN_i (kW)	Q_r (t)
Brod potiskivač	34,82	33,57	11,20	1,56	1,95	2,82	530,00	0,7228	-	$2 \times 809,6 = 1619,2$	-
Serijska potisnica u sastavu RBK 71300	66,96	65,65	10,20	0,395	2,30	2,62	1450,00	0,9414	0,8410	-	1219,5125
Serijska potisnica u sastavu RBK 71700	67,0255	65,644	10,20	0,3975	2,40	2,62	1560,58	0,9711	0,8227	-	1283,974

Tabela 7.54 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač “Kladovo”

Oblik sklopa	L_{sast} (m)	B_{sast} (m)	L_{sast}/B_{sast}	η_{pr}	ϵ_{sast}	\bar{h} (m)	T (m)	\bar{h}/\bar{T}	v (km/h)	$h_{min} = 4 \cdot \frac{v^2}{g}$	$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$
A – P+3+3	131,3	30,6	4,2902	0,9479	0,7750	8,0	2,0	4,0	14,22	6,361	0,4458

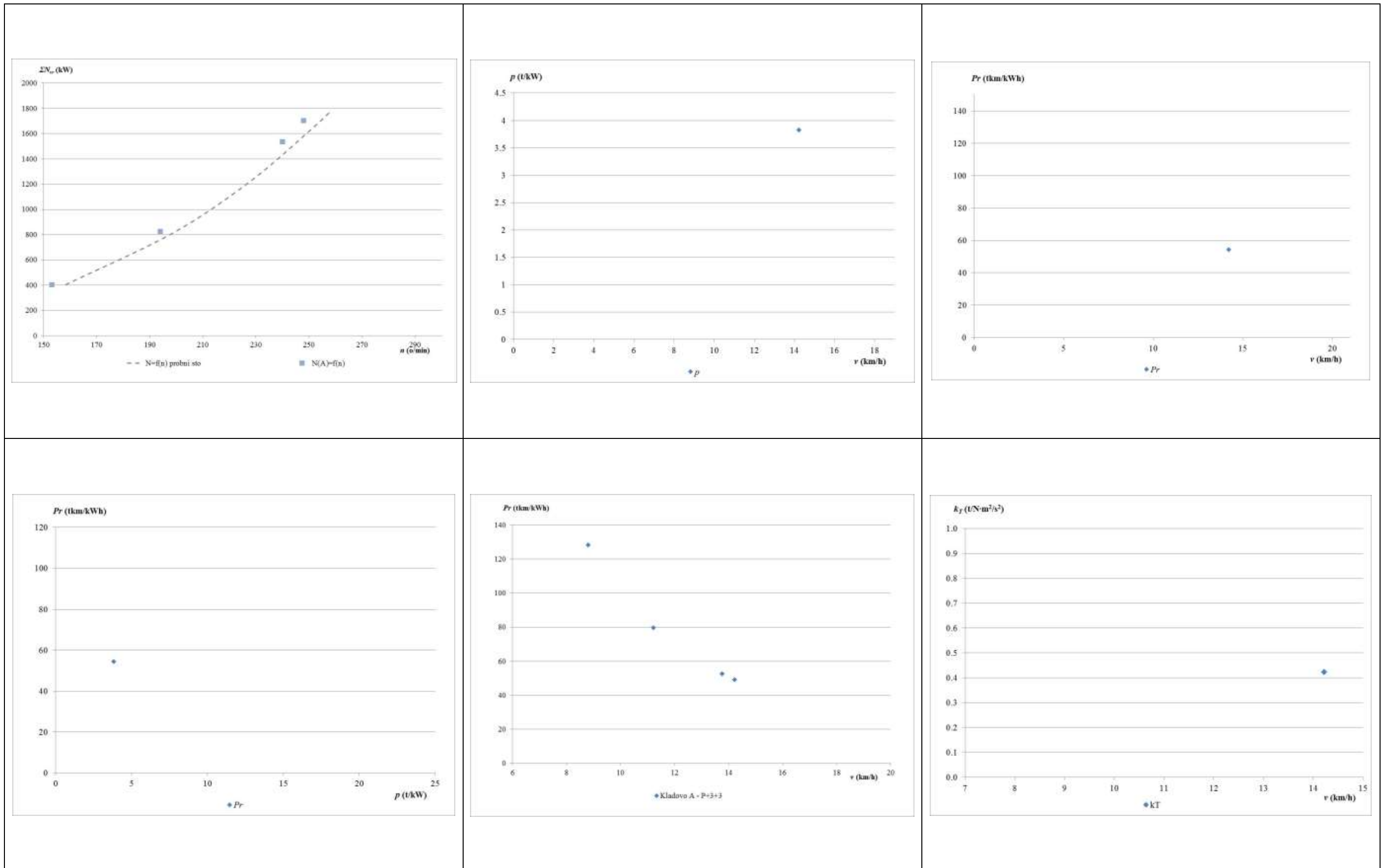
Tabela 7.55 Eksploatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač “Kladovo”

Oblik sklopa	v (km/h)	ΣQ_e (t)	ΣN_e (kW)	p (t/kW)	PU (tkm/h)	Pr (tkm/kWh)	k_T (t/N·m ² /s ²)	r_Q (N/t)	r_D (N/t)
A – P+3+3	14,22	5871	1534,9	3,8250	83.485,620	54,3915	0,424	54,59	36,02



Slika 7.14 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Kladovo“

Tabela 7.56 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Kladovo“



Merna staza na kojoj su obavljani eksperimenti sa brodom "Kladovo" tokom provođenja ispitivanja u potpunosti zadovoljava postavljene uslove kako prema kriterijumu h_{min} tako i po Frudovom broju, Fr . Pri takvim uslovima smatra se da dubina ne utiče na dopunsko povećanje ukupnog otpora sklopova, kao i da ne remeti pravilan rad propulzora.

Potiskivani sastavi za potrebe eksperimenata formirani su od nesimetričnih potisnica serije RBK71300 i RBK71700 koje su jednakih dimenzija i gotovo identičnih nosivosti. U procesu provođenja eksperimenta potisnice u ispitivanim sastavima nisu bile utovarene na najveći gaz, već na gaz koji je iznosio $\bar{T}_e=2,0$ m, zbog čega koeficijent iskorišćenja nosivosti potiskivanog sastava iznosi $\varepsilon_{sast}=0,775$. Koeficijent iskorišćenja deplasmana potisnica serije RBK 71300 iznosi $\eta_{DW}=0,8410$, a potisnica serije RBK71700 - $\eta_{DW}=0,8227$.

Analizom dijagrama iz kojeg se sagledavaju stanje pogonskih motora i propelera (promena snage motora po sklopovima utvrđena tokom eksperimenata) i međusobni odnos prema promeni snage u zavisnosti od broja obrtaja vratila [$N_{vr}=f(n_{vr})$] dobijena na osnovu rezultata ispitivanja motora na probnom stolu opitne stanice u fabrici zaključuje se da propeleri deluju opterećujuće na pogonske motore. Iz tog razloga propulzija motornog potiskivača „Kladovo“ ne zadovoljava.

Stepen iskorišćenja ukupne snage pogonskih motora broda-potiskivača „Kladovo“ (η_{pr}) pri radu sa sklopom oblika P+3+3 dostiže vrednost koja iznosi $\bar{\eta}_{pr}=0,9479$. Iz ovoga sledi, da je ukupna snaga merena na propelerskim vratilima po svim sklopovima u odnosu na ugrađenu snagu pogonskih motora manja za, u proseku, 84,3 kW, ili 5,206%.

Eksperiment obavljen sa brodom "Kladovo" u realnim uslovima plovidbe na Dunavu obuhvata ispitivanje samo jednog oblika potiskivanog sastava (P+3+3), zbog čega se rezultati proračuna na odgovarajućim dijagramima pokazuju u obliku jedne tačke. Iz tog razloga nije moguće konstruisati integralne krive rezultativnog pokazatelja oblika $P_r=f(v)$ niti $P_r=f(p)$ na osnovu kojih se utvrđuju preporučena brzina plovidbe (v^*), preporučena vrednost statičkog opterećenja (p^*) niti preporučena nosivost sastava ΣQ_e .

Prevozni učinak i rezultativni eksploatacioni pokazatelj ukazuju da mp „Kladovo“ sa sastavom od šest potisnica (oblik sklopa P+3+3) postiže vrlo skroman rezultat (isključivo zbog vrlo male vrednosti statičkog opterećenja pogonskih motora; na protiv, tokom eksperimenta postignuta je vrlo zadovoljavajuća brzina plovidbe) zbog čega, taj sastav u eksploataciji treba primenjivati samo u posebnim prilikama. Očigledno je da sastavi formirani od šest potisnica nisu odgovarajući za brod snage $\Sigma N_i=1619,2$ kW.

7.4.15 Brod potiskivač „Bor“

Tabela 7.57 Osnovne osobenosti potiskivača “Bor” i potisnica RBK 71300 i RBK71700

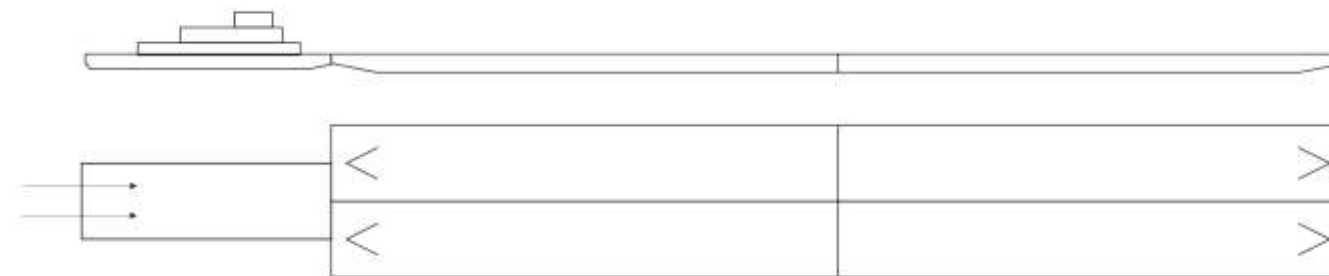
	L_{oa} (m)	L_{kvl} (m)	B_{kvl} (m)	T_0 (m)	T_{km} (m)	H_k (m)	D (t)	δ	η_{DW}	ΣN_i (kW)	Q_r (t)
Brod potiskivač	31,35	30,00	9,20	1,57	1,75	2,54	330,00	0,6832	-	$2 \times 497 = 994$	-
Serijska potisnica u sastavu RBK 71300	66,96	65,65	10,20	0,395	2,30	2,62	1450,00	0,9414	0,8410	-	1219,5125
Serijska potisnica u sastavu RBK 71700	67,0255	65,644	10,20	0,3975	2,40	2,62	1560,58	0,9711	0,8227	-	1283,974

Tabela 7.58 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač “Bor”

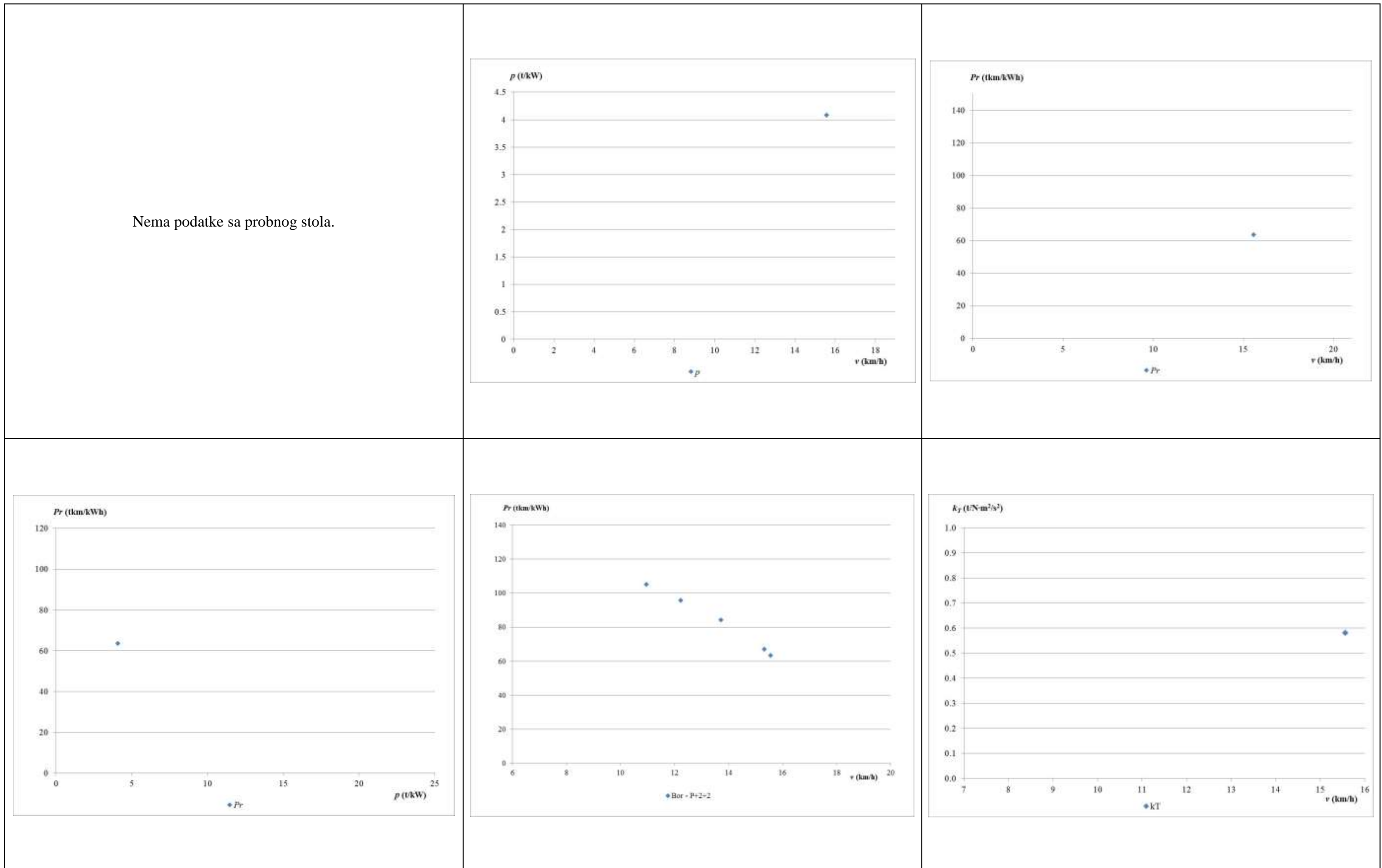
Oblik sklopa	L_{sast} (m)	B_{sast} (m)	L_{sast}/B_{sast}	η_{pr}	ϵ_{sast}	\bar{h} (m)	T (m)	\bar{h}/\bar{T}	v (km/h)	$h_{min} = 4 \cdot \frac{v^2}{g}$	$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$
A – P+2+2	131,3	20,4	6,4362	-	0,9117	7,4	2,177	3,4042	15,56	7,617	0,4878

Tabela 7.59 Eksploatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač “Bor”

Oblik sklopa	v (km/h)	ΣQ_e (t)	ΣN_e (kW)	p (t/kW)	PU (tkm/h)	Pr (tkm/kWh)	k_T (t/N·m ² /s ²)	r_Q (N/t)	r_D (N/t)
A – P+2+2	15,56	4540,26	1112,8	4,0800	70.646,4456	63,4853	0,581	40,61	31,08



Slika 7.15 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Bor“

Tabela 7.60 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Bor“

Merna staza na kojoj su obavljani eksperimenti sa brodom "Bor" tokom provođenja ispitivanja zadovoljava postavljene uslove kako prema kriterijumu h_{min} tako i po Frudovom broju, Fr , iako se oni nalaze, praktično, na graničnim vrednostima. Pri takvim uslovima može da se smatra da dubina ne utiče na dopunsko povećanje ukupnog otpora sklopova, kao i da ne remeti pravilan rad propulzora.

Potiskivani sastavi za potrebe eksperimenata formirani su od nesimetričnih potisnica serije RBK71300 i RBK71700 koje su jednakih dimenzija i gotovo identičnih nosivosti. U procesu provođenja eksperimenta potisnice u ispitivanim sastavima nisu bile utovarene na najveći gaz, već na srednji gaz koji je iznosio $\bar{T}_e=2,177$ m, zbog čega koeficijent iskorišćenja nosivosti potiskivanog sastava iznosi $\varepsilon_{sast}=0,9117$. Koeficijent iskorišćenja deplasmana potisnica serije RBK 71300 iznosi $\eta_{DW}=0,8410$, a potisnica serije RBK71700 - $\eta_{DW}=0,8227$.

Analiza dijagrama iz kojeg se sagledavaju stanje pogonskih motora i propelera tokom eksperimenta (promena snage motora po sklopovima utvrđena tokom eksperimenata) i međusobni odnos prema promeni snage u zavisnosti od broja obrtaja vratila [$N_{vr}=f(n_{vr})$] dobijena na osnovu rezultata ispitivanja motora na probnom stolu opitne stanice u fabrici nije obavljena iz razloga što nedostaju rezultati ispitivanja na probnom stolu.

Eksperiment obavljen sa brodom "Bor" u realnim uslovima plovidbe na Dunavu obuhvata ispitivanje samo jednog oblika potiskivanog sastava (P+2+2), zbog čega se rezultati proračuna na odgovarajućim dijagramima pokazuju u obliku jedne tačke. Iz tog razloga nije moguće konstruisati integralne krive rezultativnog pokazatelja oblika $P_r=f(v)$ niti $P_r=f(p)$ na osnovu kojih se utvrđuju preporučena brzina plovidbe (v^*), preporučena vrednost statičkog opterećenja (p^*) niti preporučena nosivost sastava ΣQ_e .

Prevozni učinak i rezultativni eksploatacioni pokazatelj ukazuju da mp „Bor“ sa sastavom od četiri potisnice (oblik sklopa P+2+2) postiže vrlo skroman rezultat (isključivo zbog vrlo male vrednosti statičkog opterećenja pogonskih motora; na protiv, tokom eksperimenta postignuta je izuzetno velika brzina plovidbe) zbog čega, taj sastav u eksploataciji treba primenjivati samo u posebnim prilikama. Očigledno je da sastavi formirani od četiri potisnice nisu odgovarajući za brod snage $\Sigma N_i=994$ kW.

7.4.16 Brod potiskivač „Kadinjača“ – tri motora

Tabela 7.61 Osnovne osobenosti potiskivača “Kadinjača” – tri motora i potisnica JRB71300 i tegljenica JRB21040

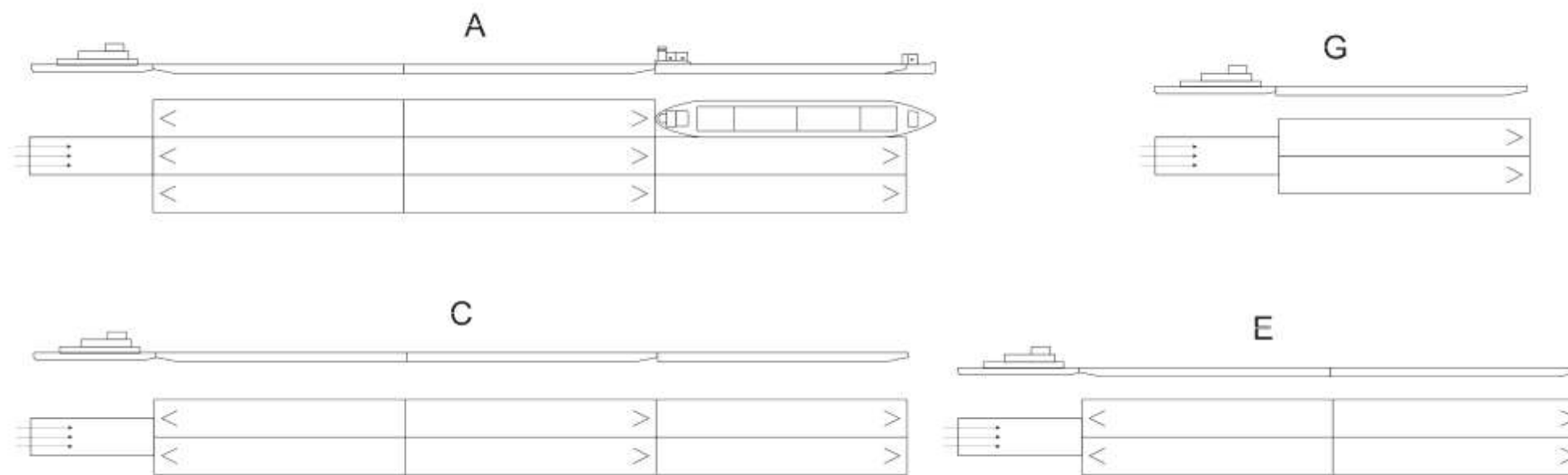
	L_{oa} (m)	L_{kvl} (m)	B_{kvl} (m)	T_0 (m)	T_{km} (m)	H_k (m)	D (t)	δ	η_{DW}	ΣN_i (kW)	Q_r (t)
Brod potiskivač	34,29	33,20	11,00	1,40	1,80	2,60	505,50	0,7689		$3 \times 809,6 = 2428,8$	-
Seriya potisnica u sastavu JRB71300	66,95	65,926	10,20	0,370	2,30	2,62	1483,1194	0,9589	0,8504	-	1,261,366
Seriya tegljenica u sastavu JRB21040	75,15	72,57	10,00	0,43	2,10	2,50	1305,00	0,8563	0,8074	-	1053,65

Tabela 7.62 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač “Kadinjača” – tri motora

Oblik sklopa	L_{sast} (m)	B_{sast} (m)	L_{sast}/B_{sast}	η_{pr}	ϵ_{sast}	\bar{h} (m)	T (m)	\bar{h}/\bar{T}	v (km/h)	$h_{min} = 4 \cdot \frac{v^2}{g}$	$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$
A – P+3+3+3 (3 mot)	197,778	30,6	6,6804	0,6902	0,8706	8,0	2,070	3,8635	13,55	5,776	0,4248
C – P+2+2+2 (3 mot)	197,778	20,40	9,6950	0,6963	0,8681	7,5	2,099	3,8589	14,80	6,891	0,4612
E – P+2+2 (3 mot)	131,852	20,40	6,4633	0,7110	0,8740	7,3	2,087	3,4978	15,52	7,578	0,5094
G – P+2 (3 motora)	65,926	20,40	3,2316	0,7094	0,8054	12,0	2,087	5,7328	16,39	8,451	0,4196

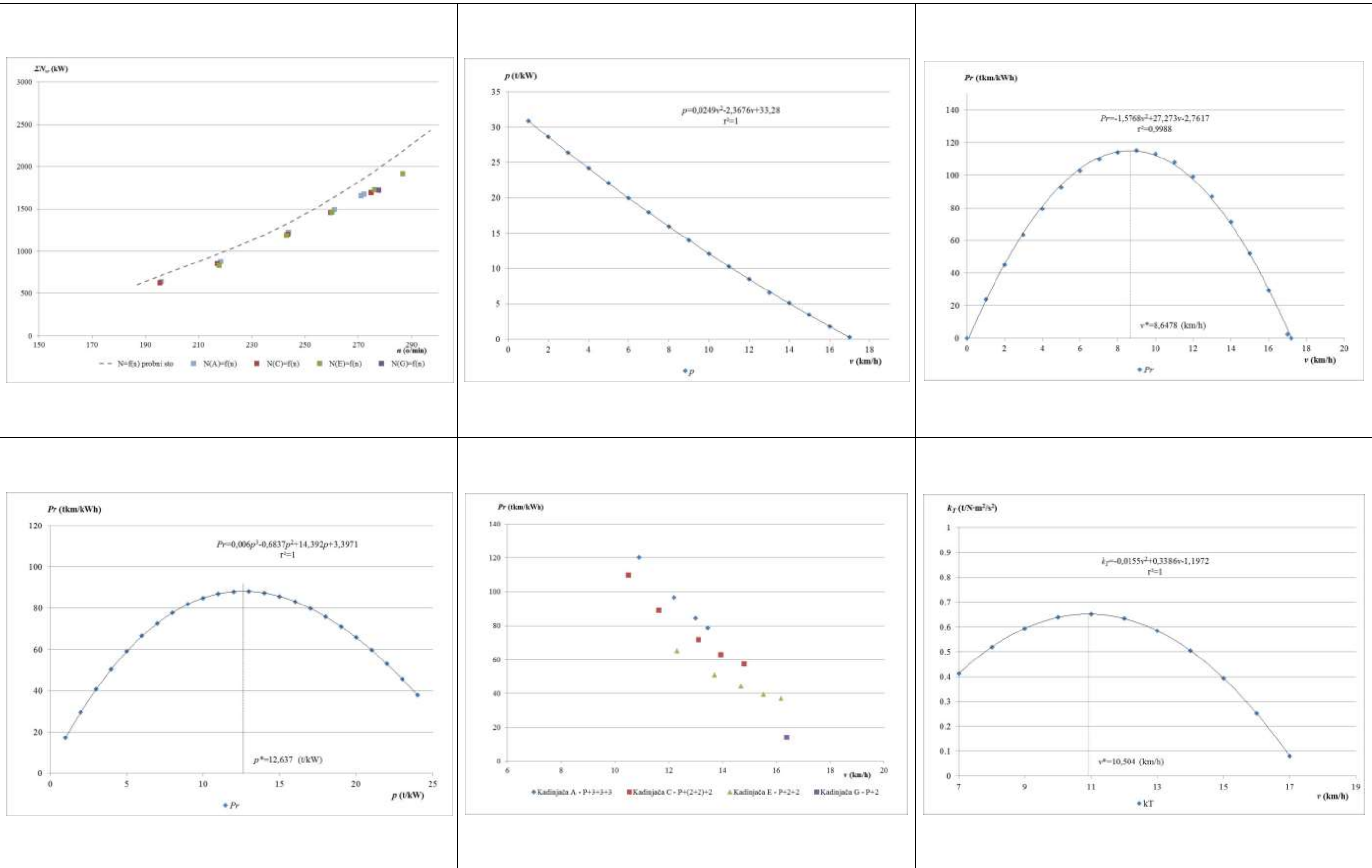
Tabela 7.63 Ekspolacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač “Kadinjača” – tri motora

Oblik sklopa	v (km/h)	ΣQ_e (t)	ΣN_e (kW)	p (t/kW)	PU (tkm/h)	Pr (tkm/kWh)	k_T (t/N·m ² /s ²)	r_Q (N/t)	r_D (N/t)
A – P+3+3+3 (3 mot)	13,55	9703	1676,5	5,7876	131.475,65	78,4226	0,538	35,05	25,84
C – P+2+2+2 (3 mot)	14,80	6570	1691,4	3,8843	97.236,00	57,4884	0,446	50,00	36,92
E – P+2+2 (3 mot)	15,52	4410	1726,9	2,5537	68.443,20	39,6335	0,334	78,73	58,53
G – P+2 (3 motora)	16,39	2032	1723,0	1,1794	33.304,48	19,331	0,189	154,25	105,676



Slika 7.16 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Kadinjača“ – tri motora

Tabela 7.64 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Kadinjača“ – tri motora



Merna staza (svi eksperimenti obavljani su na sektoru Srednjeg i Gornjeg Dunava) na kojoj je obavljen eksperiment sa brodom "Kadinjača" tokom provođenja ispitivanja zadovoljava postavljene uslove kako prema kriterijumu h_{min} tako i po Frudovom broju, Fr . Pri takvim uslovima može da se smatra da dubina ne utiče na dopunsko povećanje ukupnog otpora sklopova, kao i da ne remeti pravilan rad propulzora.

Potiskivani sastavi za potrebe eksperimenata formiran je od nesimetričnih potisnica serije JRB71300 koje su različitih dimenzija i različitih nosivosti. U procesu provođenja eksperimenta potisnice u ispitivanim sastavima nisu bile utovarene na najveći gaz, već na srednji gaz koji je bio u granicama od $\bar{T}_e=2,070$ do $\bar{T}_e=2,099$ m, zbog čega se i koeficijent iskorišćenja nosivosti potiskivanog sastava nalazio u intervalu $\varepsilon_{sast}=0,8054$ do $\varepsilon_{sast}=0,8740$. Koeficijent iskorišćenja deplasmana potisnica serije JRB71300 iznosi $\eta_{DW}=0,8504$.

Analizom dijagrama iz kojeg se sagledavaju stanje pogonskih motora i propelera (promena snage motora po sklopovima utvrđena tokom eksperimenata) i međusobni odnos prema promeni snage u zavisnosti od broja obrtaja vratila [$N_{vr}=f(n_{vr})$] dobijena na osnovu rezultata ispitivanja motora na probnom stolu opitne stanice u fabrici zaključuje se da postoji izvesno rasterećujuće dejstvo propelera. Analizirajući rezultate ispitivanja sklopova (izložene u tabeli) utvrđeno je da ni u jednom slučaju pogonski motori ne ostvaruju niti predviđeni broj obrtaja, niti odgovarajuću snagu. Iz tog razloga može da se smatra da propulzija broda ne zadovoljava. Međutim, na osnovu činjenica da tokom ispitivanja motori ni u jednom slučaju nisu dostigli očekivane snage i odgovarajuće brojeve obrtaja ne mogu se samo propulzori okriviti da deluju rasterećujuće, već je uzrok tome, takođe, i stanje samih pogonskih motora. Tokom eksperimenta u plovidbi sa sastavima izmerena je ukupna snaga (sva tri pogonska motora) koja iznosi (najviše) $\Sigma N_i=1726,9$ kW što je značajno manje u odnosu na ukupno ugrađenu snagu, $\Sigma N_i=2428,8$ kW.

Stepen iskorišćenja ukupne snage pogonskih motora broda-potiskivača „Kadinjača“ (η_{pr}) pri radu sa sklopom oblika P+3+3+3 dostiže najmanju vrednost koja iznosi $\bar{\eta}_{pr}=0,6902$, dok pri radu sa druga tri oblika ostvaruje nešto veće vrednosti, $\bar{\eta}_{pr}=0,6963 \div 0,7110$. Iz ovoga sledi, da je ukupna snaga merena na propelerskim vratilima po svim sklopovima u odnosu na ugrađenu snagu pogonskih motora manja za, u proseku, 724,45 kW, ili 29,82 %.

Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji brzine $P_r=f(v)$ definiše brzinu plovidbe ($v^*=8,6478$ km/h) pri kojoj ovaj pokazatelj postiže veoma veliku vrednost, koja iznosi $P_r=115,169$ tkm/kWh, najviše zahvaljujući visokim vrednostima brzine plovidbe (v). Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja $P_r=f(p)$ definiše preporučenu vrednost ove veličine, koja iznosi $p^*=12,637$ t/kW. Preporučena nosivost potiskivanog sastava, u datom stanju pogonskih motora, koja odgovara vrednosti $p^*=12,637$ t/kW i ukupnoj (srednjoj, utvrđenoj tokom eksperimenata sa sklopovima u realnoj plovidbi, $\Sigma \bar{N}_e=1704,45$ kW) snazi pogonskih

motora broda iznosi $\Sigma Q_e=21.539,134$ tona, što čini sastav od 17,076 potisnica serije JRB 71300. Ovoliki broj potisnica u jednom sastavu pri plovidbi na Srednjem i Gornjem Dunavu nije prihvatljiv iz nautičkih razloga. Očigledno je da sastavi formirani od samo (i najviše) devet potisnica nisu odgovarajući za brod snage $\Sigma N_i=2428,8$ kW. Potrebno je detaljno ispitati svrsishodnost primene brodova-potiskivača ovolike snage pogonskih motora na navedenim sektorima Dunava.

Prevozni učinak i rezultativni eksploatacioni pokazatelj ukazuju da mp „Kadinjača“ sa sastavom od devet potisnica (oblik sklopa P+3+3+3) postiže mnogo bolje rezultate od ostalih ispitivanih oblika te, zbog toga, taj sastav u eksploataciji treba primenjivati

7.4.17 Brod potiskivač „Kadinjača“ – dva motora

Tabela 7.65 Osnovne osobenosti potiskivača “Kadinjača” – dva motora i potisnica JRB71300 i tegljenica JRB21040

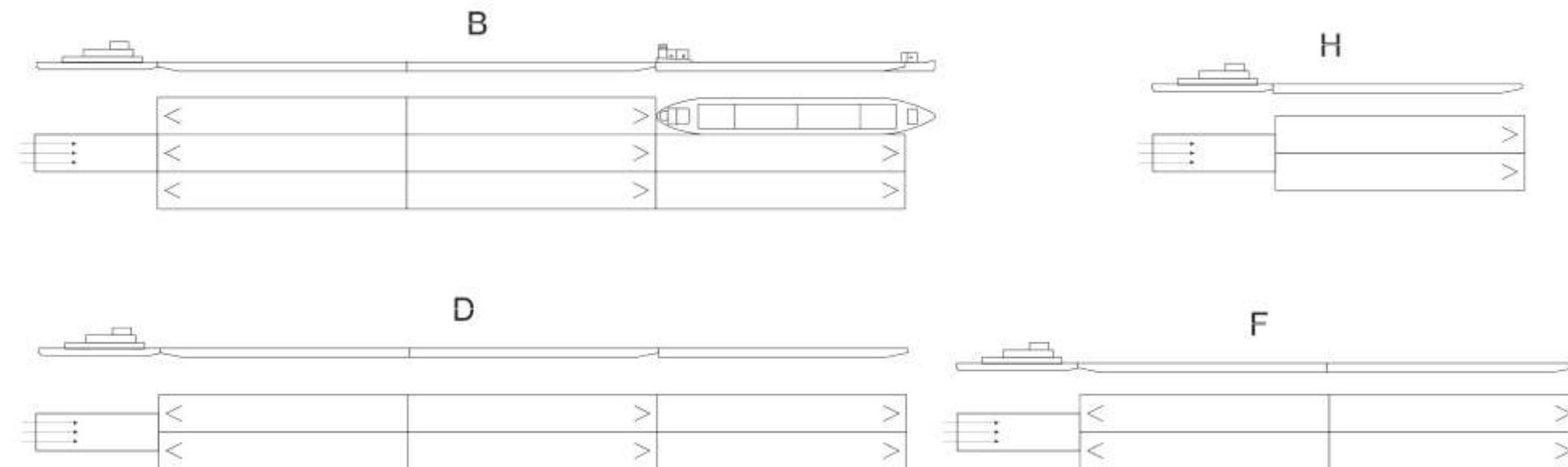
	L_{oa} (m)	L_{kvl} (m)	B_{kvl} (m)	T_0 (m)	T_{km} (m)	H_k (m)	D (t)	δ	η_{DW}	ΣN_i (kW)	Q_r (t)
Brod potiskivač	34,29	33,20	11,00	1,40	1,80	2,60	505,50	0,7689		$3 \times 809,6 = 2428,8$	-
Seriya potisnica u sastavu JRB 71300	66,95	65,926	10,20	0,370	2,30	2,62	1483,1194	0,9589	0,8504	-	1,261,366
Seriya tegljenica u sastavu JRB 21040	75,15	72,57	10,00	0,43	2,10	2,50	1305,00	0,8563	0,8074	-	1053,65

Tabela 7.66 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač “Kadinjača” – dva motora

Oblik sklopa	L_{sast} (m)	B_{sast} (m)	L_{sast}/B_{sast}	η_{pr}	ϵ_{sast}	\bar{h} (m)	T (m)	\bar{h}/\bar{T}	v (km/h)	$h_{min} = 4 \cdot \frac{v^2}{g}$	$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$
B – P+3+3+3 (2 mot)	197,778	30,6	6,6804	0,6671	0,8706	7,50	2,070	3,6231	10,68	3,588	0,3458
D – P+2+2+2 (2 mot)	197,778	20,40	9,6950	0,6011	0,8681	7,50	2,099	3,7398	12,34	4,791	0,3906
F – P+2+2 (2 mot)	131,852	20,40	6,4633	0,6797	0,8740	15,0	2,087	7,1428	11,85	4,418	0,2713
H – P+2 (2 motora)	65,926	20,40	3,2316	0,6875	0,8054	12,0	2,087	5,7328	13,21	5,490	0,3041

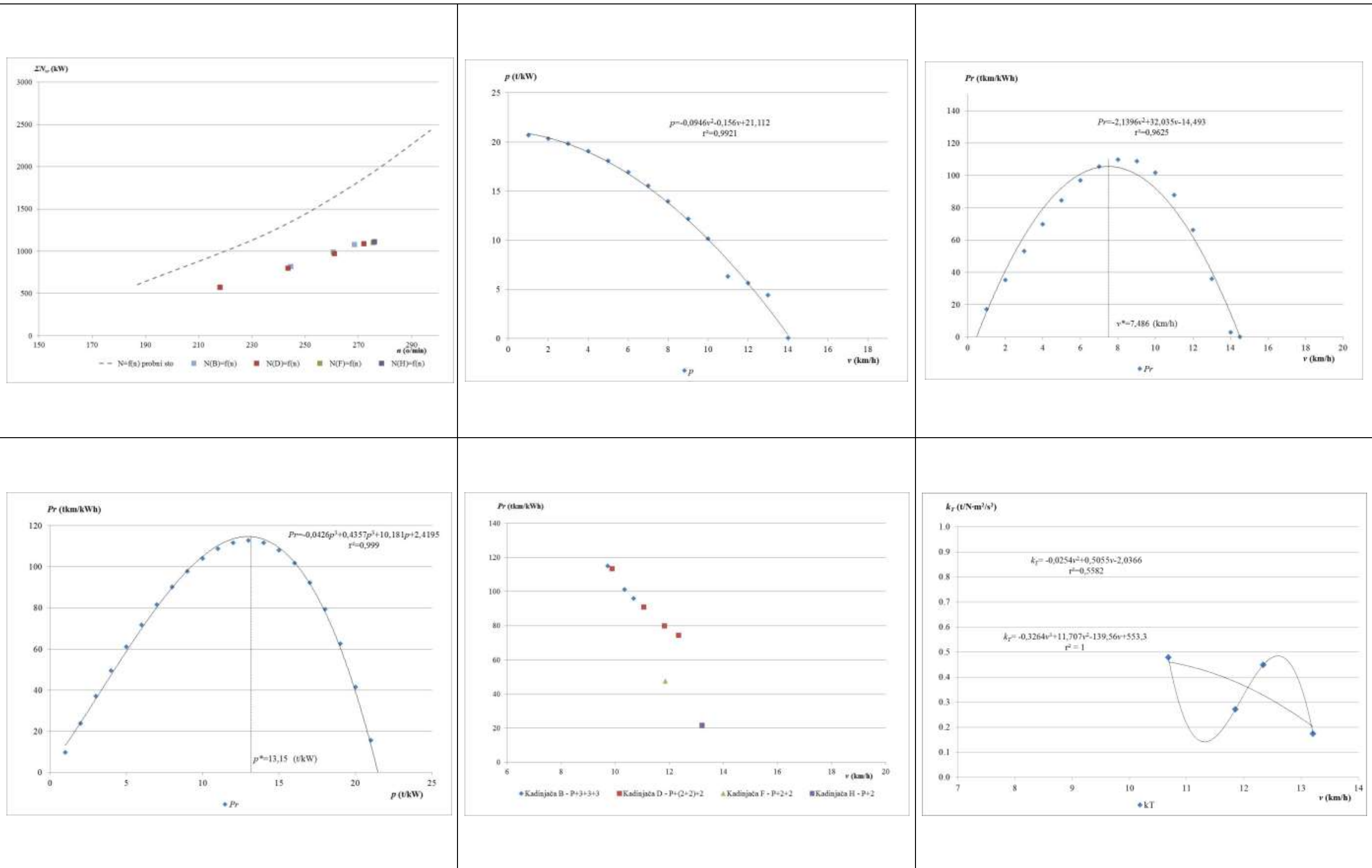
Tabela 7.67 Eksploatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač “Kadinjača” – dva motora

Oblik sklopa	v (km/h)	ΣQ_e (t)	ΣN_e (kW)	p (t/kW)	PU (tkm/h)	Pr (tkm/kWh)	k_T (t/N·m ² /s ²)	r_Q (N/t)	r_D (N/t)
B – P+3+3+3 (2 mot)	10,68	9703	1080,2	8,9825	103.628,04	95,9341	0,478	24,58	18,12
D – P+2+2+2 (2 mot)	12,34	6570	973,4	6,7495	81.073,80	83,2892	0,449	34,62	25,56
F – P+2+2 (2 mot)	11,85	4410	1100,6	4,0069	52.258,50	47,4818	0,271	52,58	39,09
H – P+2 (2 motora)	13,21	2032	1113,2	1,8253	26.842,72	24.1128	0,173	110,646	75,803



Slika 7.17 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Kadinjača“ – dva motora

Tabela 7.68 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Kadinjača“ – dva motora



Merna staza (svi eksperimenti obavljani su na sektoru Srednjeg i Gornjeg Dunava) na kojoj je obavljen eksperiment sa brodom "Kadinjača" tokom provođenja ispitivanja zadovoljava postavljene uslove kako prema kriterijumu h_{min} tako i po Frudovom broju, Fr . Pri takvim uslovima može da se smatra da dubina ne utiče na dopunsko povećanje ukupnog otpora sklopova, kao i da ne remeti pravilan rad propulzora.

Potiskivani sastavi za potrebe eksperimenata formiran je od nesimetričnih potisnica serije JRB71300 koje su različitih dimenzija i različitih nosivosti (oblici potiskivanih sastava tokom ovog eksperimenta identični su oblicima tokom ispitivanja istog broda pri njegovom radu sa tri pogonska motora). U procesu provođenja eksperimenata potisnice u ispitivanim sastavima nisu bile utovarene na najveći gaz, već na srednji gaz koji je bio u granicama od $\bar{T}_e = 2,070$ do $\bar{T}_e = 2,099$ m, zbog čega se i koeficijent iskorišćenja nosivosti potiskivanog sastava nalazio u intervalu $\varepsilon_{sast} = 0,8054$ do $\varepsilon_{sast} = 0,8740$. Koeficijent iskorišćenja deplasmana potisnica serije JRB71300 iznosi $\eta_{DW} = 0,8504$.

Analizom dijagrama iz kojeg se sagledavaju stanje pogonskih motora i propelera (promena snage motora po sklopovima utvrđena tokom eksperimenata) i međusobni odnos prema promeni snage u zavisnosti od broja obrtaja vratila [$N_{vr} = f(n_{vr})$] dobijena na osnovu rezultata ispitivanja motora na probnom stolu opitne stanice u fabrici zaključuje se da postoji značajno rasterećujuće dejstvo propelera. Analizirajući rezultate ispitivanja sklopova (izložene u tabeli) utvrđeno je da ni u jednom slučaju pogonski motori ne ostvaruju niti predviđeni broj obrtaja, niti odgovarajuću snagu. Iz tog razloga može da se smatra da propulzija broda ne zadovoljava. Međutim, na osnovu činjenica da tokom ispitivanja motori ni u jednom slučaju nisu dostigli očekivane snage i odgovarajuće brojeve obrtaja ne mogu se samo propulzori okriviti da deluju rasterećujuće, već je uzrok tome, takođe, i stanje samih pogonskih motora. Tokom eksperimenata u plovidbi sa sastavima izmerena je ukupna snaga (dva pogonska motora) koja iznosi (najviše) $\Sigma N_i = 1113,2$ kW što je značajno manje u odnosu na ukupno ugrađenu snagu, $\Sigma N_i = 1619,2$ kW.

Stepen iskorišćenja ukupne snage pogonskih motora broda-potiskivača „Kadinjača“ (η_{pr}) pri radu sa sklopom oblika P+2+2+2 dostiže najmanju vrednost koja iznosi $\bar{\eta}_{pr} = 0,6011$, dok pri radu sa druga tri oblika ostvaruje nešto veće vrednosti, $\bar{\eta}_{pr} = 0,6671 \div 0,6875$. Iz ovoga sledi, da je ukupna snaga merena na propelerskim vratilima po svim sklopovima u odnosu na ugrađenu snagu pogonskih motora manja za, u proseku, 552,35 kW, ili 34,11 %.

Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji brzine $P_r = f(v)$ definiše brzinu plovidbe ($v^* = 7,486$ km/h) pri kojoj ovaj pokazatelj postiže vrlo veliku vrednost, koja iznosi $P_r = 105,417$ tkm/kWh. Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja $P_r = f(p)$ definiše preporučenu vrednost ove veličine, koja iznosi $p^* = 13,15$ t/kW. Preporučena nosivost potiskivanog sastava, u datom stanju pogonskih motora, koja odgovara vrednosti $p^* = 13,15$ t/kW i ukupnoj

(srednjoj, utvrđenoj tokom eksperimenata sa sklopovima u realnoj plovidbi, $\sum \bar{N}_e = 1066,85$ kW) snazi pogonskih motora broda iznosi $\Sigma Q_e = 14.029,0775$ tona, što čini sastav od 11,122 potisnice serije JRB71300, odnosno, što čini sastav od 8,28 potisnica serije JRB71700 (ili serije JRB81500) – što je mnogo prihvatljivije kako u pogledu eksploatacije, tako i u nautičkom smislu.

Prevozni učinak i rezultativni eksploatacioni pokazatelj ukazuju da mp „Kadinjača“ pri radu sa dva pogonska motora i sastavima od samo dve ili četiri potisnice postiže vrlo skroman rezultat (isključivo zbog vrlo male vrednosti statičkog opterećenja pogonskih motora) zbog čega, te sastave u eksploataciji treba primenjivati samo u posebnim prilikama. Očigledno je da sastavi formirani na ovakav način nisu odgovarajući za brod snage $\Sigma N_i = 2428,8$ kW.

7.4.18 Brod potiskivač „Kumanovo“

Tabela 7.69 Osnovne osobenosti potiskivača “Kumanovo” i potisnica JRB81200, JRB81500 i JRB71300 i tegljenica JBR01000

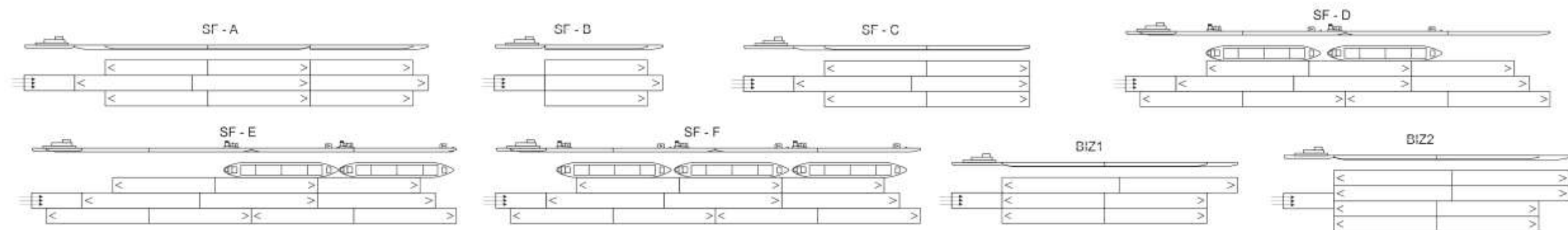
	L_{oa} (m)	L_{kvl} (m)	B_{kvl} (m)	T_0 (m)	T_{km} (m)	H_k (m)	D (t)	δ	η_{DW}	ΣN_i (kW)	Q_r (t)
Brod potiskivač	34,32	33,20	11,00	1,40	1,80	2,60	505,50	0,7689	-	3×809,6=2428,8	-
Seriya potisnica u sastavu JRB 81200	67,00	65,82	10,20	0,370	2,30	2,61	1470,681	0,9521	0,8545	-	1242,0045
Seriya potisnica u sastavu JRB 81500	77,02	75,40	10,96	0,385	2,53	2,82	1970,838	0,9426	0,8578	-	1690,6068
Seriya potisnica u sastavu JRB 71300	66,95	65,926	10,20	0,370	2,30	2,62	1483,1194	0,9589	0,8504	-	1,261,366
Seriya tegljenica u sastavu JRB010000	75,12	71,9	9,99	0,41	1,95	2,40	1184,0	0,845	0,807	-	955,95

Tabela 7.70 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač “Kumanovo”

Oblik sklopa	L_{sast} (m)	B_{sast} (m)	L_{sast}/B_{sast}	η_{pr}	ϵ_{sast}	\bar{h} (m)	T (m)	\bar{h}/\bar{T}	v (km/h)	$h_{min} = 4 \cdot \frac{v^2}{g}$	$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot \bar{h}}}$
SF A – P+3+3+3	226,20	31,36	7,2130	0,8575	0,9276	6,00	2,32	2,5610	14,2	6,344	0,5141
SF B – P+3	75,40	31,36	3,6960	0,8622	0,9392	≈9,00	2,353	3,7452	20,6	13,351	0,6266
SF C – P+3+3	150,80	31,36	4,8086	0,8768	0,9219	8,50	2,322	3,7937	16,9	8,985	0,5141
SF D – nepravilan oblik	273,072	40,40	6,7592	0,8332	0,9316	7,50	2,303	3,1117	11,95	4,492	0,3949
SF E - nepravilan oblik	273,072	40,40	6,7592	0,9042	0,9263	≈20,00	2,265	8,7900	12,14	4,636	0,2407
SF F - nepravilan oblik	273,072	40,40	6,7592	0,8774	0,9183	≈20,00	2,22	8,9701	12,02	4,545	0,2383
BIZ A – P+4+4	150,80	42,32	3,5633	0,7484	0,9860	11,00	2,34	4,6496	13,67	5,879	0,3655
BIZ B – P+3+3	150,80	31,36	4,8086	0,8233	0,9815	15,00	2,344	6,8249	18,08	10,284	0,4008

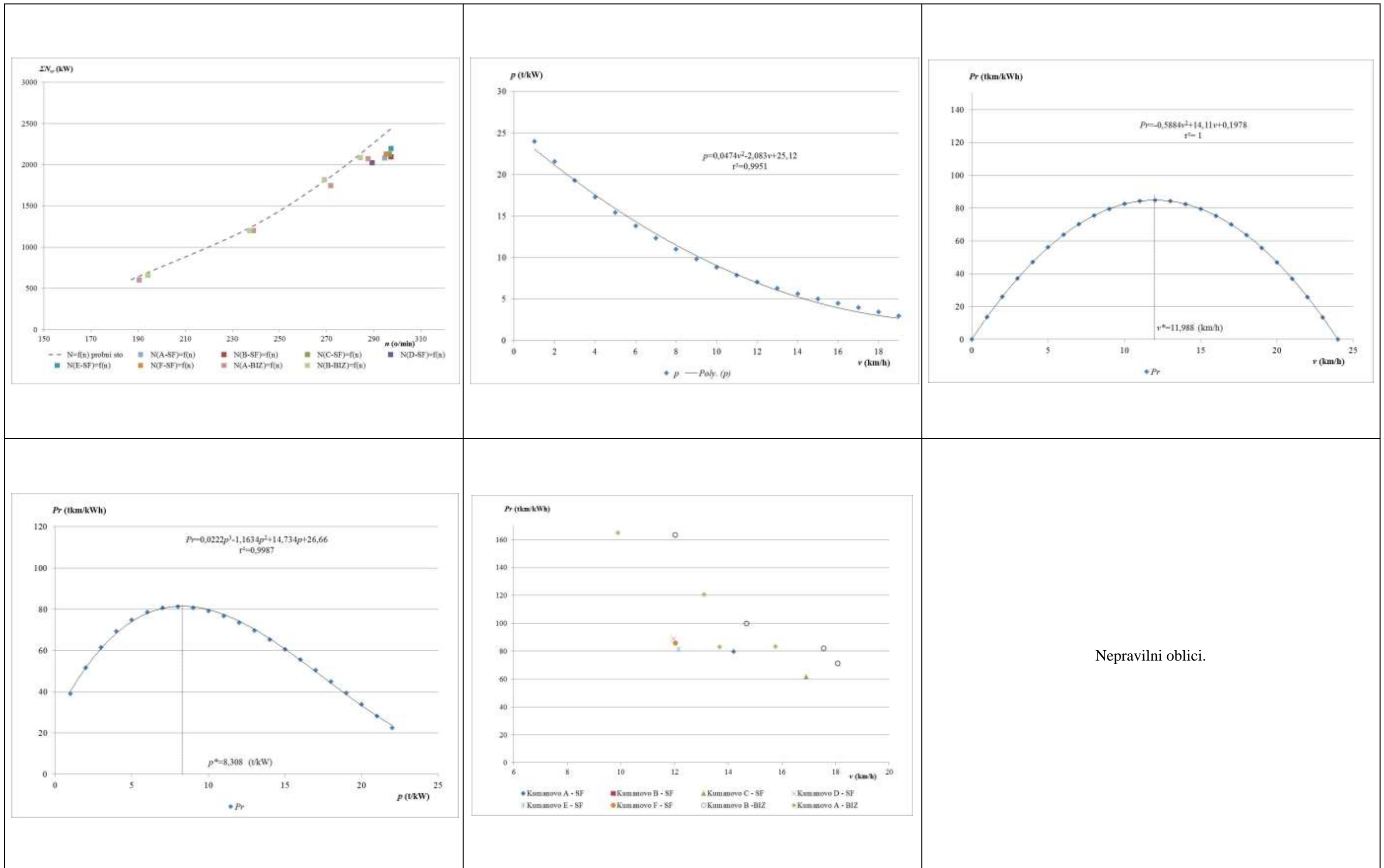
Tabela 7.71 Ekslpolacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač “Kumanovo”

Oblik sklopa	v (km/h)	ΣQ_e (t)	ΣN_e (kW)	p (t/kW)	PU (tkm/h)	Pr (tkm/kWh)	k_T (t/N·m ² /s ²)	r_Q (N/t)	r_D (N/t)
SF A – P+3+3+3	14,2	11.708	2.082,9	5,6210	166.253,6	79,8183	-	-	-
SF B – P+3	20,6	3.939	2.094,3	1,8808	81.143,4	38,7448	-	-	-
SF C – P+3+3	16,9	7.769	2.129,8	3,6477	131.296,1	61,6471	-	-	-
SF D – nepravilan oblik	11,95	15.069	2.023,8	7,4458	180.074,55	88,9784	-	-	-
SF E - nepravilan oblik	12,14	14.748	2.196,3	6,7149	179.040,72	81,5192	-	-	-
SF F - nepravilan oblik	12,02	15.232	2.131,2	7,1471	183.088,64	85,9087	-	-	-
BIZ A – P+4+4	15,75	11.163	1817,92	5,2932	173.880	83,367	-	-	-
BIZ B – P+3+3	18,08	8233	1999,712	4,1171	148.852,64	74,4370	-	-	-



Slika 7.18 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Kumanovo“

Tabela 7.72 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Kumanovo“



Merna staza na kojoj je obavljen eksperiment sa brodom-potiskivačem „Kumanovo” tokom provođenja ispitivanja sastojala se iz dva dela, i to tako što su ispitivanja nekoliko sklopova obavljena na sektoru Donjeg Dunava, dok je drugi deo ispitivanja obavljen na delu uzvodno od brane „Đerdap I”, u Đerdapskom jezeru. Eksperimenti sa sklopovima oblika P+3+3+3, P+3 i P+3+3 obavljani su na delu Donjeg Dunava pri ograničenim dubinama u plovnom putu, zbog čega merna staza ne zadovoljava postavljene uslove kako prema kriterijumu h_{min} tako i po Frudovom broju, Fr . Pri takvim uslovima može da se smatra da dubina utiče na dopunsko povećanje ukupnog otpora sklopova, kao i da remeti pravilan rad propulzora. Prilikom ispitivanja koja su obavljena u Đerdapskom jezeru merna staza zadovoljava postavljene uslove kako prema kriterijumu h_{min} tako i po Frudovom broju, Fr , tako da se može smatrati da dubina ne utiče na dopunsko povećanje ukupnog otpora sklopova, kao i da ne remeti pravilan rad propulzora.

Potiskivani sastavi za potrebe eksperimenata formirani su od nesimetričnih potisnica serije JRB71300, JRB81200 i JRB81500, koje su različitih dimenzija i različitih nosivosti, kao i od tegljenica serije JRB01100. U procesu provođenja eksperimenata potisnice i tegljenice u ispitivanim sastavima nisu bile utovarene na najveći gaz, već na srednji gaz koji se menjao od sklopa do sklopa (što je istaknuto u tabeli), zbog čega se koeficijent iskorišćenja nosivosti potiskivanih sastava menjao u granicama $\varepsilon_{sast}=0,7484\div 0,9042$. Koeficijent iskorišćenja deplasmana potisnica serije JRB71300 iznosi $\eta_{DW}=0,8504$, dok potisnica serije JRB81500 - $\eta_{DW}=0,8578$, odnosno potisnica serije JRB81200 - $\eta_{DW}=0,8545$.

Analizom dijagrama iz kojeg se sagledavaju stanje pogonskih motora i propelera (promena snage motora po sklopovima utvrđena tokom eksperimenata) i međusobni odnos prema promeni snage u zavisnosti od broja obrtaja vratila [$N_{vr}=f(n_{vr})$] dobijena na osnovu rezultata ispitivanja motora na probnom stolu opitne stanice u fabrici zaključuje se da tačke koje definišu rad pogonskih motora ne odstupaju značajno od krive karakteristike pogonskih motora sa probnog stola. Iz tog razloga propeleri deluju blago rasterećujuće na motore, koji ne mogu da ostvare nominalni broj obrtaja u režimu trajnog pogona te, prema tome, ni da, u potpunosti, prime odgovarajuću snagu. Jasno je da propulzija motornog potiskivača „Kumanovo“ ne zadovoljava u potpunosti.

Stepen iskorišćenja ukupne snage pogonskih motora broda-potiskivača „Kumanovo“ (η_{pr}) pri radu sa sklopom oblika P+4+4 dostiže najmanju vrednost koja iznosi $\bar{\eta}_{pr}=0,7484$, dok pri radu sa drugim oblicima ostvaruje nešto veće vrednosti, $\bar{\eta}_{pr}=0,8233\div 0,9042$. Iz ovoga sledi, da je ukupna snaga merena na propelerskim vratilima po svim sklopovima u odnosu na ugrađenu snagu pogonskih motora manja za, u proseku, 369,308 kW, ili 15,205 %.

Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji brzine $P_r=f(v)$ definiše brzinu plovidbe ($v^*=11,988$ km/h) pri kojoj ovaj pokazatelj postiže relativno skromnu vrednost, koja iznosi $Pr=84,788$ tkm/kWh. Prvi izvod integralne krive promene rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja $P_r=f(p)$ definiše preporučenu

vrednost ove veličine, koja iznosi $p^*=8,308$ t/kW. Preporučena nosivost potiskivanog sastava, u datom stanju pogonskih motora, koja odgovara vrednosti $p^*=8,308$ t/kW i ukupnoj (srednjoj, utvrđenoj tokom eksperimenata sa sklopovima u realnoj plovidbi, $\sum \bar{N}_e = 2059,491$ kW) snazi pogonskih motora broda iznosi $\Sigma Q_e = 17.110,255$ tona, što čini sastav od 13,564 potisnice serije JRB71300 (ili potisnica serije JRB81200), odnosno, što čini sastav od 10,10 potisnica serije JRB71700 (ili serije JRB81500) – što je mnogo prihvatljivije kako u pogledu eksploatacije, tako i u nautičkom smislu.

Prevozni učinak i rezultativni eksploatacioni pokazatelj ukazuju da mp „Kumanovo“ postiže vrlo skroman rezultat (isključivo zbog vrlo malih vrednosti statičkog opterećenja pogonskih motora). Očigledno je da sastavi formirani na ovakav način nisu odgovarajući za brod snage $\Sigma N_i = 2428,8$ kW.

7.4.19 Brod potiskivač „Karadorđe“

Tabela 7.73 Osnovne osobenosti potiskivača “Karadorđe” i potisnica JRB71300 i JRB71700

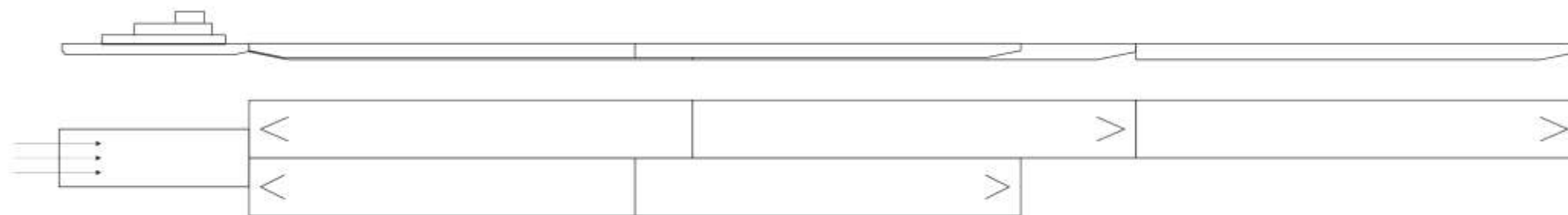
	L_{oa} (m)	L_{kvl} (m)	B_{kvl} (m)	T_0 (m)	T_{km} (m)	H_k (m)	D (t)	δ	η_{DW}	ΣN_i (kW)	Q_r (t)
Brod potiskivač	40,45	39,56	13,00	1,66	2,10	2,82	810,00	0,7500	-	$3 \times 1295 = 3885$	-
Serijska potisnica u sastavu JRB 71300	66,95	65,926	10,20	0,370	2,30	2,62	1483,1194	0,9589	0,8504	-	1,261,366
Serijska potisnica u sastavu JRB 71700	76,984	75,40	11,00	0,47	2,63	2,83	2035,590	0,9332	0,8319	-	1693,58

Tabela 7.74 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač “Karadorđe”

Oblik sklopa	L_{sast} (m)	B_{sast} (m)	L_{sast}/B_{sast}	η_{pr}	ϵ_{sast}	\bar{h} (m)	T (m)	\bar{h}/\bar{T}	v (km/h)	$h_{min} = 4 \cdot \frac{v^2}{g}$	$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$
A – P+2+2+1	226,2	22,0	10,2818	0,7354	0,8606	$\approx 30,0$	2,267	13,1578	15,36	7,422	0,2487

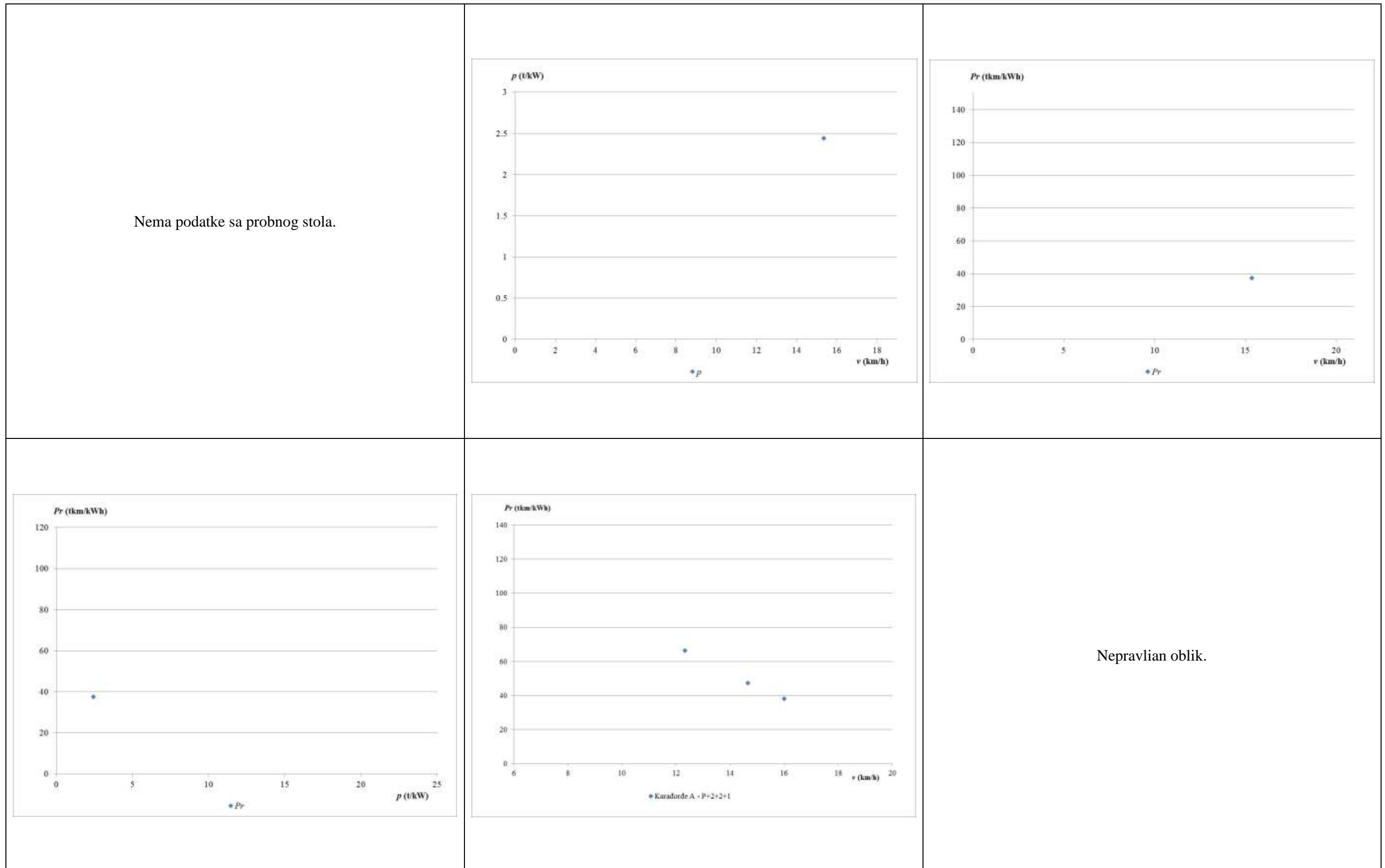
Tabela 7.75 Eksploatacioni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač “Karadorđe”

Oblik sklopa	v (km/h)	ΣQ_e (t)	ΣN_e (kW)	p (t/kW)	PU (tkm/h)	Pr (tkm/kWh)	k_T (t/N·m ² /s ²)	r_Q (N/t)	r_D (N/t)
A – P+2+2+1	15,36	6916	2835	2,4405	106.273,0368	37,4860	-	-	-



Slika 7.19 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Karadorđe“

Tabela 7.76 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Karađorđe“



Merna staza na kojoj je obavljen eksperiment sa brodom "Karadorđe" tokom provođenja ispitivanja zadovoljava postavljene uslove kako prema kriterijumu h_{min} tako i po Frudovom broju, Fr . Pri takvim uslovima može da se smatra da dubina ne utiče na dopunsko povećanje ukupnog otpora sklopova, kao i da ne remeti pravilan rad propulzora.

Potiskivani sastav za potrebe eksperimenata formiran je od nesimetričnih potisnica serije JRB71300 i JRB71700 koje su različitih dimenzija i različitih nosivosti. U procesu provođenja eksperimenta potisnice u ispitivanim sastavima nisu bile utovarene na najveći gaz, već na srednji gaz koji je iznosio $\bar{T}_e=2,267$ m, zbog čega koeficijent iskorišćenja nosivosti potiskivanog sastava iznosi $\varepsilon_{sast}=0,8606$. Koeficijent iskorišćenja deplasmana potisnica serije JRB71300 iznosi $\eta_{DW}=0,8504$, a potisnica serije JRB71700 – $\eta_{DW}=0,8319$.

Analiza dijagrama iz kojeg se sagledavaju stanje pogonskih motora i propelera tokom eksperimenta (promena snage motora po sklopovima utvrđena tokom eksperimenata) i međusobni odnos prema promeni snage u zavisnosti od broja obrtaja vratila [$N_{vr}=f(n_{vr})$] dobijena na osnovu rezultata ispitivanja motora na probnom stolu opitne stanice u fabrici nije obavljena iz razloga što nedostaju rezultati ispitivanja na probnom stolu. Međutim, tokom eksperimenta u plovidbi sa sastavom izmerena je ukupna snaga (sva tri pogonska motora) koja iznosi $\Sigma N_i=2835$ kW što je značajno manje u odnosu na ukupno ugrađenu snagu, $\Sigma N_i=3885$ kW.

Eksperiment obavljen sa brodom "Karadorđe" u realnim uslovima plovidbe na Dunavu obuhvata ispitivanje samo jednog oblika potiskivanog sastava izrazito nepravilnog oblika, zbog čega se rezultati proračuna na odgovarajućim dijagramima pokazuju u obliku jedne tačke. Iz tog razloga nije moguće konstruisati integralne krive rezultativnog pokazatelja oblika $P_r=f(v)$ niti $P_r=f(p)$ na osnovu kojih se utvrđuju preporučena brzina plovidbe (v^*), preporučena vrednost statičkog opterećenja (p^*) niti preporučena nosivost sastava ΣQ_e .

Prevozni učinak i rezultativni eksploatacioni pokazatelj ukazuju da mp „Karadorđe“ sa sastavom od samo pet potisnica postiže vrlo skroman rezultat (isključivo zbog vrlo male vrednosti statičkog opterećenja pogonskih motora; na protiv, tokom eksperimenta postignuta je izuzetno velika brzina plovidbe) zbog čega, taj sastav u eksploataciji treba primenjivati samo u posebnim prilikama. Očigledno je da sastavi formirani na ovakav način nisu odgovarajući za brod snage $\Sigma N_i=3885$ kW.

7.4.20 Brod potiskivač „Kragujevac“

Tabela 7.77 Osnovne osobenosti potiskivača “Kragujevac” i potisnica JRB81200 i JRB81500

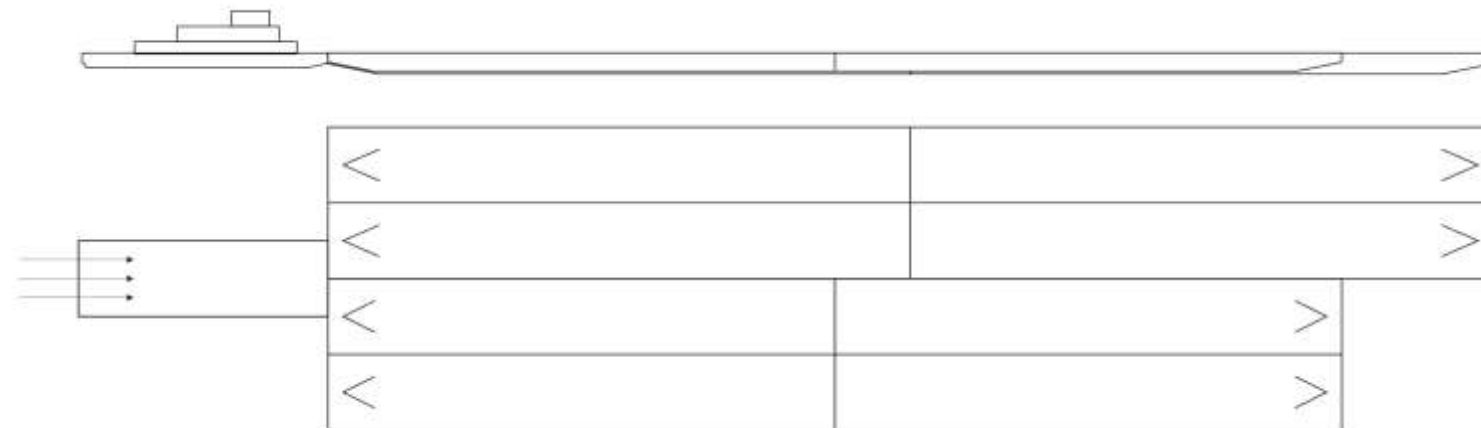
	L_{oa} (m)	L_{kvl} (m)	B_{kvl} (m)	T_0 (m)	T_{km} (m)	H_k (m)	D (t)	δ	η_{DW}	ΣN_i (kW)	Q_r (t)
Brod potiskivač	34,29	34,00	11,00	1,43	1,80	2,60	505,50	0,7508	-	$3 \times 809,6 = 2428,8$	-
Serijska potisnica u sastavu JRB 81200	67,00	65,82	10,20	0,370	2,30	2,61	1470,681	0,9521	0,8545	-	1242,0045
Serijska potisnica u sastavu JRB 81500	77,02	75,40	10,96	0,385	2,53	2,82	1970,838	0,9426	0,8578	-	1690,6068

Tabela 7.78 Osnovne karakteristike potiskivanih sklopova i merne staze za brod potiskivač “Kragujevac”

Oblik sklopa	L_{sast} (m)	B_{sast} (m)	L_{sast}/B_{sast}	η_{pr}	ϵ_{sast}	\bar{h} (m)	T (m)	\bar{h}/\bar{T}	v (km/h)	$h_{min} = 4 \cdot \frac{v^2}{g}$	$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot \bar{h}}}$
A – P+4+4	150,80	42,32	3,5633	0,9245	0,9860	6,5	2,365	2,7475	15,25	7,316	0,53048

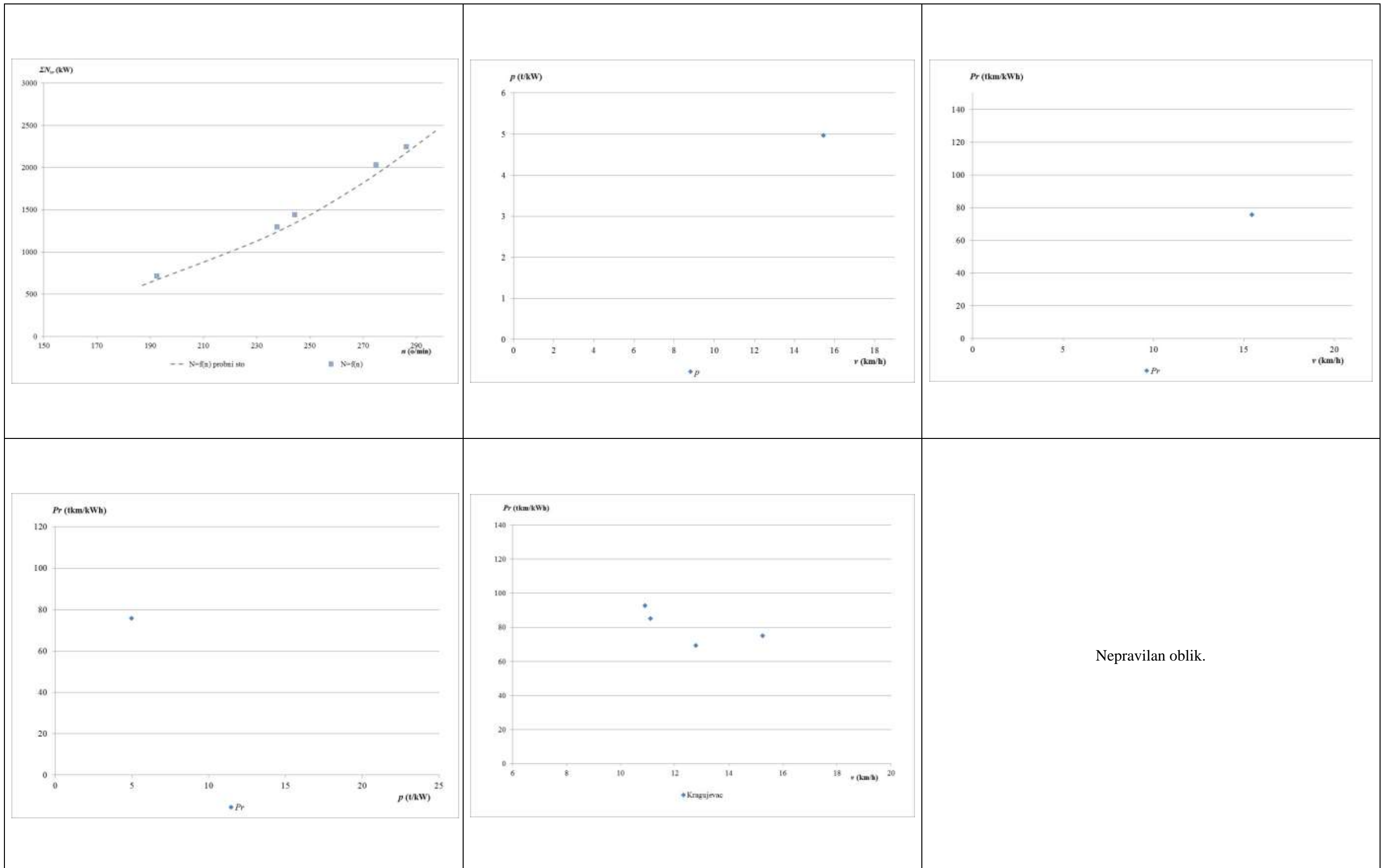
Tabela 7.79 Eksperimentalni pokazatelji kvaliteta tonaže i specifični otpor sklopova za brod potiskivač “Kragujevac”

Oblik sklopa	v (km/h)	ΣQ_e (t)	ΣN_e (kW)	p (t/kW)	PU (tkm/h)	Pr (tkm/kWh)	k_T (t/N·m ² /s ²)	r_Q (N/t)	r_D (N/t)
A – P+4+4	15,25	11.163	2245,536	4,9712	170.235,75	75,8107	-	-	-



Slika 7.20 Skice oblika potiskivanih sklopova za brod potiskivač „Kragujevac“

Tabela 7.80 Dijagrami $N_v(n)$, $p(v)$, $Pr(v)$, $Pr(p)$, $Pr(v)$ i $k_T(v)$ za brod potiskivač „Kragujevac“



Merna staza na kojoj je obavljen eksperiment sa brodom "Kragujevac" tokom provođenja ispitivanja ne zadovoljava postavljene uslove kako prema kriterijumu h_{min} tako i po Frudovom broju, Fr , budući da srednja dubina izmerena na mernoj stazi iznosi 6,5 m i manja je od minimalno potrebne za potrebe eksperimenta ($6,5 < 7,316$). Takođe, Frudov broj u odnosu na dubinu plovnog puta iznosi 0,53048 što je, takođe, za 6,096% veće od neophodnog ($0,53048 > 0,50$). Pri takvim uslovima može da se smatra da dubina utiče na dopunsko povećanje ukupnog otpora sklopa, kao i da remeti pravilan rad propulzora.

Potiskivani sastav za potrebe eksperimenata formiran je od nesimetričnih potisnica serije JRB81200 i JRB81500 koje su različitih dimenzija i različitih nosivosti. U procesu provođenja eksperimenta potisnice u ispitivanim sastavima nisu bile utovarene na najveći gaz, već na srednji gaz koji je iznosio $\bar{T}_e = 2,365$ m, zbog čega koeficijent iskorišćenja nosivosti potiskivanog sastava iznosi $\varepsilon_{sast} = 0,986$. Koeficijent iskorišćenja deplasmana potisnica serije JRB81200 iznosi $\eta_{DW} = 0,8545$, a potisnica serije JRB81500 - $\eta_{DW} = 0,8578$.

Analizom dijagrama iz kojeg se sagledavaju stanje pogonskih motora i propelera (promena snage motora po sklopovima utvrđena tokom eksperimenata) i međusobni odnos prema promeni snage u zavisnosti od broja obrtaja vratila [$N_{vr} = f(n_{vr})$] dobijena na osnovu rezultata ispitivanja motora na probnom stolu opitne stanice u fabrici zaključuje se da propeleri deluju, u izvesnoj meri, opterećujuće na pogonske motore – što je, po svoj prilici, uslovljeno nedovoljnom dubinom na mernoj stazi tokom eksperimenta. Pogonski motori ne razvijaju nominalni broj obrtaja (desni – $686,8 < 750$; srednji – $736,8 < 750$; levi – $722,5 < 750$) niti nominalnu snagu (desni – $734,89 < 809,6$; srednji – $775,96 < 809,6$; levi – $791,86 < 809,6$) pri režimu punjenja za trajni pogon.

Eksperiment obavljen sa brodom "Kragujevac" u realnim uslovima plovidbe na Dunavu obuhvata ispitivanje samo jednog oblika potiskivanog sastava nepravilnog oblika, zbog čega se rezultati proračuna na odgovarajućim dijagramima pokazuju u obliku jedne tačke. Iz tog razloga nije moguće konstruisati integralne krive rezultativnog pokazatelja oblika $P_r = f(v)$ niti $P_r = f(p)$ na osnovu kojih se utvrđuju preporučena brzina plovidbe (v^*), preporučena vrednost statičkog opterećenja (p^*) niti preporučena nosivost sastava ΣQ_e .

Prevozni učinak i rezultativni eksploatacioni pokazatelj ukazuju da mp „Kragujevac“ sa sastavom od osam potisnica postiže vrlo skroman rezultat (zbog male vrednosti statičkog opterećenja pogonskih motora; na protiv, tokom eksperimenta postignuta je izuzetno velika brzina plovidbe). Iz tog razloga, takav sastav u eksploataciji treba primenjivati samo u posebnim prilikama. Očigledno je da sastavi formirani na ovakav način nisu odgovarajući za brod ukupne snage pogonskih motora koja iznosi $\Sigma N_i = 2428,8$ kW.

7.5 Značaj ispitivanja potiskivanih sklopova/sastava u realnim uslovima plovidbe

U razdoblju od 1960. godine do zaključno sa 2004. godinom izvršena su 25 eksperimentalna ispitivanja i proučavanja rada rečnih brodova-motornih potiskivača na plovnim putevima naše zemlje i Evrope i to ispitivanje i analiza propulzivnih osobnosti potiskivača, ukupne snage pogonskih uređaja od 400 do 5278 KS (220,8 do 3885 kW). U tom razdoblju za potrebe rečnih brodarstava obavljani su eksperimenti u realnim uslovima plovidbe sa sledećim brodovima-potiskivačima: mp „Bukovik“, mp „Deligrad“, mp „Stolovi“, mp „Vinodol“, mp „Deli Jovan“, mp „Kablar“, mp „Sloga“, mp „Kumanovo“ (dva puta), mp „Romanija“ (dva puta), mp „Šumadija“, mp „Pinki“ (dva puta), mp „Panonija“ (dva puta), mp „Banat II“, mp „Kadinajača“, mp „Srem“, mp „Kladovo“, mp „Bor“, mp „Kragujevac“, mp „Truženik“, mp „Zlatibor“ i mp „Karađorđe“.

Navedeno je već (poglavlje 6) da se kao objektivni kriterijumi za utvrđivanje pravilnosti teorijskih proračuna pri određivanju plovidbenih i radnih karakteristika brodova služe ispitivanja u realnim uslovima plovidbe na plovnom putu. Cilj sprovođenja eksperimentalnih ispitivanja koja su se obavljala na brodovima-potiskivačima koji su radili u sklopu sa potiskivanim sastavima različitih oblika i nosivosti bili su dvojaki, i to:

1. Utvrđivanje propulzivnih svojstava broda, odnosno, određivanje stepena usaglašenosti rada pogonskih motora sa efektima koje postižu propulzivni kompleksi propeler-sapnica.
2. Za poznatu ukupnu nosivost potiskivanog sastava (ΣQ_e), izmerenu ukupnu snagu pogonskih motora (ΣN_e) i izmerenu brzinu plovidbe u odnosu na vodu (v) pristupa se proračunu pokazatelju opterećenja pogonskih motora (p), prevoznog učinka (PU) i rezultativnog pokazatelja eksploatacije (P_r). Ukoliko je to moguće pristupa se, takođe, određivanju brzine plovidbe u odnosu na obalu (v_t - tehnička brzina plovidbe).

Tokom postupka sprovođenja eksperimentalnih ispitivanja u realnim uslovima na plovnom putu brodovi-potiskivači radili su sa tri karakteristična oblika sastava, i to:

► sastavima koje su činile potisnice istovetne po nameni, jednakih oblika i jednakih tehničkih karakteristika i kojima je dodeljen jedinstven naziv – *jednorodni*, odnosno, *pravilni sastavi*;

► sastavima koji su formirani od dve ili više vrsta potisnica koje su se razlikovale po nameni, oblicima i tehničkim karakteristikama;

► sastavima u kojima su se, osim potisnica istovetnih ili različitih namena, oblika i tehničkih karakteristika nalazili i tegljeni teretnjaci, koji su se, takođe, razlikovali po nameni, oblicima i tehničkim karakteristikama.

Drugoj i trećoj grupi potiskivanih sastava dodeljen je naziv – *nepravilni sastavi*. U daljem toku analize posebna pažnja biće usredsređena na plovidbene karakteristike brodova-potiskivača i pokazatelje njihovog rada kada su u sklopu sa jednorodnim, odnosno, sastavima pravilnih oblika.

Tokom postupka istraživanja i rada na doktoratu uočeno je da naša broderska preduzeća u svojim plovnim parkovima raspolažu velikim brojem potiskivanih teretnjaka različitih namena, oblika, tehničkih i eksploatacionih osobenosti. U eksperimentima, koji su poslužili kao osnova ovom doktoratu, proučavani su sledeći tipovi potisnica:

► potisnice simetričnog oblika, tip HP71700; tip BBP77400, BBP78000; tip PIM77300 i PIM71700.

► potisnice nesimetričnog oblika, tip JRB71300, JRB71700, JRB81200, JRB81500; tip DL 81500, tip RBK71300 i RBK71700.

Kako bi se izvršilo ispitivanje uticaja tipa potisnica (prema obliku, glavnim dimenzijama, deplasmanu, registrovanoj nosivosti) na radne karakteristike brodova-potiskivača tokom eksperimenata u realnim uslovima potrebno je da se usvoje sledeće pretpostavke:

1. Merna staza tokom vršenja eksperimenata sa različitim brodovima-potiskivačima i sklopovima različitih oblika i nosivosti treba da osigura bar približno jednake uslove, posebno u odnosu na dubinu u plovnom putu;
2. Tokom protoka vremena u kojem su sprovedeni eksperimenti sa brodovima-potiskivačima uočeno je da su pogonski motori, u režimu rada trajnog pogona, ostvarivali različite snage, što je neposredno uticalo na vrednosti eksploatacionih pokazatelja. Kako bi se rezultati mogli upoteživati potrebno je izvršiti ujednačavanje režima rada pogonskih motora (svođenjem na jednaku vrednost koeficijenta iskorišćenja ukupne snage, η_{pr}) onih brodova čiji rezultati se upoređuju.
3. Postupak ujednačavanja rada pogonskih motora brodova sastoji se iz sledećih koraka:

► usvaja se da stepen iskorišćenja ukupne snage pogonskih motora broda-potiskivača, koji se izražava pomoću koeficijenta prenosa snage (η_{pr}) bude jednak za sve brodove čiji rezultati se proučavaju, i to tako da ovaj koeficijent iznosi $\eta_{pr}=0,95$; kod brodova-potiskivača kod kojih je pri eksperimentu utvrđeno da je stepen iskorišćenja manji od usvojene vrednosti (za $\eta_{pr}<0,95$), računskim putem snaga pogonskih motora dovodi se na vrednost $\eta_{pr}=0,95$;

► postupak ujednačavanja rada pogonskih motora brodova-potiskivača svodi se na rešavanje proporcionalnosti oblika (Бибиков 2013; Moland i drugi 2013.):

$$\frac{\sum N_e}{\sum N_o} = \frac{v_e^3}{v_o^3} \quad 7.15$$

pri čemu su:

$\sum N_e$ – ukupno izmerena snaga pogonskih motora broda-potiskivača utvrđena tokom eksperimenata sa različitim oblicima potiskivanih sastava, kW;

ΣN_o – ukupno očekivana snaga pogonskih motora broda-potiskivača posle svođenja na stepen iskorišćenja ukupne snage pogonskih motora $\eta_{pr}=0,95$, kW;

v_e – brzina plovidbe u odnosu na vodu potiskivanih sklopova pri izmerenoj snazi pogonskih motora broda-potiskivača utvrđenoj tokom eksperimenata sa različitim oblicima potiskivanih sastava, km/h;

v_o – očekivana brzina plovidbe u odnosu na vodu potiskivanih sklopova posle svođenja snage pogonskih motora na stepen iskorišćenja $\eta_{pr}=0,95$, kW, km/h.

7.5.1 Primena eksploatacionih pokazatelja na utvrđivanje uticaja tipa potisnica simetričnog oblika trupa na radne karakteristike brodova-potiskivača

Potisnice simetričnog oblika trupa su nesamohodni brodovi za prevoz tereta kod kojih je oblik, u osnovi pravougaonik, sa blagim zaobljenjima na temenima pravougla, dok u ravni simetrije potisnice na pramcu i krmi dobijaju oblik sanki. Potisnice ovog tipa na mestima njihovog sučeljavanja u cilju obrazovanja potiskivanih sastava (npr. pri formiranju sastava oblika P+1+1, P+1+1+1, P+2+2 i drugih) usled kosina s jedne i druge strane trupa obrazuju prostor koji ispunjava voda, zbog čega se javljaju vrtložna kretanja tokom plovidbe što, unekoliko, otežava opstrujavanje oko potiskivanog sklopa/sastava i povećava ukupni otpor sklopa/sastava.

Tokom rada na doktoratu utvrđeno je da su sa potisnicama simetričnog oblika trupa tokom obavljanja ispitivanja u realnim uslovima plovidbe i sprovedenim eksperimentima učestvovali brodovi-potiskivači „Pinki“, „Panonija“, „Romanija“, „Vinodol“, „Šumadija“, „Srem“, „Banat II“ i „Kablar“. Uočeno je, takođe, da su brodovi-potiskivači tokom ispitivanja posedovali različite radne sposobnosti, što se najbolje vidi kroz vrednosti očitanih brojeva obrtaja propelerskih vratila i izmerene snage na vratilima, a pokazuje pomoću izračunatog koeficijenta prenosa snage, η_{pr} . Iz tog razloga, kada je to bilo neophodno, a u cilju dobijanja realnih vrednosti eksploatacionih pokazatelja rada brodova-potiskivača pristupilo se ujednačavanju rada pogonskih motora.

Postupak ujednačavanja rada pogonskih motora brodova-potiskivača, koji sa sastoji od proračuna očekivane snage i očekivane brzine plovidbe, biće objašnjen na primeru rezultata rada brodova „Pinki“ i „Panonija“ (ukupne snage pogonskih motora $\Sigma N_i=758,08$ kW) na osnovu eksperimanata ostvarenih tokom prvog i drugog ispitivanja ovih brodova pri plovidbi sklopa oblika P+2+2. Potisnice koje učestvuju u eksperimentu su simetričnog oblika, tipa HP71700, identične nosivost i istovetnih konstruktivnih i eksploatacionih osobnosti.

Tokom prvog ispitivanja brod-potiskivač „Pinki“ ostvario je sledeće rezultate: ukupno izmerena (efektivna) snaga pogonskih motora $\Sigma N_{e(P+2+2)}=721,3$ kW, pri kojoj koeficijent prenosa snage iznosi $\eta_{pr}=0,9515$, dok izmerena brzina plovidbe sklopa u mirnoj vodi iznosi $v_{e(P+2+2)}=11,6$ km/h. Budući da je ostvareni koeficijent prenosa snage u prvom eksperimentu jednak usvojenom $\eta_{pr}=0,95$, izmerena (efektivna) snaga postaje istovremeno i očekivana

snaga, tj. $\Sigma N_{o(P+2+2)} = \Sigma N_{e(P+2+2)} = 721,3$ kW, dok izmerena brzina plovidbe tokom eksperimenta postaje očekivana brzina, tj. $v_{o(P+2+2)} = v_{e(P+2+2)} = 11,6$ km/h.

Za vreme drugog ispitivanja brod-potiskivač „Pinki“ ostvario je sledeće rezultate: ukupno izmerena (efektivna) snaga pogonskih motora $\Sigma N_{e(P+2+2)} = 548,6$ kW, pri kojoj koeficijent prenosa snage iznosi $\eta_{pr} = 0,7236$, dok je izmerena brzina plovidbe sklopa u mirnoj vodi $v_{e(P+2+2)} = 10,919$ km/h. Primenom vrednosti koeficijenta prenosa snage $\eta_{pr} = 0,95$ dobija se ukupno očekivana snaga pogonskih motora $\Sigma N_{e(P+2+2)} = 722,899$ kW, dok očekivana brzina plovidbe sklopa, primenom izraza (7.15), pri očekivanoj snazi iznosi $v_{o(P+2+2)} = 11,971$ km/h.

Tokom prvog ispitivanja brod-potiskivač „Panonija“ ostvario je sledeće rezultate: ukupno izmerena (efektivna) snaga pogonskih motora $\Sigma N_{e(P+2+2)} = 655,1$ kW, pri kojoj koeficijent prenosa snage iznosi $\eta_{pr} = 0,8641$, dok izmerena brzina plovidbe sklopa u mirnoj vodi iznosi $v_{e(P+2+2)} = 11,35$ km/h. Primenom vrednosti koeficijenta prenosa snage $\eta_{pr} = 0,95$ dobija se ukupno očekivana snaga pogonskih motora $\Sigma N_{o(P+2+2)} = 722,867$ kW, dok očekivana brzina plovidbe sklopa (izraz 7.15) pri očekivanoj snazi iznosi $v_{o(P+2+2)} = 11,728$ km/h. Prilikom drugog ispitivanja potiskivač „Panonija“ ostvario je rezultate: ukupno izmerena (efektivna) snaga pogonskih motora $\Sigma N_{e(P+2+2)} = 576,4$ kW, pri kojoj koeficijent prenosa snage iznosi $\eta_{pr} = 0,7603$, dok je izmerena brzina plovidbe sklopa u mirnoj vodi $v_{e(P+2+2)} = 10,33$ km/h. Primenom vrednosti koeficijenta prenosa snage $\eta_{pr} = 0,95$ ukupno očekivana snaga pogonskih motora iznosi $\Sigma N_{o(P+2+2)} = 722,869$ kW, dok očekivana brzina plovidbe sklopa pri očekivanoj snazi iznosi $v_{o(P+2+2)} = 11,140$ km/h.

Zbog uočenih razlika do kojih je došlo prilikom merenja snage pogonskih motora tokom prvog i drugog eksperimenta (kao i drugih parametara), a utvrđenih za vreme ispitivanja brodova „Pinki“ i „Panonija“ u realnim uslovima pokazuje se kao neophodno da se povremeno obavljaju kontrolna merenja i proračuni radnih parametara brodova-potiskivača primenom eksploatacionih pokazatelja.

Za dalji tok proračuna pokazatelja u cilju ispitivanje uticaja tipa potisnica na radne karakteristike brodova-potiskivača usvajaju se osrednjene (prosečne) očekivane vrednosti koje se odnose na oba broda pri radu sa sklopom oblika P+2+2, postignuti tokom prvog i drugog eksperimenta, što je prikazano u tabeli 7.81:

Tabela 7.81 Očekivane vrednosti pokazatelja brodova „Pinki“/„Panonija“ pri radu sa sklopom oblika P+2+2 (potisnice tip HP71700, deplasman $D=1760$ t, nosivost $Q_r=1466,31$ t)

$\Sigma \bar{N}_{o(P+2+2)}$ (kW)	$\Sigma \bar{Q}_{o(P+2+2)}$ (t)	$\bar{v}_{o(P+2+2)}$ (km/h)	$\bar{P}_{o(P+2+2)}$ (t/kW)	$\bar{P}_{ro(P+2+2)}$ (tkm/kWh)
723,734	5864,962	11,609	8,1038	94,077

Objašnjenje oznaka: $\Sigma \bar{N}_{o(P+2+2)}$ – srednja snaga brodova „Pinki“/„Panonija“ koja se očekuje da bude razvijena posle ujednačavanja za oba broda; $\Sigma \bar{Q}_{o(P+2+2)}$ – srednja nosivost

potisnica u sastavu oblika P+2+2; $\bar{v}_{o(P+2+2)}$ – srednja očekivana brzina koju bi ostvarili brodovi pri plovidbi sa sastavom oblika P+2+2; $\bar{p}_{o(P+2+2)}$ – srednje očekivano statičko opterećenje pogonskih motora pri radu brodova sa sastavom oblika P+2+2; $\bar{P}_{ro(P+2+2)}$ – srednja vrednost očekivanog rezultativnog pokazatelja pri radu brodova sa sastavom oblika P+2+2.

Istovetnim postupkom pristupilo se proračunu očekivanih vrednosti pokazatelja koje bi ova dva broda ostvarila pri plovidbi sa ostalim oblicima sklopova koji su ispitivani tokom obavljenih eksperimenata, i to: P+1, P+1+1, P+1+1+1, P+2, P+2+1 (sa nesimetrično postavljenom potisnicom u prvom redu sklopa), P+2+1 (sa simetrično postavljenom potisnicom u prvom redu oblik sklopa) i P+3, što je prikazano u tabeli 7.82

Tabela 7.82 Očekivane vrednosti pokazatelja koje ostvaruju brodovi „Pinki“/„Panonija“ pri radu sa ostalim sklopovima (potisnice tip HP71700, deplasman $D=1760$ t, nosivost $Q_r=1466,31$ t)

Oblik sklopa	$\Sigma \bar{N}_o$ (kW)	$\Sigma \bar{Q}_o$ (t)	\bar{v}_o (km/h)	\bar{p}_o (t/kW)	\bar{P}_{ro} (tkm/kWh)
P+1	745,5	1466,312	18,6	1,9668	36,584
P+1+1	726,3	2932,625	16,2	4,0377	65,411
P+1+1+1	725,4	4398,937	13,9	6,0641	84,291
P+2	722,8	2932,625	15,47	4,0573	62,766
P+2+1(nes)	722,763	4398,937	13,20	6,0853	80,344
P+2+1(sim)	722,919	4398,937	13,35	6,0853	81,238
P+3	709,045	4398,937	11,91	6,2040	73,890

Efekte rada prikazane u tabelama (7.81) i (7.82), koji se odnose na brodove-potiskivače „Pinki“ i „Panonija“ (pri radu sa potiskivanim teretnjacima tipa HP71700, registrovane nosivosti $Q_r=1466$ t), pogodno je uporediti sa istim efektima koje postižu brodovi-potiskivači „Vinodol“ i „Šumadija“ (budući da poseduju identične tehničke i eksploatacione osobenosti kao i klasa brodova „Pinki“/„Panonija“) pri njihovom radu sa potiskivanim teretnjacima tipa BBP77400, koji su simetričnog oblika, registrovane nosivosti $Q_r=731,991$ t, kao i sa efektima koje postižu brodovi „Banat II“ i „Srem“ (koji rade sa potiskivanim teretnjacima tipa PIM71700) i broda „Kablar“ koji radi sa potisnicama tipa i PIM77300. Eksperimenti izvršeni sa navedenim brodovima obavljani su na delu plovnog puta Dunava na kojoj se početna i završna tačka odabrane merne staze nalaze neposredno nizvodno i neposredno uzvodno od Smedereva, od km 1089 do km 1123. Eksperimenti sprovedeni sa brodovima „Pinki“/„Panonija“ (u oba ispitivanja) i brodovima „Vinodol“/„Šumadija“ izvršeni su pri, gotovo, jednakim dubinama u plovnom putu. Ispitivanja brodova „Pinki“/„Panonija“ (u oba eksperimenta) obavljena su pri srednjoj dubini na odabranoj mernoj stazi $\bar{h} \approx 8,46$ m, dok su eksperimenti sprovedeni sa brodovima „Vinodol“/„Šumadija“ obavljani pri srednjoj dubini na istom delu plovnog puta od $\bar{h} \approx 8,91$ m. Eksperimenti sa brodovima „Banat II“ i „Srem“

obavljeni su pri srednjoj dubini od 10,2 m, dok je srednja dubina na delu merne staze tokom eksperimenta sa brodom „Kablar“ iznosila $\bar{h} \approx 9,0$ m.

Budući da su tokom ispitivanja brodova „Vinodol“ i „Šumadija“ kod svih oblika sklopova ustanovljeni koeficijenti prenosa snage manji od 0,95 opisanim postupkom pristupilo se ujednačavanju režima rada pogonskih motora na $\eta_{pr}=0,95$ i proračunu očekivanih vrednosti pokazatelja rada, što je izloženo u tabeli 7.83:

Tabela 7.83 Očekivane vrednosti pokazatelja brodova „Vinodol“/„Šumadija“ pri radu sa sklopovima (potisnice tip BBP77400, deplasman $D=893$ t, nosivost $Q_r=731,99$ t)

Oblik sklopa	$\Sigma \bar{N}_o$ (kW)	$\Sigma \bar{Q}_o$ (t)	\bar{v}_o (km/h)	\bar{P}_o (t/kW)	\bar{P}_{ro} (tkm/kWh)
P+2	722,926	1463,982	15,321	2,025	31,025
P+2+2	723,018	2927,964	12,465	4,050	50,483
P+2+2+2	723,333	4465,493	9,968	6,173	61,537
P+3+3	716,102	4465,493	10,548	6,236	65,777
P+3+3+2	722,904	6003,023	9,656	8,304	80,188
P+4+4	722,951	6003,023	8,785	8,309	73,693

Istovetnim postupkom ujednačavanja režima rada pogonskih motora i svođenjem na režim $\eta_{pr}=0,95$, proračunate su očekivane radne karakteristike brodova-potiskivača „Banat II“/„Srem“ za oblike sklopova koji su ispitivani tokom eksperimenata, što je prikazano u tabeli 7.84:

Tabela 7.84 Očekivane vrednosti pokazatelja brodova „Banat II“/„Srem“ pri radu sa sklopovima (potisnice tip PIM71700, deplasman $D=1812,98$ t, nosivost $Q_r=1521,95$ t)

Oblik sklopa	$\Sigma \bar{N}_o$ (kW)	$\Sigma \bar{Q}_o$ (t)	\bar{v}_o (km/h)	\bar{P}_o (t/kW)	\bar{P}_{ro} (tkm/kWh)
P+1	531,391	1521,958	17,201	2,864	49,226
P+1+1	517,421	3043,916	14,504	5,887	85,386
P+1+1+1	531,423	4565,874	12,120	8,591	104,133
P+2+1 (nes)	503,454	4565,874	12,412	9,069	112,564
P+2+2	503,460	6087,832	11,273	12,092	136,313

Kako bi istraživanje bilo potpunije, po opisanom postupku, pristupilo se proračunu pokazatelja koje je tokom eksperimenata postigao brod „Romanija“ za vreme dva ispitivanja pri radu sa potiskivanim teretnjacima, tipa BBP78000. Dubina plovnog puta na delu navedene merne staze za vreme eksperimenata iznosila je, u proseku, $\bar{h} \approx 9,08$ m. Proračunate očekivane vrednosti eksploatacionih pokazatelja prikazuju se u tabeli 7.85.

Tabela 7.85 Očekivane vrednosti pokazatelja broda „Romanija“ pri radu sa sklopovima (potisnice tip BBP78000, deplasman $D=994,21$ t, nosivost $Q_r=805,53$ t)

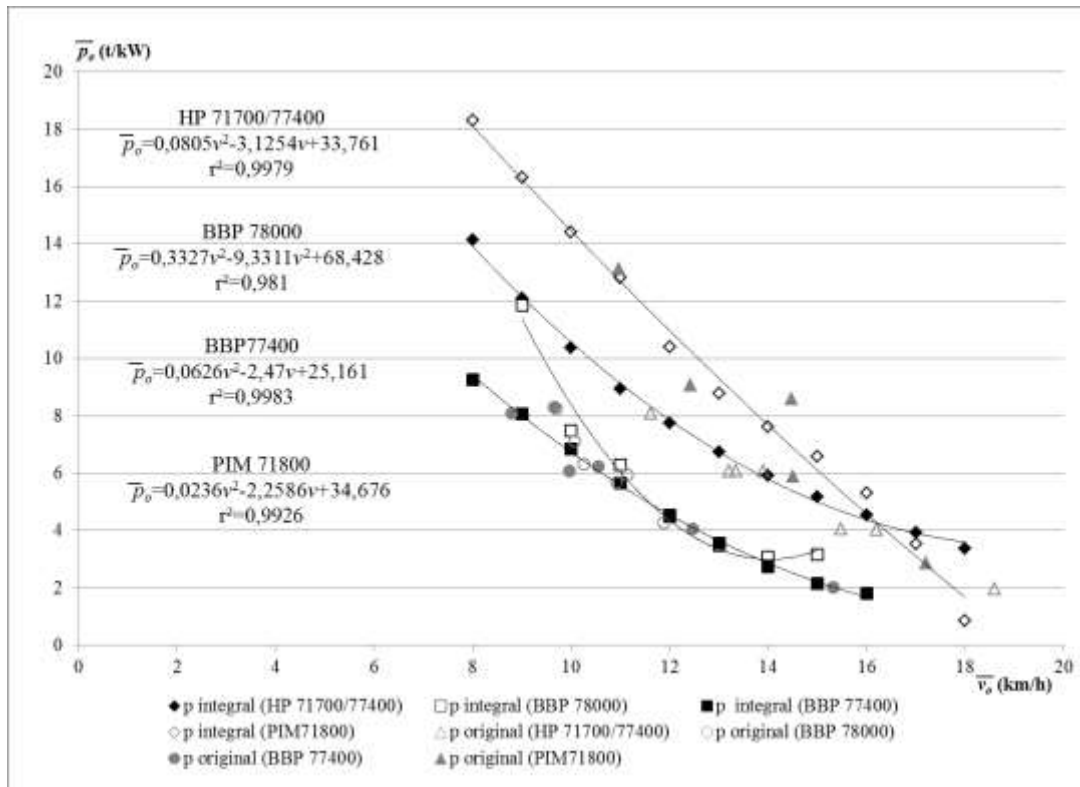
Oblik sklopa	$\Sigma \bar{N}_o$ (kW)	$\Sigma \bar{Q}_o$ (t)	\bar{v}_o (km/h)	\bar{p}_o (t/kW)	\bar{P}_{ro} (tkm/kWh)
P+3+3	1081,53	4612,588	11,87	4,2645	50,620
P+4+4	1084,307	6150,118	10,924	5,6719	61,9598
P+ 3+3+2	1082,011	6444,308	11,130	5,9559	66,2891
P+3+3+3	1102,519	6968,882	10,261	6,3209	64,8620
P+4+3+3	1082,012	7683,159	10,075	7,1008	71,5405
P+4+4+4	1081,978	8922,010	9,698	8,246	79,9697

Grafički prikaz promene parametara eksploatacije brodova potiskivača prilikom rada sa potisnicama tipa HP71700 („Pinki“/„Panonija“), BBP77400 („Vinodol“/„Šumadija“), BBP78000 („Romanija“) i PIM71700 („BanatII“/„Srem“) i to: statičkog opterećenja pogonskih motora \bar{p}_o , očekivane vrednosti rezultativnog pokazatelja u funkciji očekivane brzine plovidbe u odnosu na vodu $\bar{P}_{ro}(\bar{v}_o)$, kao i promene vrednosti rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja $\bar{P}_{ro}(\bar{p}_o)$ prikazan je na dijagramima, slike 7.21, 7.22 i 7.23.

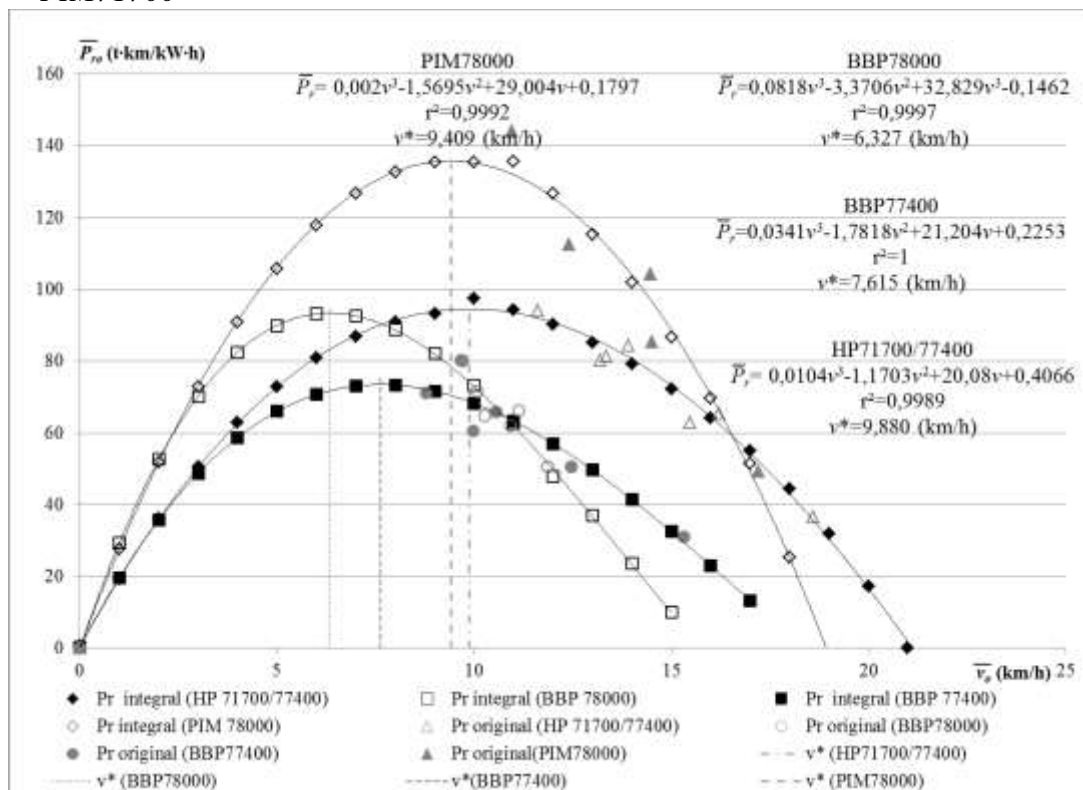
Na slici 7.22, prikazani su uporedni dijagrami promene rezultativnog pokazatelja $\bar{P}_{ro}(\bar{v}_o)$ brodova „Pinki“/„Panonija“, „Vinodol“/„Šumadija“, „Romanija“ i „BanatII“/„Srem“ koji rade sa potisnicama tipa HP71700, BBP77400, BBP78000 i PIM71700

Primenom integralnih krivih kojima se opisuje promena rezultativnog pokazatelja $\bar{P}_{ro}(\bar{v}_o)$ u funkciji očekivane brzine plovidbe (\bar{v}_o) najveću vrednost rezultativnog pokazatelja postižu brodovi serije „Banat II“/„Srem“ pri radu sa potisnicama tip PIM71700/77400 ($Q_r=1521,95$ t) što iznosi $\bar{P}_{ro} = 135,797$ tkm/kWh pri brzini od $\bar{v}_o = 9,409$ km/h. Istovremeno, najmanju vrednost rezultativnog pokazatelja postižu brodovi „Vinodol“/„Šumadija“ koji rade s potisnicama serije BBP77400 ($Q_r=731,99$ t) i to $\bar{P}_{ro} = 73,4282$ tkm/kWh, pri očekivanoj brzini plovidbe od $v=7,615$ km/h. Brod, motorni potiskivač „Romanija“, velike snage ugrađenih pogonskih motora ($\Sigma N_i=1081,92$ kW) postiže rezultativni pokazatelj od 93,3525 tkm/kWh pri brzini $\bar{v}_o = 6,327$ km/h (serija potisnica BBP78000, $Q_r=805,5$ t). Uočava se, takođe, da mp „Romanija“ postiže gotovo istovetnu vrednost rezultativnog pokazatelja kao i brodovi „Pinki“/„Panonija“ uz značajno manju brzinu plovidbe.

Na dijagramu, slika 7.23, prikazani su uporedni dijagrami promene rezultativnog pokazatelja $\bar{P}_{ro}(\bar{p}_o)$ brodova-potiskivača „Pinki“/„Panonija“, „Vinodol“/„Šumadija“, „Romanija“ i „BanatII“/„Srem“ pri radu sa potisnicama tipa HP71700, BBP77400, BBP78000 i PIM71700.



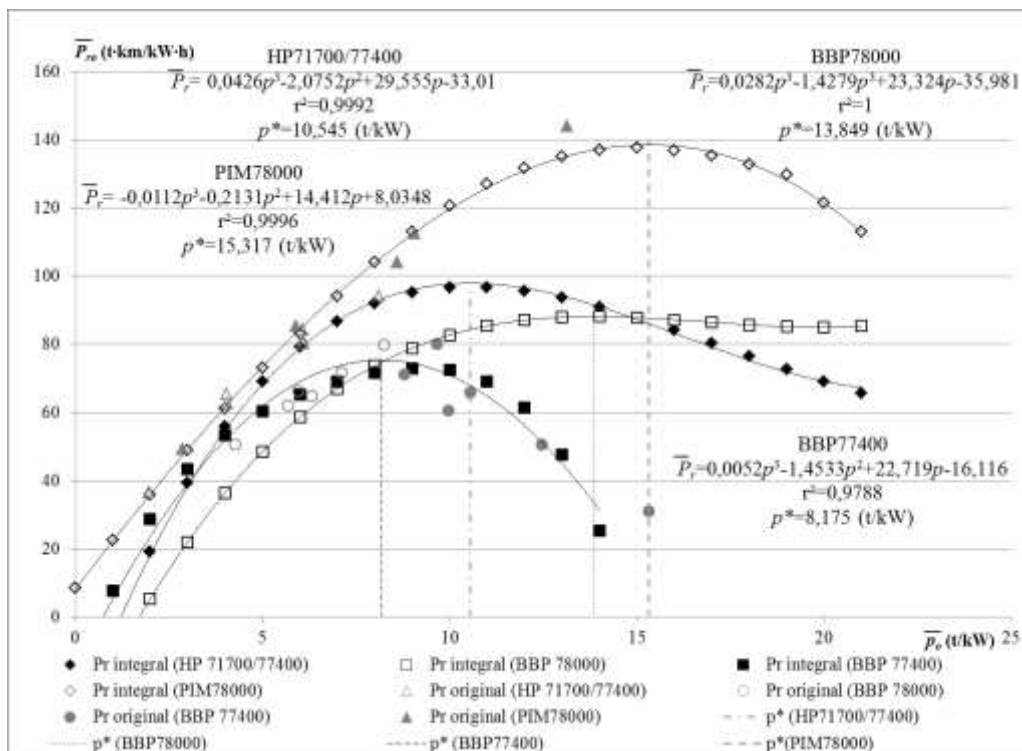
Slika 7.21 Uporedni dijagrami promene statičkog opterećenja pogonskih motora brodova-potiskivača $\bar{p}(\bar{v}_o)$ pri radu sa potisnicama tipa HP71700, BBP77400, BBP78000 i PIM71700



Slika 7.22 Uporedni dijagrami promene rezultativnog pokazatelja $\bar{P}_{ro}(\bar{v}_o)$ brodova-potiskivača „Pinki“/„Panonija“, „Vinodol“/„Šumadija“, „Romanija“ i „BanatII“/„Srem“ pri radu sa potisnicama tipa HP71700, BBP77400, BBP78000 i PIM71700

Proučavajući funkcije promene rezultativnog pokazatelja u zavisnosti očekivane vrednosti statičkog opterećenja pogonskih motora, $\bar{P}_{ro}(\bar{p}_o)$ pri radu brodova-potiskivača sa potisnicama tipa HP71700, BBP77400, BBP78000 i PIM71700 postižu se sledeći rezultati: brodovi „BanatII“/“Srem“ (potisnice tip PIM71700, nosivost 1521,95 t) postižu najveću vrednost rezultativnog pokazatelja, jednaku 138,540 tkm/kWh za očekivanu vrednost statičkog opterećenja $\bar{p}_o = 15,317$ t/kW. Na osnovu izračunatih veličina \bar{P}_{ro} i \bar{p}_o proračunata je očekivana vrednost brzine plovidbe, koja iznosi $\bar{v}_o = 9,044$ km/h, što je gotovo jednako vrednosti dobijene iz odnosa $\bar{P}_{ro}(\bar{v}_o)$.

Potom, brodovi-potiskivači „Pinki“/“Panonija“ (potisnice HP71700, $Q_r=1466$ t) ostvaruju $\bar{P}_{ro} = 97,8430$ tkm/kWh pri očekivanoj vrednosti statičkog opterećenja koje iznosi $\bar{p}_o=10,545$ t/kW. Na osnovu veličina \bar{P}_{ro} i \bar{p}_o sledi da je očekivana brzina plovidbe $\bar{v}_o = 9,2786$ km/h što je vrlo blisko brzini plovidbe od 9,88 km/h. Sledeću vrednost po intenzitetu rezultativnog pokazatelja postiže brod-potiskivač „Romanija“ i to $\bar{P}_{ro} = 88,0731$ tkm/kWh pri $\bar{p}_o=13,849$ t/kW i očekivanoj brzini plovidbe $\bar{v}_o=6,3595$ km/h (potisnice BBP78000, $Q_r=805,5$ t), što je takođe blisko brzini 6,327 km/h. Serija brodova-potiskivača „Vinodol“/“Šumadija“ postiže najmanju vrednost rezultativnog pokazatelja, $\bar{P}_{ro} = 75,3278$ tkm/kWh pri $\bar{p}_o=8,175$ t/kW, i očekivanoj brzini plovidbe $\bar{v}_o=9,2144$ km/h (serija potisnica BBP77400, $Q_r=731,99$ t).



Slika 7.23 Uporedni dijagrami promene rezultativnog pokazatelja $\bar{P}_{ro}(\bar{p}_o)$ brodova-potiskivača „Pinki“/“Panonija“, „Vinodol“/“Šumadija“, „Romanija“ i „BanatII“/“Srem“ pri radu

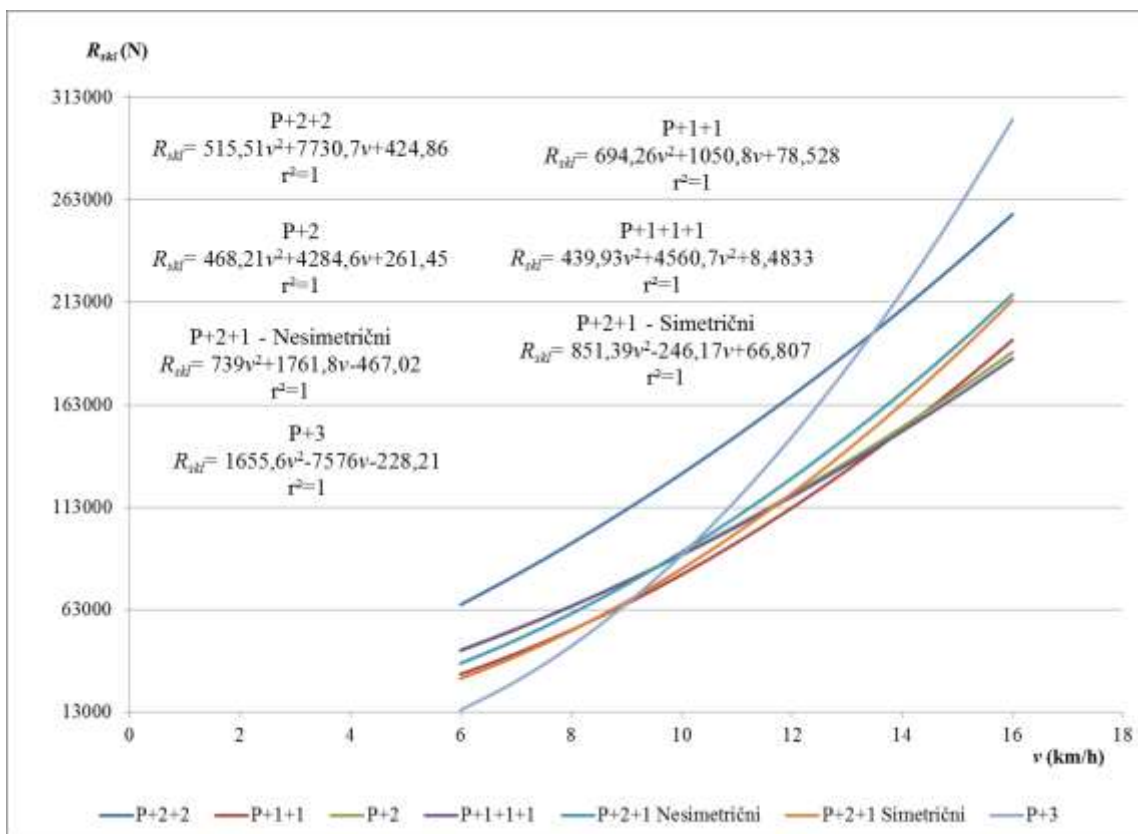
sa potisnicama tipa HP71700, BBP77400, BBP78000 i PIM71700

Navedeno je (poglavlje 6), da je za ocenu pokazatelja kvaliteta tonaže (k_T), specifičnog otpora po nosivosti sastava (r_Q) i specifičnog otpora po deplasmanu sklopa (r_D) nužno utvrditi veličine ukupnih otpora potiskivanih sklopova (R_{skl}) za svaki od usvojenih i tokom eksperimenata ispitivanih oblika ponaosob. Za proračun ukupnog otpora sklopova koriste se metode izložene u poglavlju 6. Na taj način, kriva promene ukupnog otpora potiskivanog sklopa, na primer, oblika P+2+2 pri plovidbi brodova „Pinki“/“Panonija“ za slučaj kada rade sa potisnicama tipa HP71700, $R_{skl(P+2+2)}$, prikazana je na slici 7.24. Na slici 7.25 prikazuju se krive promene ukupnog otpora sklopova pri plovidbi brodova-potiskivača „Vinodol“/„Šumadija“ i „Romanija“ kada rade sa potisnicama tipa BBP77400. Takođe, na slici 7.26 prikazane su krive promene ukupnog otpora za različite oblike sklopova koji se postižu pri plovidbi sa potiskivanim teretnjacima tipa BBP78000, dok su na slici 7.27 prikazane krive promene ukupnog otpora za različite oblike sklopova koje postižu brodovi-potiskivači pri radu sa potisnicama tipa PIM71000.

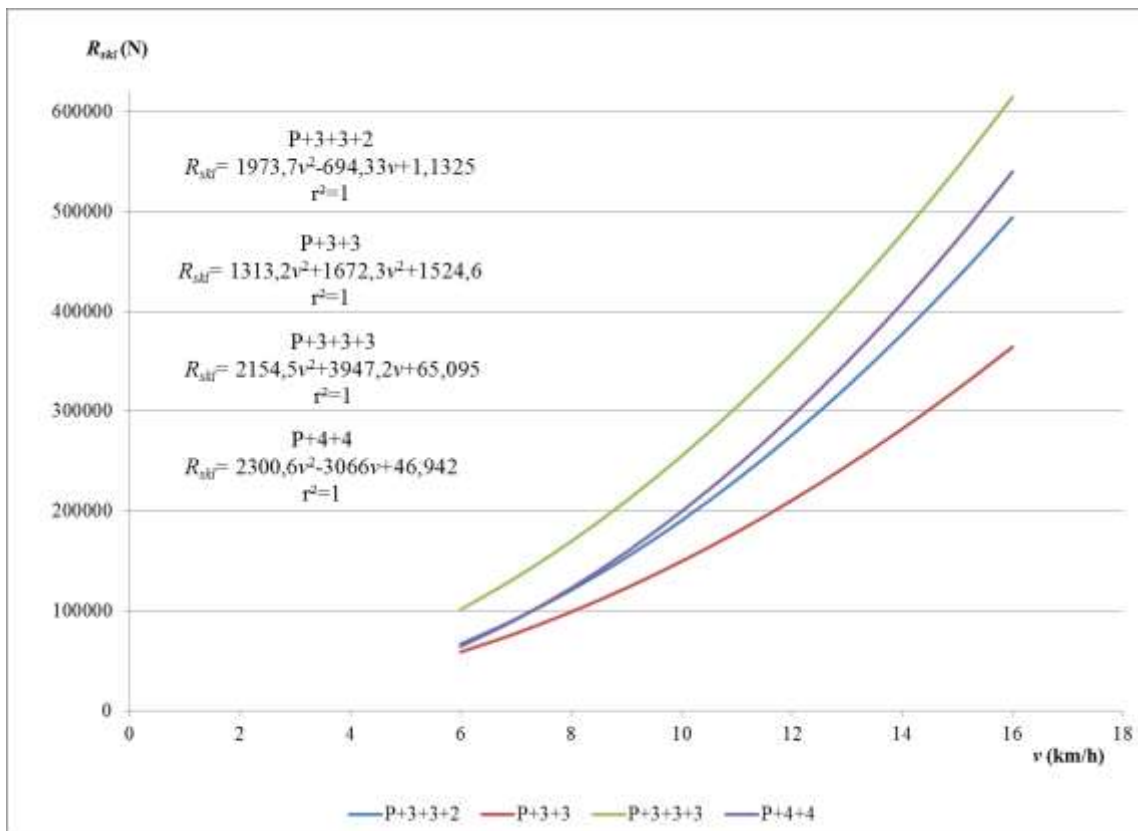
Na taj način, primenom izraza za proračun ukupnog otpora sklopa, na primer, oblika P+2+2 brodova „Pinki“/“Panonija“ (dijagram, slika 7.24) pri radu sa potisnicama tipa HP71700 ($\Sigma Q_e=5865,25$ t; $\Sigma D=7378,75$ t) i primenom izraza za proračun kvaliteta tonaže (k_T), specifičnog otpora po nosivosti (r_Q) i specifičnog otpora po deplasmanu sklopa (r_D) za brzine plovidbe u mirnoj vodi $v=8,0; 10,0; 12,0$ i $14,0$ km/h izračunate su vrednosti navedenih pokazatelja, tabela 7.86.

Tabela 7.86 Vrednosti pokazatelja kvaliteta tonaže (k_T), specifičnog otpora po nosivosti (r_Q) i specifičnog otpora po deplasmanu sklopa (r_D) za brzine plovidbe u mirnoj vodi $v=8,0; 10,0; 12,0$ i $14,0$ km/h za brodove „Pinki“/“Panonija“ pri radu sa potisnicama HP71700

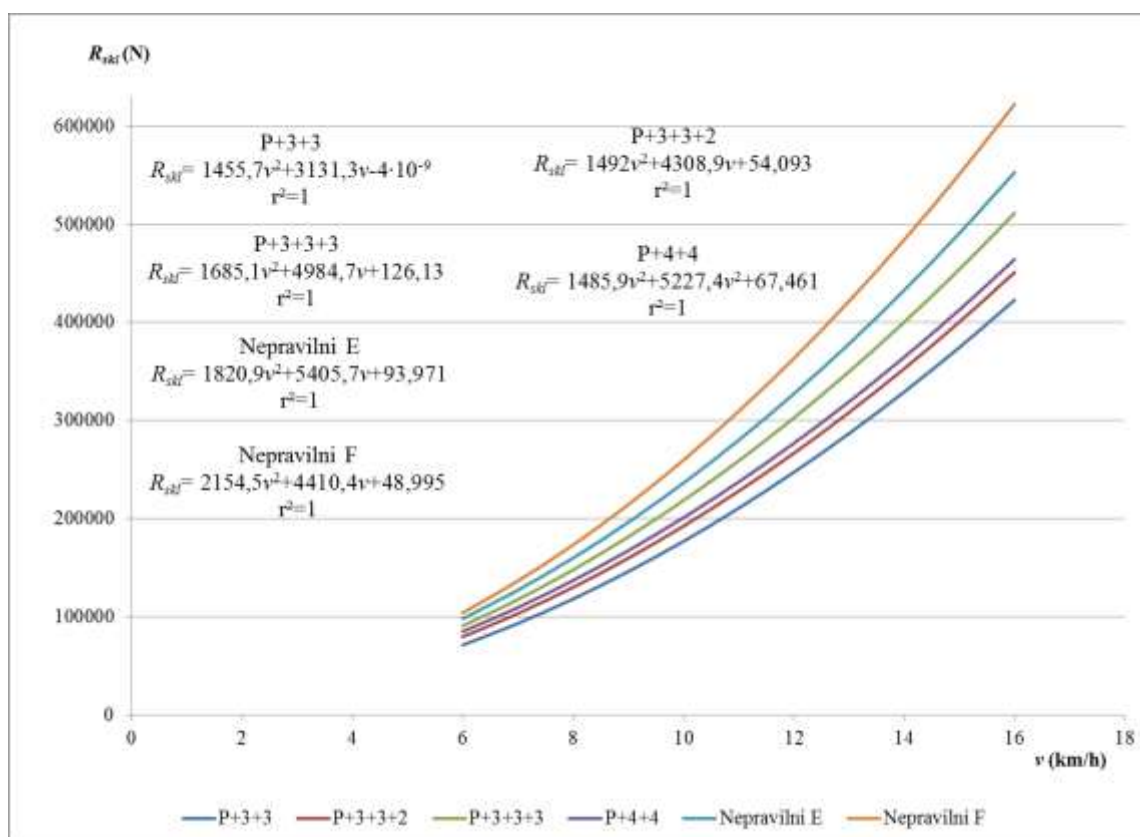
Oblik sklopa P+2+2	$\Sigma R_{skl}, N$	$k_T, \frac{t}{N} \cdot \frac{m^2}{s^2}$	$r_Q, \frac{N}{tnos.}$	$r_D, \frac{N}{tdepl.}$
$v=8,0$ km/h	95.263,1	0,3040	16,2419	12,9104
$v=10,0$ km/h	129.282,8	0,3488	22,0421	17,5209
$v=12,0$ km/h	167.426,7	0,3892	28,5455	22,6903
$v=14,0$ km/h	209.694,6	0,4230	35,7520	28,4187



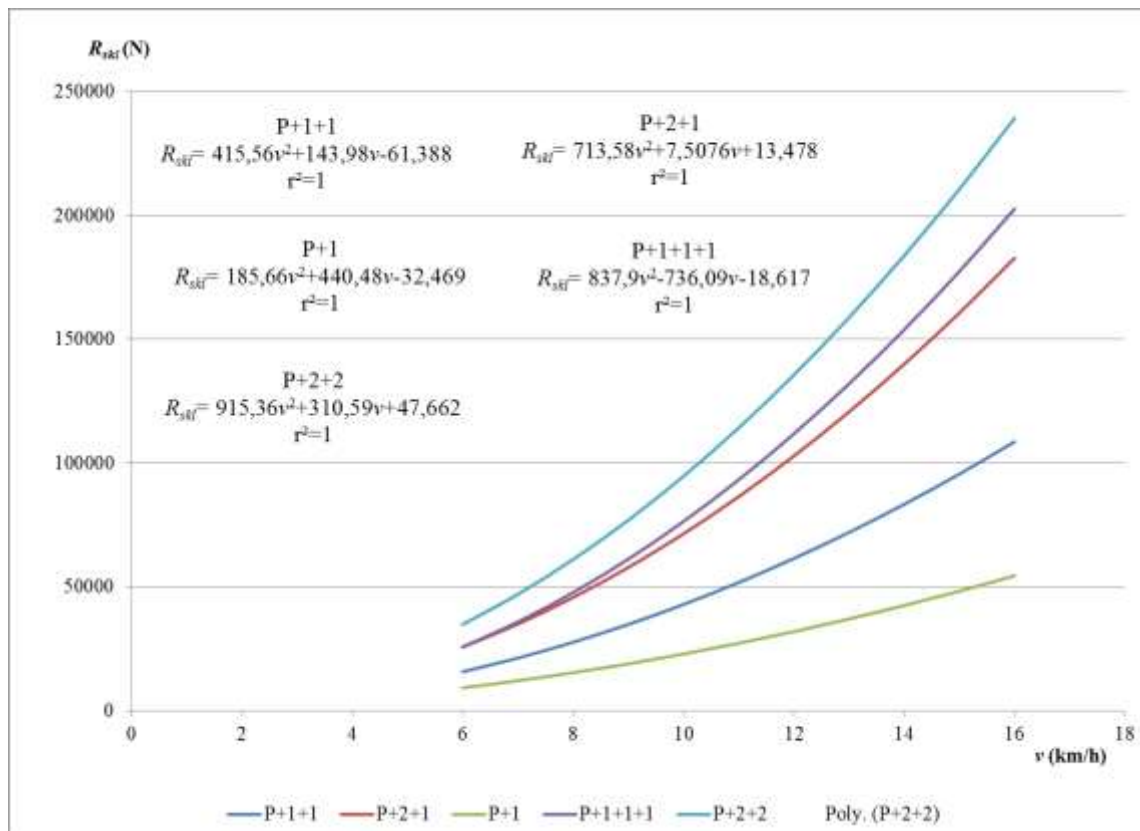
Slika 7.24 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih sklopova pri radu brodova-potiskivača sa potisnicama tipa HP71700



Slika 7.25 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih sklopova pri radu brodova-potiskivača sa potisnicama tipa BBP77400



Slika 7.26 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih sklopova pri radu broda-potiskivača sa potisnicama tipa BBP78000



Slika 7.27 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih sklopova pri radu broda-potiskivača sa potisnicama tipa PIM71000

Kako bi se utvrdila podobnost za primenu različitih oblika potiskivanih sklopova koji se formiraju od potisnica simetričnih oblika, a koje se nalaze u eksploataciji naših brodarskih kompanija, pristupa se analizi pokazatelja kvaliteta tonaže (k_T), specifičnog otpora po jedinici nosivosti sklopa (r_Q) i specifičnog otpora po jedinici deplasmana sklopa (r_D). Na bazi poznatih izraza za proračun ukupnog otpora ispitivanih sklopova (R_{skl}), brodova „Pinki“/„Panonija“, „Vinodol“/„Šumadija“, „Romanija“ i „Banat II“/„Srem“, poznatih ukupnih nosivosti (Q_{skl}), poznatih deplasmana svakog od sklopova (D_{skl}) i usvojenih brzina plovidbe u odnosu na vodu v (8,0; 10,0; 12,0; 14,0 km/h) nadalje pristupilo se proračunu eksploatacionih pokazatelja kvaliteta tonaže (k_T), specifičnog otpora po deplasmanu (r_D) i specifičnog otpora po nosivosti (r_Q) koji se postižu pri plovidbi sa potisnicama tipa HP71700, BBP77400, BBP78000 i PIM71000. Izračunate vrednosti izložene su u tabelama 7.87, 7.88, 7.89 i 7.90.

Tabela 7.87 Prikaz izračunatih vrednosti kvaliteta tonaže (k_T), specifičnog otpora po deplasmanu (r_D) i specifičnog otpora po nosivosti (r_Q) za potisnice tipa HP71700

Oblik, nosivost i deplasman sklopa	v (km/h)	R_{skl} (N)	k_T $\frac{t \cdot m^2}{N \cdot s^2}$	r_Q (N/t _{nosiv.})	r_D (N/t _{deplas.})
P+2 $Q_{skl}=2932,62$ t $D_{skl}=3858,75$ t	8,0	64.503,69	0,2245	21,9952	16,7162
	10,0	89.928,45	0,2516	30,6648	23,3050
	12,0	119.098,89	0,2735	40,6117	30,8646
	14,0	152.015,01	0,2917	51,8358	39,3948
P+1+1 $Q_{skl}=2932,62$ t $D_{skl}=3858,75$ t	8,0	52.917,56	0,2736	18,0444	13,7136
	10,0	80.012,52	0,2828	27,2835	20,7353
	12,0	112.661,56	0,2892	38,4166	29,1963
	14,0	150.864,68	0,2939	51,4435	39,0967
P+3 $Q_{skl}=4398,93$ t $D_{skl}=5618,75$ t	8,0	45.122,19	0,4814	10,2575	8,0306
	10,0	89.571,79	0,3789	20,3621	15,9415
	12,0	147.266,19	0,3318	33,4777	26,2097
	14,0	218.205,39	0,3048	49,6041	38,8352
P+2+1 (nesim.) $Q_{skl}=4398,93$ t $D_{skl}=5618,75$ t	8,0	60.923,38	0,3565	13,8495	10,8428
	10,0	91.050,98	0,3727	20,6984	16,2048
	12,0	127.090,58	0,3845	28,8912	22,6190
	14,0	169.042,18	0,3935	38,4280	30,0853
P+2+1 (sim.) $Q_{skl}=4398,93$ t $D_{skl}=5618,75$ t	8,0	52.586,40	0,4130	11,9543	9,3591
	10,0	82.744,10	0,4101	18,8100	14,7264
	12,0	119.712,92	0,4082	27,2141	21,3059
	14,0	163.492,86	0,4069	37,1665	29,0977
P+1+1+1 $Q_{skl}=4398,93$ t $D_{skl}=5618,75$ t	8,0	64.615,04	0,3361	14,6888	11,4998
	10,0	89.554,48	0,3789	20,3582	15,9385
	12,0	118.009,04	0,4141	26,8267	21,0072
	14,0	149.978,72	0,4435	34,0943	26,6925
P+2+2 $Q_{skl}=5864,96$ t $D_{skl}=7378,75$ t	8,0	95.263,11	0,3040	16,2419	12,9104
	10,0	129.282,85	0,3488	22,0421	17,5209
	12,0	167.426,73	0,3892	28,5455	22,6903
	14,0	209.694,61	0,4230	35,7520	28,4187

Tabela 7.88 Prikaz izračunatih vrednosti kvaliteta tonaže (k_T), specifičnog otpora po deplasmanu (r_D) i specifičnog otpora po nosivosti (r_Q) za potisnice tipa BBP77400

Oblik, nosivost i deplasman sklopa	v (km/h)	R_{skl} (N)	k_T $\frac{t \cdot m^2}{N \cdot s^2}$	r_Q (N/t _{nosiv.})	r_D (N/t _{deplas.})
P+3+3 $Q_{skl}=4465,49$ t $D_{skl}=5697,11$ t	8,0	98.947,87	0,2228	22,1583	17,3680
	10,0	149.567,65	0,2303	33,4941	26,2532
	12,0	210.693,06	0,2354	47,1825	36,9824
	14,0	282.324,00	0,2392	63,3223	49,5556
P+3+3+2 $Q_{skl}=6003,02$ t $D_{skl}=7483,23$ t	8,0	120.763,55	0,2454	20,1171	16,1378
	10,0	190.428,31	0,2432	31,7220	25,4473
	12,0	275.881,97	0,2417	45,9571	36,8666
	14,0	377.126,13	0,2407	62,8227	50,3961
P+3+3+3 $Q_{skl}=6687,92$ t $D_{skl}=8376,29$ t	8,0	165.930,69	0,1990	24,8105	19,8095
	10,0	250.487,09	0,2060	37,4536	29,9043
	12,0	352.279,49	0,2109	52,6740	42,0567
	14,0	471.307,89	0,2145	70,4715	56,2669
P+4+4 $Q_{skl}=6003,02$ t $D_{skl}=7483,23$ t	8,0	122.757,34	0,2414	20,4492	16,4043
	10,0	199.446,94	0,2322	33,2244	39,3601
	12,0	294.541,34	0,2264	49,0655	39,3601
	14,0	408.040,54	0,2224	67,9725	54,5273

Tabela 7.89 Prikaz izračunatih vrednosti kvaliteta tonaže (k_T), specifičnog otpora po deplasmanu (r_D) i specifičnog otpora po nosivosti (r_Q) za potisnice tipa BBP78000

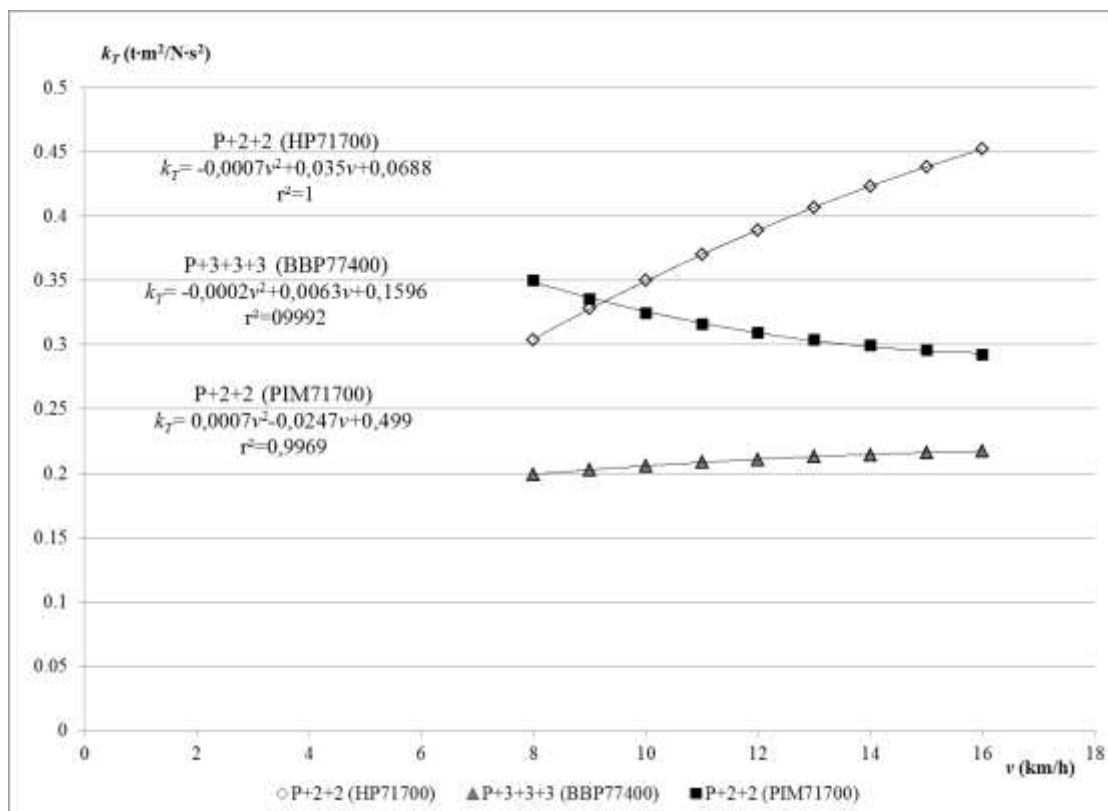
Oblik, nosivost i deplasman sklopa	v (km/h)	R_{skl} (N)	k_T $\frac{t \cdot m^2}{N \cdot s^2}$	r_Q (N/t _{nosiv.})	r_D (N/t _{deplas.})
P+3+3 $Q_{skl}=4833,23$ t $D_{skl}=6336,76$ t	8,0	118.215,21	0,2019	24,4588	18,6554
	10,0	176.883,05	0,2108	36,5972	27,9138
	12,0	247.196,43	0,2172	51,1451	39,0099
	14,0	329.155,48	0,2220	68,1025	51,9438
P+3+3+2 $Q_{skl}=6444,31$ t $D_{skl}=8325,18$ t	8,0	130.014,10	0,2447	20,1750	15,6169
	10,0	192.343,90	0,2585	29,8471	23,1038
	12,0	266.609,71	0,2685	41,3713	32,0245
	14,0	352.811,50	0,2762	54,7477	42,3788
P+3+3+3 $Q_{skl}=7249,84$ t $D_{skl}=9319,39$ t	8,0	147.850,13	0,2421	20,3935	15,8647
	10,0	218.483,13	0,2560	30,1362	23,4439
	12,0	302.596,93	0,2662	41,7384	32,4696
	14,0	400.191,53	0,2739	55,2000	42,9418
P+4+4 $Q_{skl}=6444,31$ t $D_{skl}=8325,18$ t	8,0	136.984,26	0,2323	21,2566	16,4542
	10,0	200.931,46	0,2474	31,1796	24,1353
	12,0	276.765,86	0,2587	42,9473	33,2444
	14,0	364.487,46	0,2673	56,5595	43,7813

Tabela 7.90 Prikaz izračunatih vrednosti kvaliteta tonaže (k_T), specifičnog otpora po deplasmanu (r_D) i specifičnog otpora po nosivosti (r_Q) za potisnice tipa PIM71000

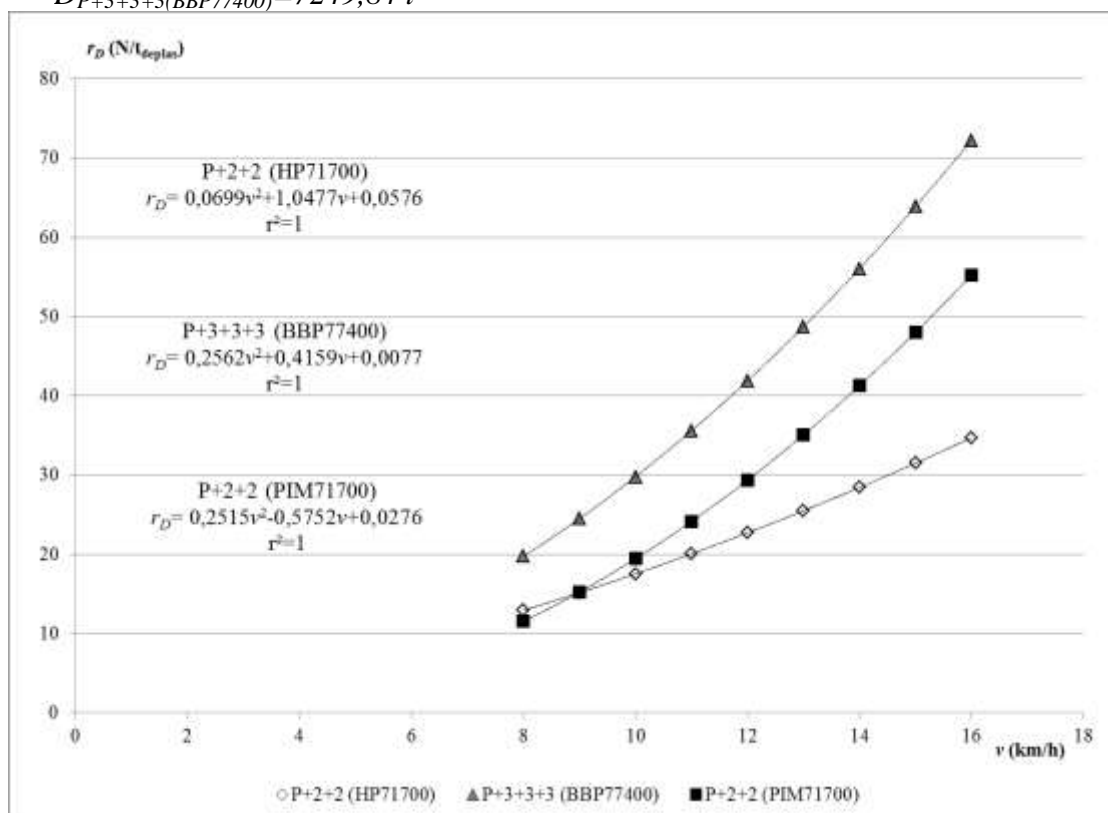
Oblik, nosivost i deplasman sklopa	v (km/h)	R_{skl} (N)	k_T $\frac{t \cdot m^2}{N \cdot s^2}$	r_Q (N/t _{nosiv.})	r_D (N/t _{deplas.})
P+1 $Q_{skl}=1521,95$ $D_{skl}=2020,98$	8,0	15.373,61	0,4888	10,1012	7,6070
	10,0	22.938,33	0,5119	15,0716	11,3501
	12,0	31.988,33	0,5286	21,0179	15,8281
	14,0	42.523,61	0,5412	27,9402	21,0410
P+1+1 $Q_{skl}=3043,90$ t $D_{skl}=3833,96$ t	8,0	27.686,29	0,5429	9,0956	7,2213
	10,0	42.934,41	0,5470	14,1050	11,1984
	12,0	61.507,01	0,5498	20,2066	16,0426
	14,0	83.404,09	0,5519	27,4004	21,7540
P+1+1+1 $Q_{skl}=4565,85$ t $D_{skl}=5646,95$ t	8,0	50.015,22	0,4508	10,9541	8,8570
	10,0	79.999,48	0,4403	17,5212	14,1668
	12,0	116.974,06	0,4336	25,6193	20,7145
	14,0	160.938,96	0,4290	35,2484	28,5001
P+2+1 (nesim.) $Q_{skl}=4565,85$ t $D_{skl}=5646,95$ t	8,0	45.742,65	0,4929	10,0184	8,1004
	10,0	71.446,55	0,4930	15,6480	12,6522
	12,0	102.859,08	0,4932	22,5279	18,2149
	14,0	139.980,26	0,4933	30,6581	24,7886
P+2+2 $Q_{skl}=6087,83$ t $D_{skl}=7459,93$ t	8,0	61.115,42	0,4919	10,0389	8,1925
	10,0	94.689,56	0,4960	15,5539	12,6930
	12,0	135.586,58	0,4988	22,2717	18,1753
	14,0	183.806,48	0,5008	30,1924	24,6391

Na temelju velikog broja izračunatih podataka koji se odnose na brodove-potiskivače (različitih snaga pogonskih motora ugrađenih u brodove, ΣN_i) i potiskivane teretnjake simetričnog oblika trupa, različitih tipova (koji se razlikuju po deplasmanu i registrovanoj nosivosti) moguće je pristupiti upoređivanju njihovih karakteristike na više načina.

U prvom slučaju zanimljivo je utvrditi vrednosti pokazatelja kvaliteta tonaže (k_T) i specifičnog otpora po jedinici deplasmana sklopa (r_D) onih sklopova koji poseduju, približno, jednake vrednosti deplasmana: na primer deplasman sklopa oblika P+2+2 kojeg čine potiskivani teretnjaci tipa HP71700 iznosi $D_{P+2+2(HP71700)} = 7378,75$ t; deplasman sklopa oblika P+2+2 kojeg čine potiskivani teretnjaci tipa PIM71700 jednak je $D_{P+2+2(PIM71700)} = 7459,93$ t; dok, deplasman sklopa oblika P+3+3+3 kojeg čine potiskivani teretnjaci tipa BBP78000 iznosi $D_{P+3+3+3(BBP78000)} = 7249,84$ t. Na osnovu izračunatih vrednosti konstruisane su krive promene pokazatelja kvaliteta tonaže (slika 7.28) i i specifičnog otpora po jedinici deplasmana usvojenih sklopova (slika 7.29).



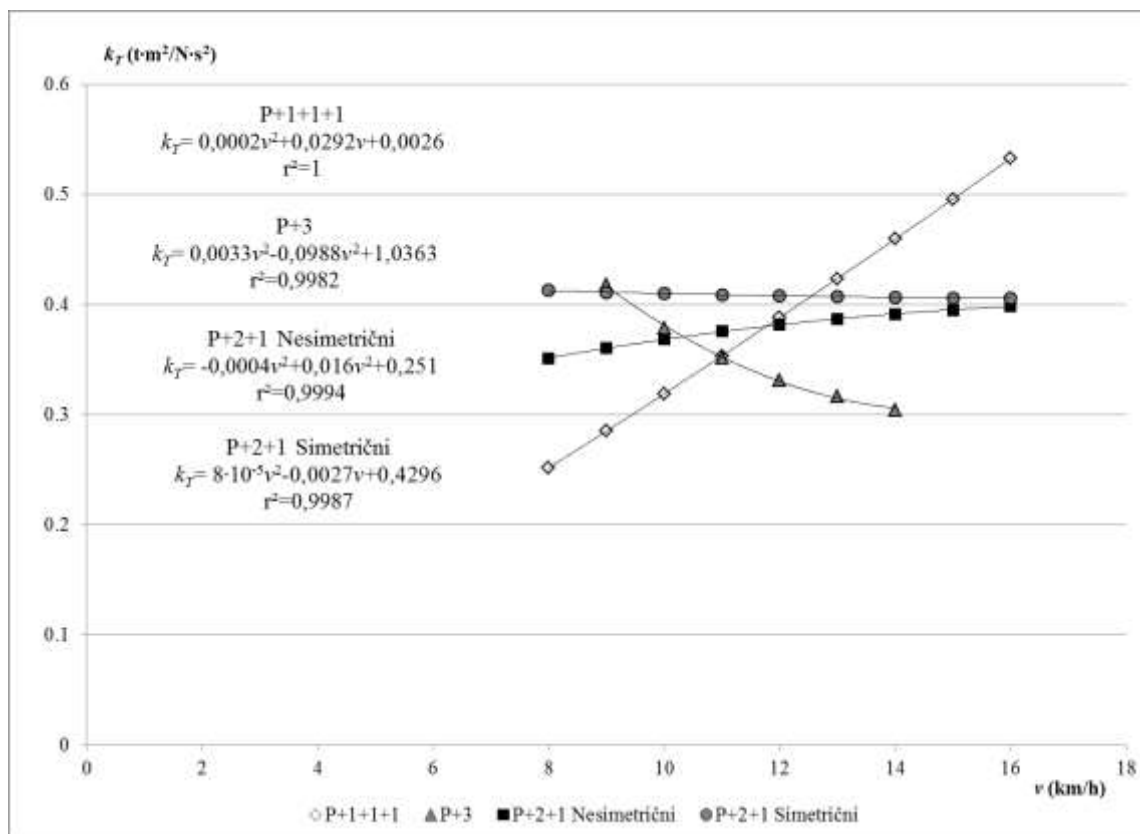
Slika 7.28 Uporedni dijagram promene pokazatelja koeficijenta tonaže $k_T=f(v)$ za sklopove deplasmana: $D_{P+2+2(HP71700)}=7378,75$ t, $D_{P+2+2(PIM71700)}=7459,93$ t i $D_{P+3+3+3(BBP77400)}=7249,84$ t



Slika 7.29 Uporedni dijagram promene pokazatelja specifičnog otpora po deplasmanu $r_D=f(v)$ za sklopove: $D_{P+2+2(HP71700)}=7378,75$ t, $D_{P+2+2(PIM71700)}=7459,93$ t i $D_{P+3+3+3(BBP77400)}=7249,84$ t

Sa dijagrama (slika 7.28) uočava se, da se pokazatelji kvaliteta tonaže sklopova formiranih od četiri potisnice (oblika $D_{P+2+2(HP71700)}$ i $D_{P+2+2(PIM71700)}$) neznatno razlikuju jedan od drugog u intervalu brzina plovidbe u mirnoj vodi od 10,0 do 12,0 km/h. Istovremeno, ovi koeficijenti značajno su povoljniji u odnosu na koeficijent tonaže sklopa oblika $D_{P+3+3+3(BBP77400)}$. Upoređivanjem vrednosti pokazatelja specifičnog otpora po deplasmanu (slika 7.29) jasno se uočava da sklop oblika P+3+3+3 (potisnice tipa BBP77400) ima značajno veći specifični otpor u odnosu na druga dva sklopa, oblika P+2+2. Na osnovu iznetog može da se utvrdi da kombinacija brod-potiskivani sastav kojeg čine potisnice znatno većeg deplasmana i registrovane nosivosti ($D=1760,00$ t, odnosno, $D=1812,98$ t) postižu značajno bolje rezultate u odnosu na kombinaciju brod-potiskivani sastav mnogo manjeg deplasmana i registrovane nosivosti, pogotovo, u kombinaciji sa brodom koji raspolaže velikom snagom pogonskih motora ($\Sigma N_i=1081,92$ kW).

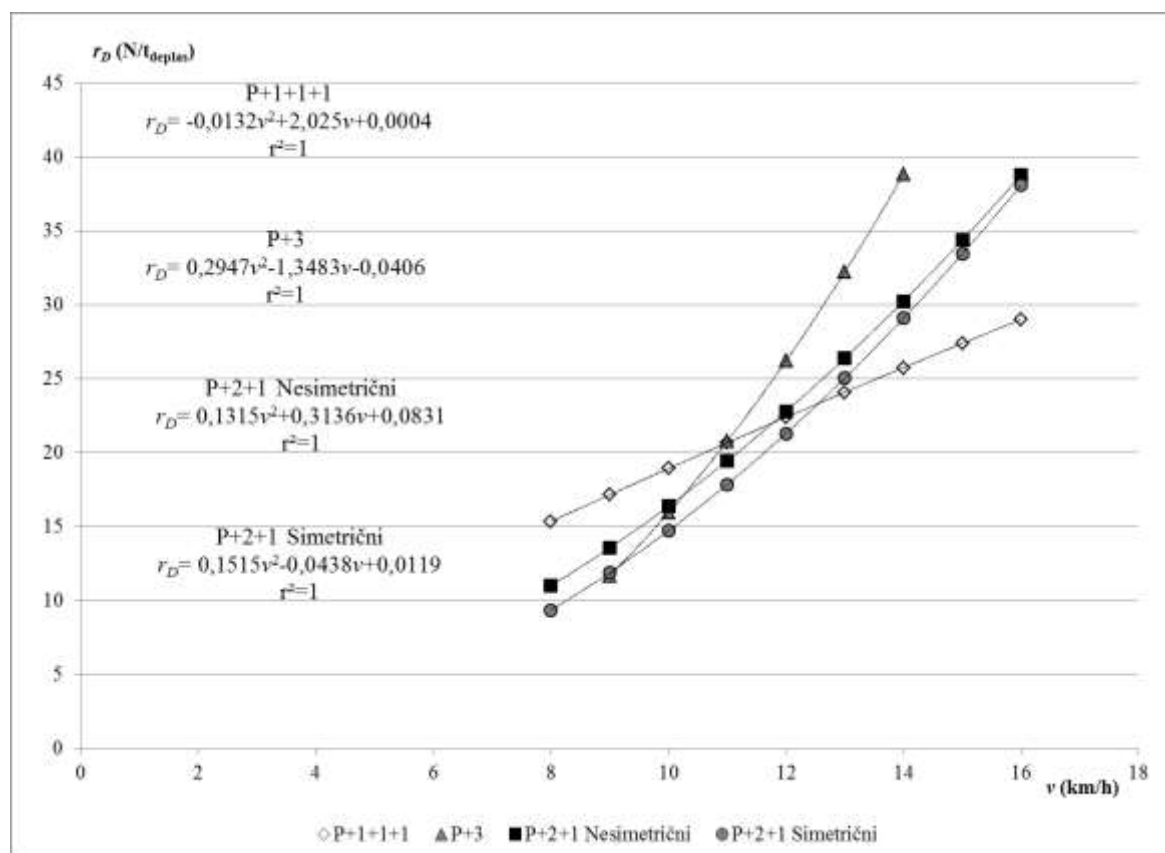
Nadalje, vredno pažnje je izvršiti upoređivanje onih potiskivanih sklopova koji poseduju, na primer, jednake vrednosti ukupnog deplasmana i jednaku ukupnu nosivost potisnica, razlikuju se samo po obliku sklopa, a u svim slučajevima potiskuje ih isti brod-potiskivač. Ovakvo upoređenje biće predstavljeno na slučaju rada brodova-potiskivača "Pinki"/"Panonija" u sklopu sa potisnicama tipa HP71700, kod kojih ukupni deplasman iznosi $D_{skl}=5618,75$ t, dok je nosivost $Q_{skl}=4398,93$ t, što je prikazano odgovarajućim dijagramima, slike 7.30 i 7.31.



Slika 7.30 Uporedni dijagram promene koeficijenta kvaliteta tonaže $k_T=f(v)$ sklopova oblika P+3, P+1+1+1, P+2+1 (nesim.), P+2+1 (sim.)

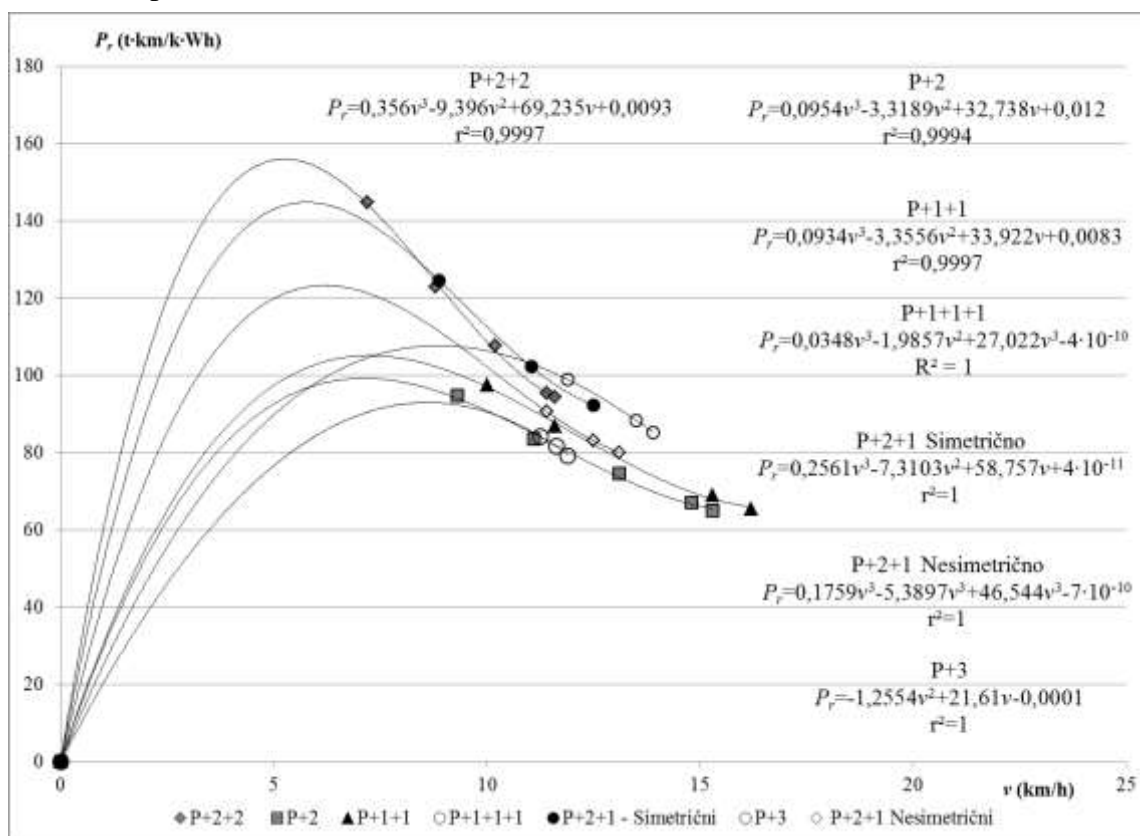
U opsegu brzina plovidbe od 10,0 do 12,0 km/h u odnosu na vodu (koji se najviše pojavljuje u rečnom saobraćaju) najveću vrednost kvaliteta tonaže, $k_T=f(v)$, ostvaruje sklop oblika P+2+1 (sa simetrično postavljenom potisnicom u prvom redu), a potom sklop oblika P+2+1 (sa nesimetrično postavljenom potisnicom u prvom redu). Najmanje vrednosti koeficijenta tonaže postižu sklopovi oblika P+1+1+1 i P+3. Kada se analiziraju krive promene pokazatelja specifičnog otpora po deplasmanu $r_D=f(v)$ najmanju vrednost ovog pokazatelja ima sklop oblika P+2+1 (sa simetrično postavljenom potisnicom u prvom redu), a zatim sklop oblika P+2+1 (sa nesimetrično postavljenom potisnicom u prvom redu). Najveće vrednosti specifičnog otpora po jedinici deplasmana ostvaruju sklopovi oblika P+1+1+1 i P+3. Ove činjenice najbolje potkrepljuju krive ukupnog otpora ovih sklopova (slika 7.24) jer imaju mnogo veće vrednosti ukupnog otpora u odnosu na sklopove s kojima se upoređuju, oblika P+2+1, kako sa simetrično postavljenom potisnicom, tako i sa nesimetrično postavljenom potisnicom u prvom redu.

Imajući u vidu da je cilj eksploatacije u vodnom saobraćaju da se postignu što veće vrednosti koeficijenta kvaliteta, tj. da $k_T \rightarrow k_{T(max)}$, odnosno, da se ostvare što je moguće manje vrednosti specifičnog otpora po jedinici deplasmana (i jedinici nosivosti) tj. $r_D \rightarrow r_{D(min)}$ tokom procesa eksploatacije sklopove je potrebno obrazovati na način da se postignu ovi ciljevi.



Slika 7.31 Uporedni dijagram promene pokazatelja specifičnog otpora po deplasmanu $r_D=f(v)$ za sklopove: P+3; P+1+1+1; P+2+1 (nesim.); P+2+1 (sim.)

Na dijagramu, slika 7.32, prikazan je međusobni položaj krivih promene rezultativnog pokazatelja $Pr(v)$ brodova-potiskivača "Pinki"/"Panonija" ($\Sigma N_i=758,08$ kW) postignutih tokom eksperimenata u realnim uslovima plovidbe ispitivanih sklopova pri radu sa potisnicama simetričnog oblika, tipa HP71700 za različite režima rada njihovih pogonskih motora. Vidi se, da najveću vrednost rezultativnog pokazatelja brodovi "Pinki"/"Panonija" postižu kada rade sa sastavima najvećih nosivosti ($\Sigma Q_e=5864,96$ t) - sklop oblika P+2+2, dok se najmanje vrednosti ovog pokazatelja ostvaruju pri radu sa sklopovima oblika P+2 (zbog malih vrednosti statičkog opterećenja motora) i P+3 (zbog manjih brzina plovidbe u odnosu na druge oblike sklopova), te se iz tog razloga ne preporučuju u eksploataciji. Isto tako, oblik sklopa P+2+1 (sa simetrično postavljenom potisnicom u prvom redu) prema vrednosti rezultativnog pokazatelja odmah je ispod vrednosti koja se postiže sa sklopom P+2+2 i poseduje znatnu prednost u odnosu na oblike sklopova P+2+1 (sa nesimetrično postavljenom potisnicom u prvom redu) i P+1+1+1.

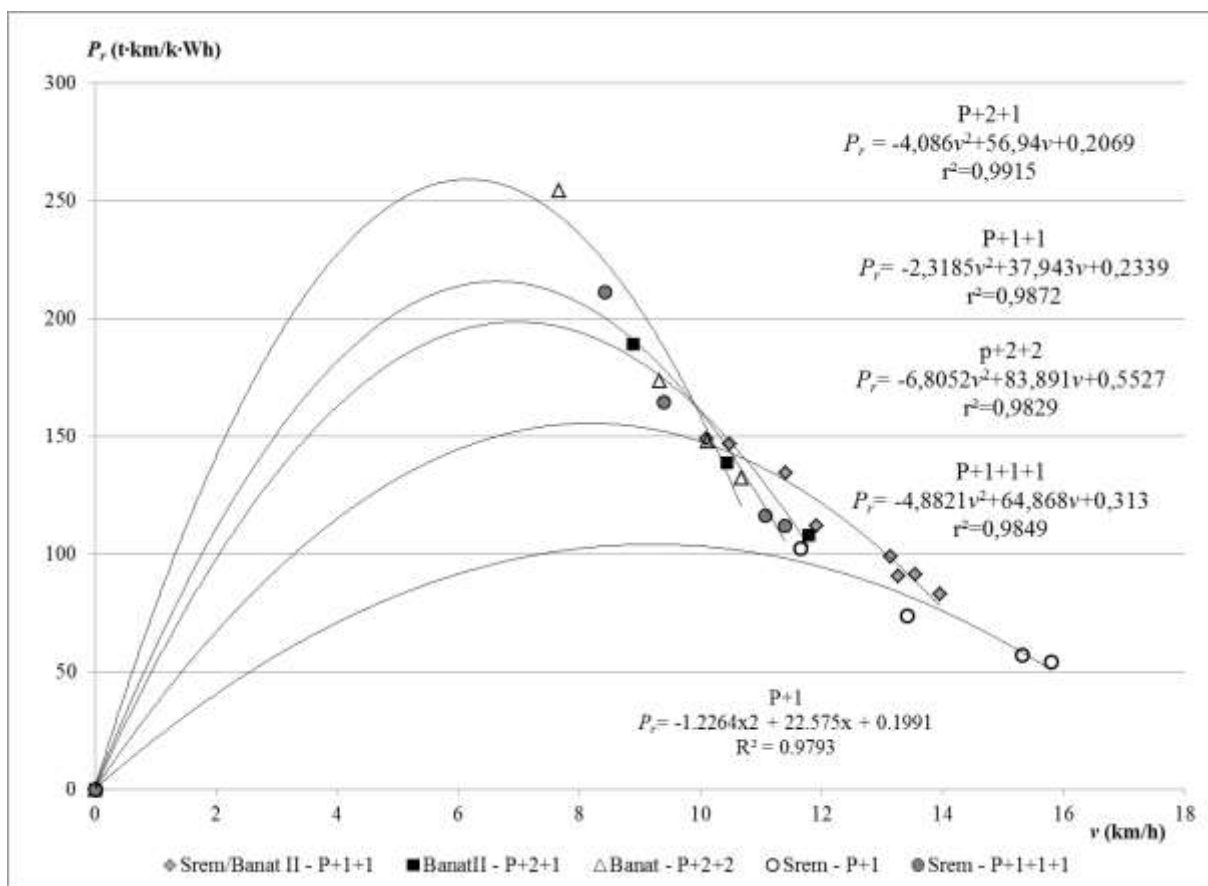


Slika 7.32 Međusobni položaj krivih promene rezultativnog pokazatelja $Pr(v)$ prema režimima rada pogonskih motora brodova-potiskivača "Pinki"/"Panonija" za ispitivane sklopove pri radu sa potisnicama tipa HP71700

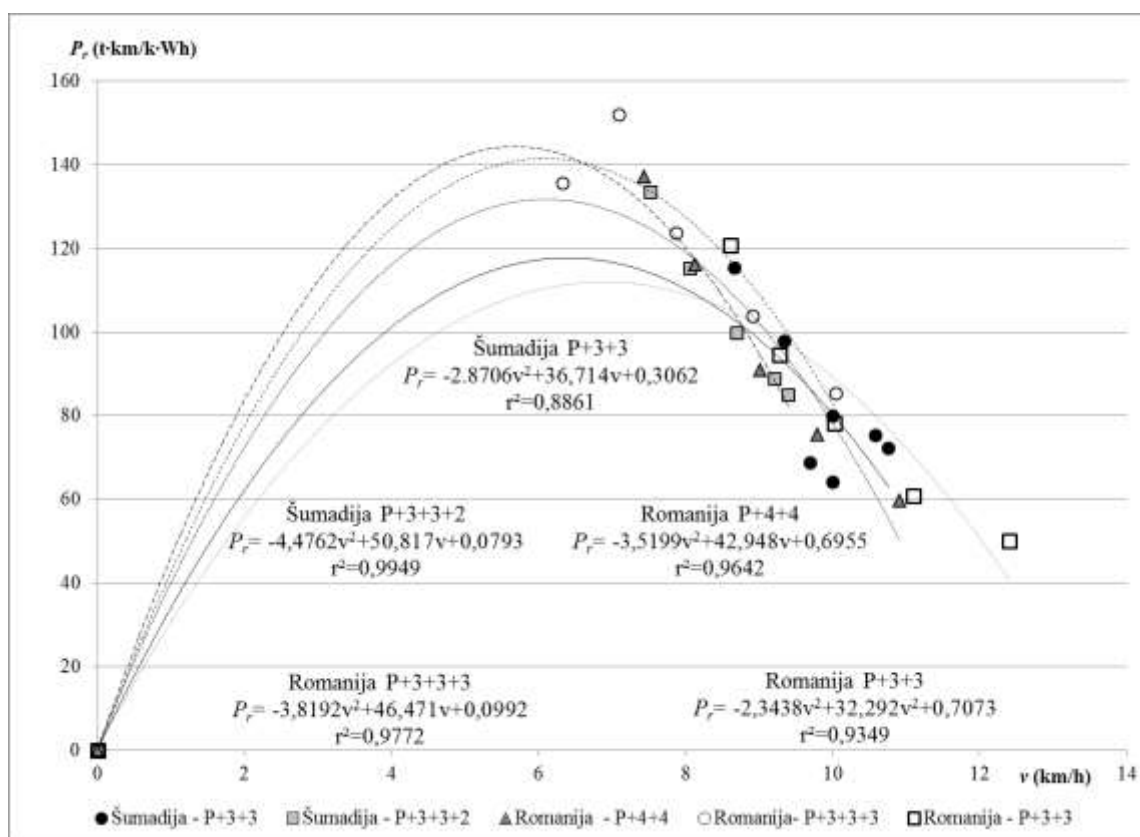
Do gotovo identičnog zaključka dolazi se pažljivom analizom rezultativnog pokazatelja $Pr(v)$ kada brodovi „Banat I“ i „Srem“ ($\Sigma N_i=559,36$ kW) rade sa sastavima različitih oblika formiranih od potiskivanih teretnjaka simetričnog oblika, tipa PIM71700 za različite režime rada pogonskih motora ovih brodova. Najveća vrednost rezultativnog eksploatacionog pokazatelja (slika 7.33.) postiže se pri radu ovih brodova sa sastavima

najvećih nosivosti ($\Sigma Q_e=6087,83$ t), što se postiže u sklopu oblika P+2+2. Potom, prema vrednosti rezultativnog pokazatelja slede oblici sklopova P+1+1+1 ($\Sigma Q_e=4565,87$ t) i P+2+1 ($\Sigma Q_e=4565,87$ t) – koji pri jednakoj nosivosti kao i oblik P+1+1+1 ostvaruje nešto manje brzine plovidbe. Jasno je da oblici P+1 ($\Sigma Q_e=1521,95$ t) i P+1+1 ($\Sigma Q_e=3043,91$ t) ostvaruju najmanje vrednosti rezultativnog pokazatelja $Pr(v)$ i ne preporučuju se u eksploataciji.

Pri analizi rada grupe brodova-potiskivača “Vinodol”/”Šumadija” i broda “Romanija” (slika 7.34.) treba naglasiti da se potiskivani sastavi sa kojima ovi brodovi rade formiraju od potisnica simetričnog oblika, tipa BBP77300, pojedinačne nosivosti $\Sigma Q_e=731,99$ t. Najveće vrednosti rezultativnog pokazatelja može da ostvari brod “Šumadija” ($\Sigma N_i=758,08$ kW) u sklopu oblika P+3+3+2 ($\Sigma Q_e=6444,31$ t). Skoro jednake vrednosti rezultativnog pokazatelja ostvaruje brod-potiskivač “Romanija” (kod koga je ugrađena snaga pogonskih motora značajno veća u odnosu na grupu brodova “Vinodol”/”Šumadija”, $\Sigma N_i=1081,92$ kW) kada radi sa potisnicama u sklopu oblika P+3+3+3 ($\Sigma Q_e=7249,84$ t).



Slika 7.33 Međusobni položaj krivih promene rezultativnog pokazatelja $Pr(v)$ prema režimima rada pogonskih motora brodova-potiskivača “Banat I”/”Srem” za ispitivane sklopove pri radu sa potisnicama tipa PIM71700



Slika 7.34 Međusobni položaj krivih promene rezultativnog pokazatelja $P_r(v)$ prema režimima rada pogonskih motora brodova-potiskivača "Vinodol"/"Šumadija" i "Romanija" za ispitivane sklopove pri radu sa potisnicama tipa BBP77300

7.5.2 Primena eksploatacionih pokazatelja na utvrđivanje uticaja tipa potisnica nesimetričnog oblika trupa na radne karakteristike brodova-potiskivača

Potisnice nesimetričnog oblika trupa su nesamohodni brodovi za prevoz tereta u osnovi oblika pravougaonika, sa blagim zaobljenjima na njegovim temenima, kod kojih je krmni deo trupa potpuno vertikalno, dok potisnice na pramcu dobijaju oblik sanki. Potisnice ovog tipa na mestima sučeljavanja svojim krmnim delovima, u cilju obrazovanja potiskivanih sastava (npr. P+1+1, P+2+2, i td.), gotovo u potpunosti eliminišu prostor koji zauzima voda, usled čega može da se smatra da se radi o jedinstvenom plovnom objektu. Ovako oblikovani sastavi ostvaruju znatno bolje opstrujavanje vode tokom kretanja te iz tog razloga imaju manji ukupni otpor u poređenju sa sastavima koje čine potisnice simetričnog oblika jednakih geometrijskih karakteristika.

U eksperimentima koji su vršeni sa potisnicama nesimetričnog oblika trupa u realnim uslovima plovidbe, a koji su poslužili kao osnova za izradu ove teze, korišćene su dve vrste potisnica po nameni, i to: potisnice za prevoz suvih tereta (serije JRB71300, JRB71700, RBK71300 i RBK71700) i potisnice za prevoz tečnih tereta (JRB81200, JRB81500 i DL81500). Neophodno je istaći da glavne dimenzije potisnica serije JRB71300 u potpunosti odgovaraju glavnim dimenzijama potisnica serije JRB81200 što, takođe, važi i za serije potisnica JRB71700, JRB81500 i DL81500.

Tokom rada na doktoratu utvrđeno je da su sa potisnicama nesimetričnog oblika trupa tokom obavljanja ispitivanja u realnim uslovima plovidbe i sprovedenim eksperimentima učestvovali brodovi-potiskivači „Bukovik“, „Deligrad“, „Stolovi“, „Sloga“, „Kumanovo“, „Kadinjača“, „Kladovo“, „Truženik-I“, „Zlatibor“, „Kragujevac“ i „Karađorđe“. Uočeno je, takođe, da su brodovi-potiskivači tokom ispitivanja posedovali različite radne sposobnosti, što se najbolje vidi kroz vrednosti očitanih brojeva obrtaja propelerskih vratila i izmerene snage na vratilima, a pokazuje pomoću izračunatog koeficijenta prenosa snage, η_{pr} . Iz tog razloga, kada je to bilo neophodno, a u cilju dobijanja realnih vrednosti eksploatacionih pokazatelja rada brodova-potiskivača pristupilo se ujednačavanju rada pogonskih motora.

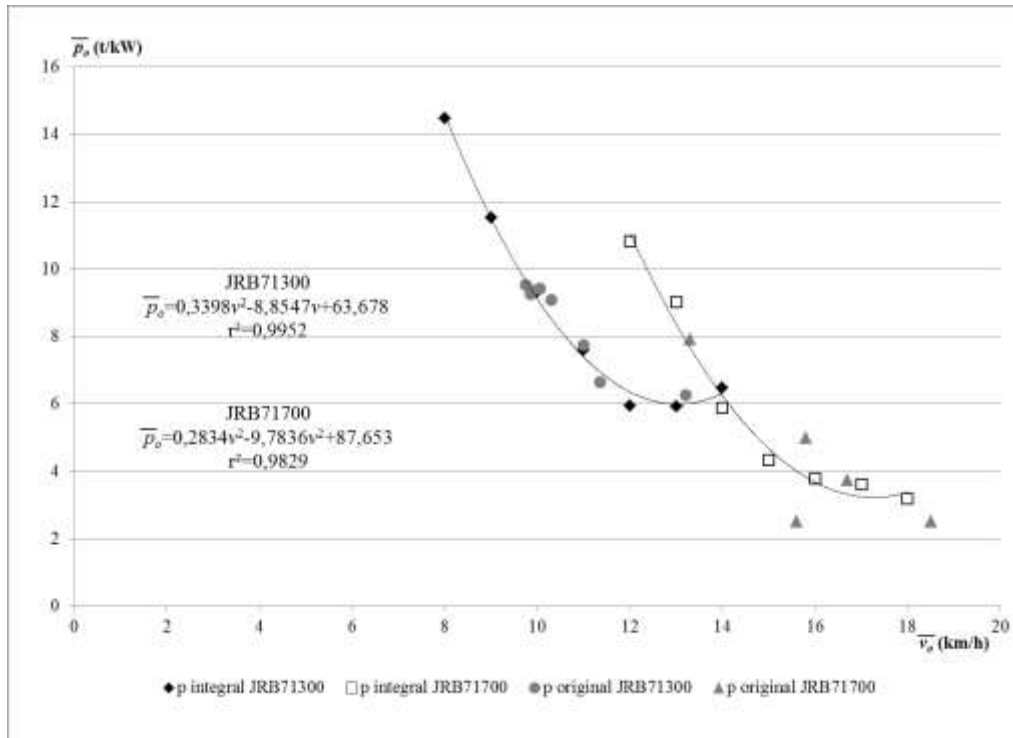
U prvoj analizi, tokom koje će se upoređivati eksploatacione karakteristike brodova-potiskivača i potiskivanih sastava različitih oblika koje čine potisnice nesimetričnog oblika trupa, pristupa se proučavanju usvijenih pokazatelja dve serije potisnica tipa JRB71300 i JRB71700/DL81500.

Grafički prikaz promene parametara eksploatacije brodova-potiskivača prilikom rada sa potisnicama tipa JRB71300 (brodovi „Bukovik“, „Deligrad“, „Stolovi“) i potisnica tipa JRB71700/DL81500 (brod „Sloga“) i to: statičkog opterećenja pogonskih motora \bar{P}_o , očekivane vrednosti rezultativnog pokazatelja u funkciji očekivane brzine plovidbe u odnosu na vodu $\bar{P}_{ro}(\bar{v}_o)$, kao i promene vrednosti rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja $\bar{P}_{ro}(\bar{p}_o)$ prikazan je na dijagramima, slike 7.35, 7.36 i 7.37. Neposredno pored grafičkog prikaza položaja tačaka koje označavaju izračunatu vrednost pokazatelja na osnovu originalnih podataka, na slikama se nalaze i jednačine trenda koje povezuju ovako izračunate vrednosti.

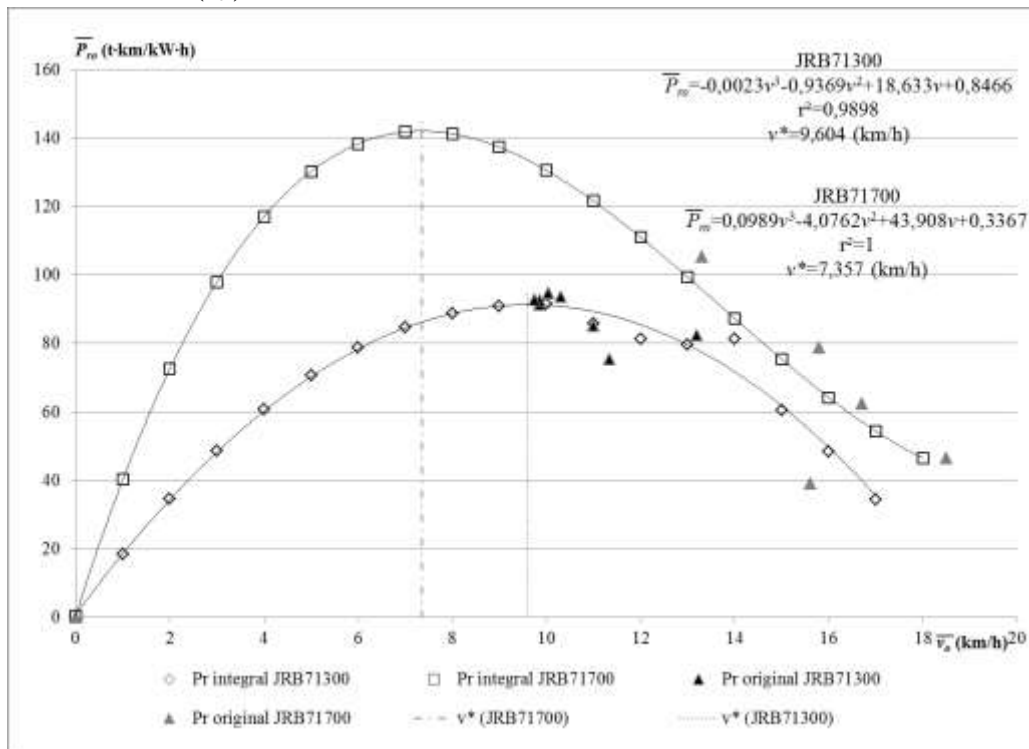
Upoređujući dijagrame promene rezultativnog pokazatelja $\bar{P}_{ro}(\bar{v}_o)$ brodova-potiskivača (slika 7.36) pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 i JRB 71700/DL81500 jasno se uočava nesumnjiva prednost rada sa potisnicama (i sastavima) većih nosivosti u odnosu na potisnice (i sastave) manjih nosivosti. Najveću očekivanu vrednost rezultativni pokazatelj ostvaruju brodovi pri radu sa potisnicama tipa JRB71700/DL81500 i to $\bar{P}_{ro} = 142,12$ tkm/kWh pri očekivanoj brzini plovidbe od $v^* = 7,357$ km/h, za razliku od rezultativnog pokazatelja koji se postiže pri radu sa potisnicama serije JRB71300, koji iznosi $\bar{P}_{ro} = 91,343$ tkm/kWh pri očekivanoj brzini plovidbe od $v^* = 9,604$ km/h.

Na slici 7.37 prikazani su uporedni dijagrami promene očekivane vrednosti rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja pogonskih motora, $\bar{P}_{ro}(\bar{p}_o)$, pri radu brodova sa potisnicama tipa tipa JRB71300 i JRB71700/DL81500. I ovom prilikom očigledna je prednost rada sa potisnicama (i sastavima) većih nosivosti u odnosu na potisnice (i sastave) manjih nosivosti. Najveća vrednost rezultativnog pokazatelja postiže se kada brodovi rade sa potisnicama tipa JRB71700/DL81500, koja iznosi $\bar{P}_{ro} = 107,927$ tkm/kWh pri

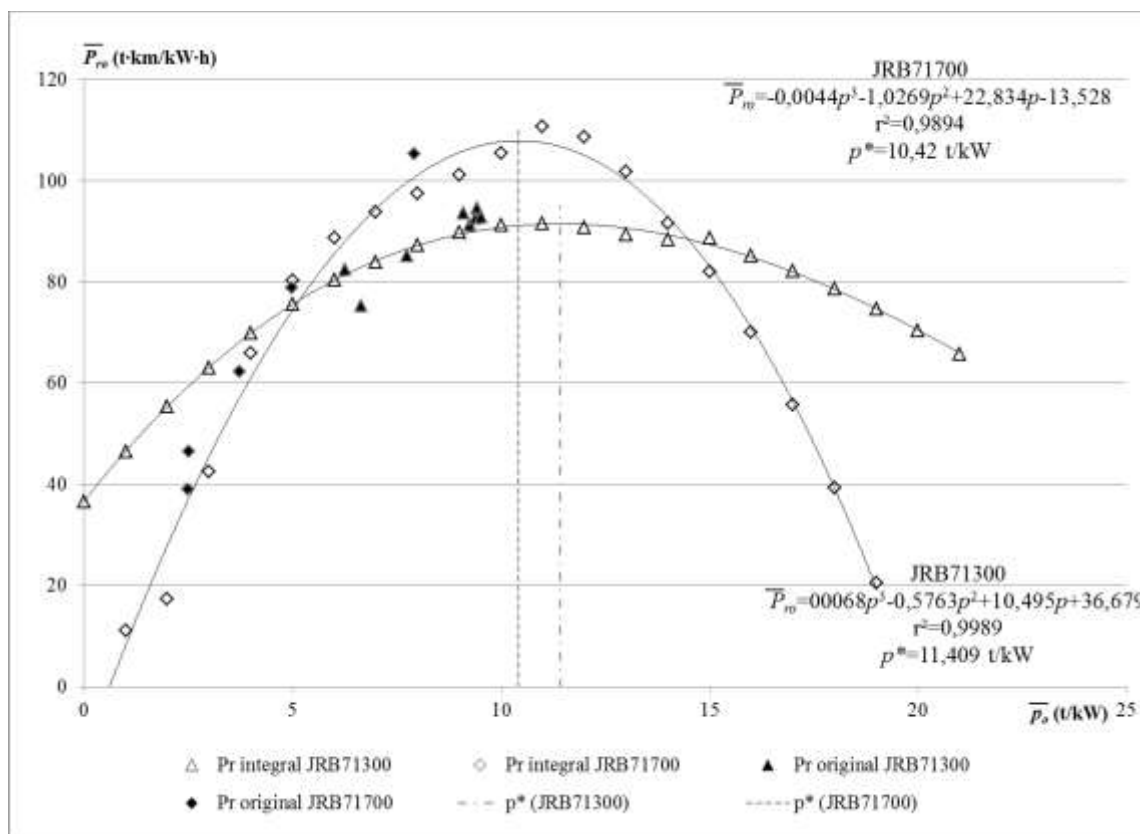
statičkom opterećenju motora od $p^*=10,41$ t/kW. Manju vrednost rezultativnog pokazatelja postižu brodovi pri radu sa potisnicama serije JRB71300 koja iznosi $\bar{P}_{ro} = 91,500$ tkm/kWh uz očekivanu vrednost opterećenja pogonskih motora od $p^*=11,409$ t/kW.



Slika 7.35 Uporedni dijagrami promene statičkog opterećenja pogonskih motora brodova-potiskivača $\bar{p}(\bar{v}_o)$ pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 i JRB71700



Slika 7.36 Uporedni dijagrami promene rezultativnog pokazatelja $\bar{P}_{ro}(\bar{v}_o)$ brodova-potiskivača pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 i JRB71700/DL81500 ($v^*_{JRB71300} = 9,604$ km/h; $v^*_{JRB71700} = 7,357$ km/h)



Slika 7.37 Upporedni dijagrami promene rezultatnog pokazatelja $\bar{P}_o(\bar{p}_o)$ za potisnice tipa JRB 71300 i JRB 71700/DL 81500 ($p^*_{JRB71700} = 10,42$ t/kW; $p^*_{JRB71300} = 11,409$ km/h)

Budući da su tokom ispitivanja brodova „Bukovik“, „Stolovi“ i „Deligrad“ kod svih oblika sklopova ustanovljeni koeficijenti prenosa snage manji od 0,95 opisanim postupkom pristupilo se ujednačavanju režima rada pogonskih motora na $\eta_{pr}=0,95$ i proračunu očekivanih vrednosti pokazatelja rada, što je izloženo u tabeli 7.91.

Tabela 7.91 Očekivane vrednosti pokazatelja koje ostvaruje brod „Deligrad“ pri radu sa sklopovima formiranih od potisnice tipa JRB71300 (deplasman $D=1470,68$ t, nosivost $Q_r=1242,00$ t)

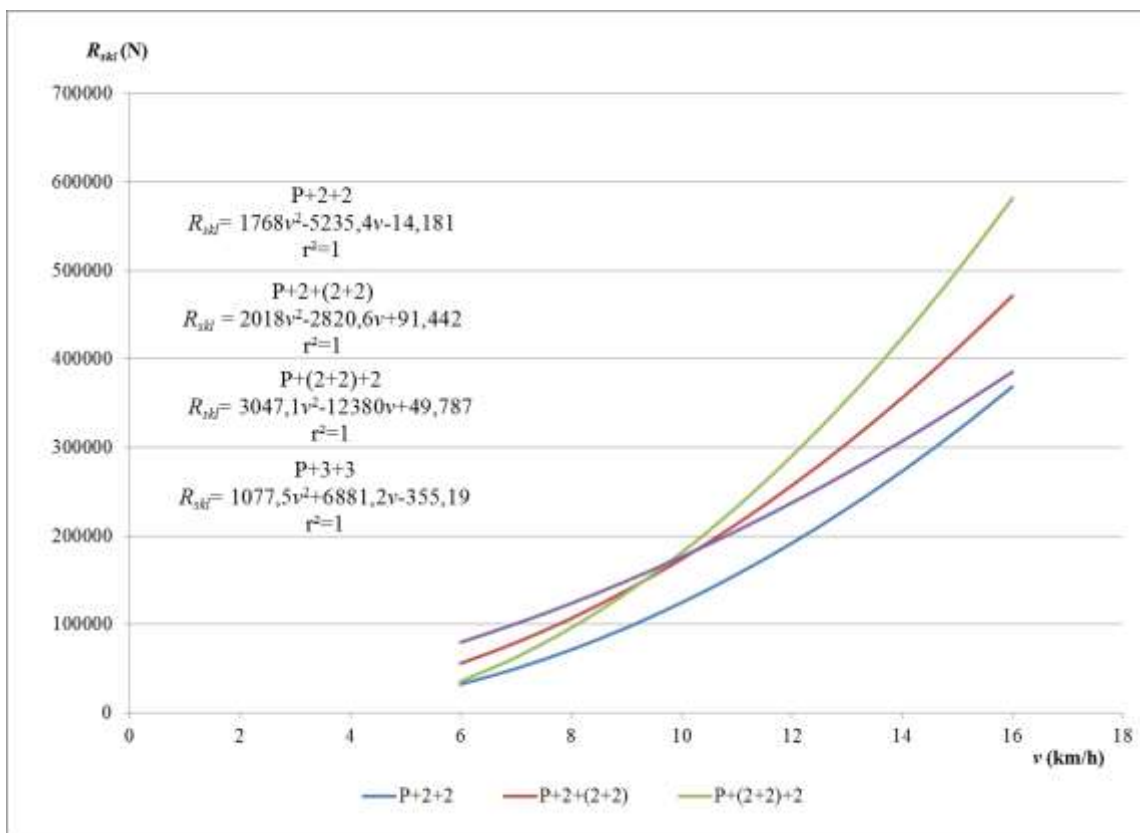
Oblik sklopa	$\Sigma \bar{N}_o$ (kW)	$\Sigma \bar{Q}_o$ (t)	\bar{v}_o (km/h)	\bar{p}_o (t/kW)	\bar{P}_o (tkm/kWh)
P+2+2	866,425	4.968,027	11,917	5,7339	68,3334
P+2+(2+2)	866,788	7.452,02	10,1332	8,5972	87,1176
P+(2+2)+2	866,415	7.452,02	10,1776	8,6009	87,5373
P+3+3	866,446	7.452,02	10,1123	8,6006	86,9726

Identičan postupak primenjen je prilikom proračuna očekivanih vrednosti pokazatelja rada posle ujednačavanja režima rada pogonskih motora broda-potiskivača „Sloga“ na nivo $\eta_{pr}=0,95$, što je prikazano u tabeli 7.92.

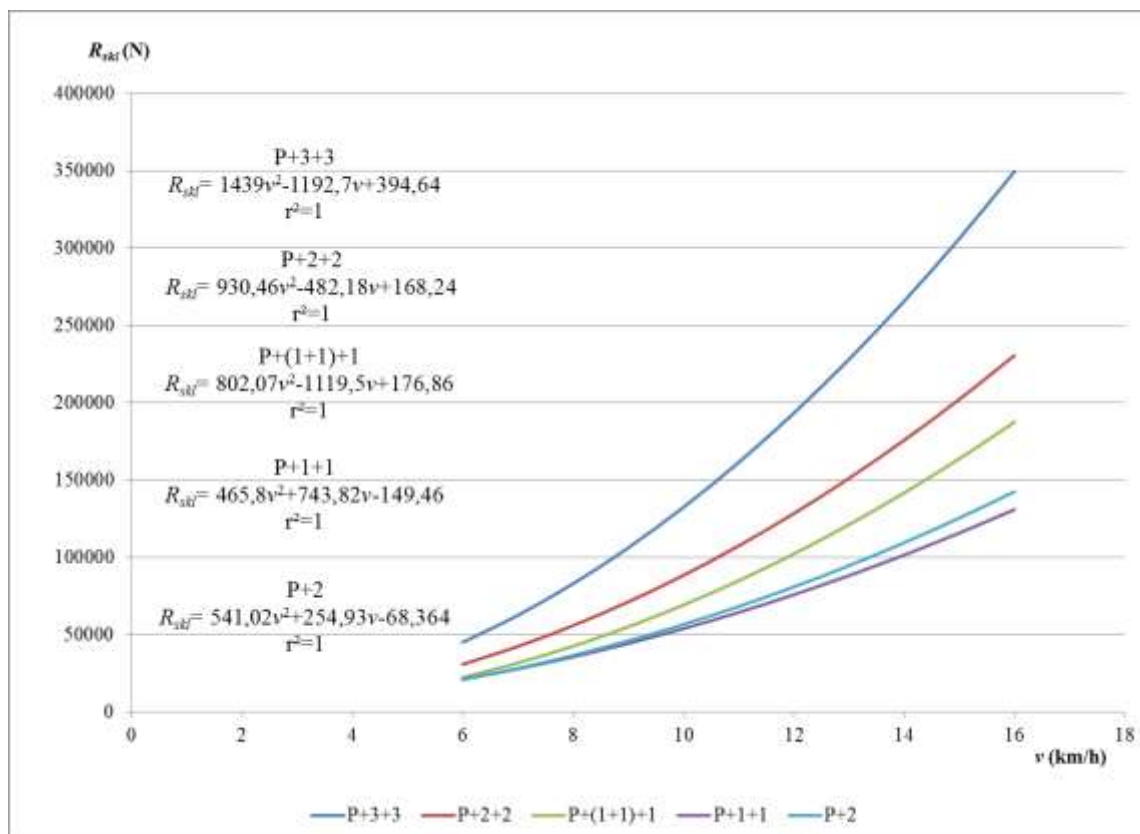
Tabela 7.92 Očekivane vrednosti pokazatelja koje ostvaruje brod „Sloga“ pri radu sa sklopovima formiranih od potisnica tipa JRB71700/DL81500 (deplasman $D=2020,018$ t, nosivost $Q_r=1729,94$ t)

Oblik sklopa	$\Sigma \bar{N}_o$ (kW)	$\Sigma \bar{Q}_o$ (t)	\bar{v}_o (km/h)	\bar{p}_o (t/kW)	\bar{P}_{ro} (tkm/kWh)
P+3+3	1342,6625	10.379,6496	13,4004	7,7306	103,5933
P+2+2	1342,6229	6.919,7664	15,9284	5,1539	82,0936
P+1+(1+1)	1342,6135	5.189,8248	16,8224	3,8654	65,0256
P+2	1342,6611	3.459,8832	15,7341	2,5768	40,5438
P+1+1	1342,6020	3.459,8832	18,6908	2,5769	48,1643

Kako bi se izvršila ocena pokazatelja kvaliteta tonaže (k_T), specifičnog otpora po nosivosti sastava (r_Q) i specifičnog otpora po deplasmanu sklopa (r_D) nužno je da se utvrde veličine ukupnih otpora potiskivanih sklopova (R_{skl}) za svaki od usvojenih i tokom eksperimenata ispitivanih oblika ponaosob. Iz tog razloga na slici 7.38. prikazani su dijagrami promene ukupnog otpora potiskivanih sklopova pri radu brodova-potiskivača sa potisnicama tipa JRB71300, dok su na slici 7.39. prikazani dijagrami promene ukupnog otpora potiskivanih sklopova pri radu brodova-potiskivača sa potisnicama tipa JRB71700/DL81500. Izračunate vrednosti pokazatelja rada po tipovima potisnica prikazane su u tabeli 7.93 i tabeli 7.94.



Slika 7.38 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih sklopova pri radu sa potisnicama tipa JRB71300



Slika 7.39 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih sklopova pri radu sa potisnicama tipa JRB71700/D 81500

Tabela 7.93 Prikaz izračunatih vrednosti kvaliteta tonaže (k_T), specifičnog otpora po deplasmanu (r_D) i specifičnog otpora po nosivosti (r_Q) za potisnice tipa JRB71300

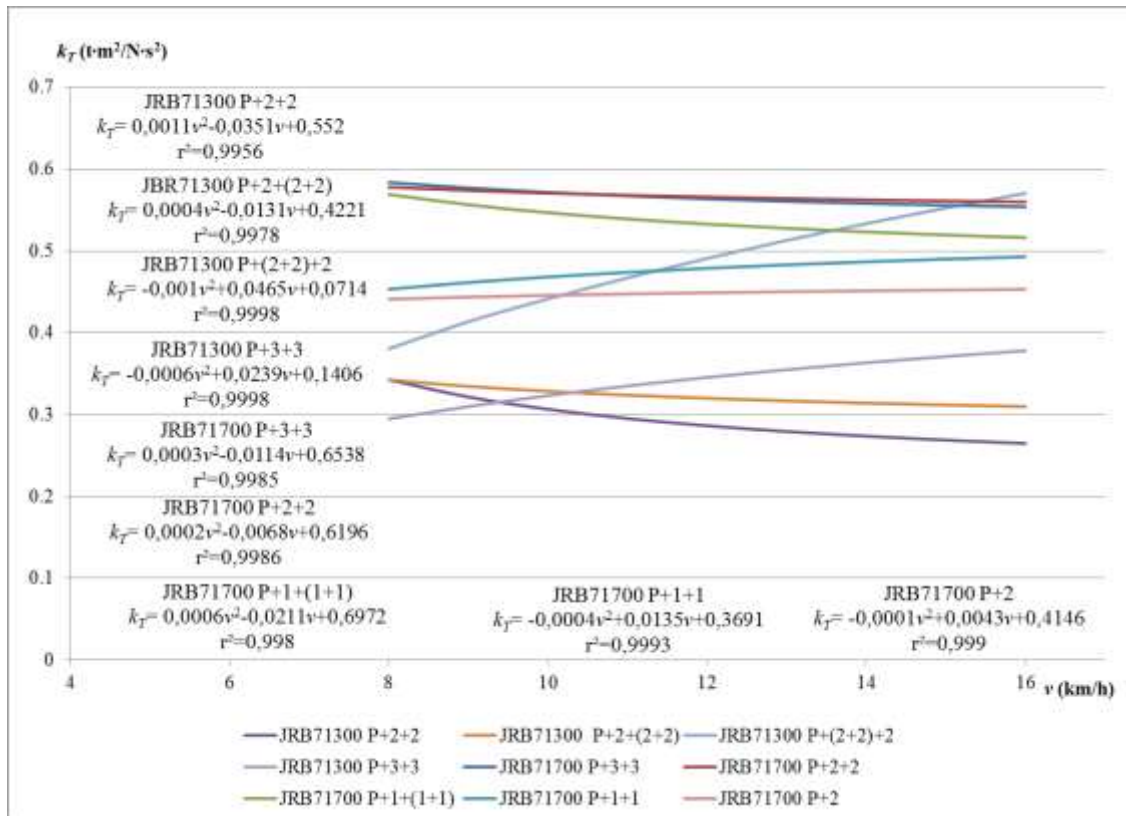
Oblik, nosivost i deplasman sklopa	v (km/h)	R_{skl} (N)	k_T $\frac{t \cdot m^2}{N \cdot s^2}$	r_Q (N/t _{nosiv.})	r_D (N/t _{deplas.})
P+2+2 $Q_{skl}=4968,018$ t $D_{skl}=6286,877$ t	8,0	81.725,419	0,3001	16,4503	12,9993
	10,0	124.431,819	0,3080	25,0465	19,7923
	12,0	191.753,019	0,2878	38,5974	30,5005
	14,0	273.218,219	0,2749	54,9954	43,4584
P+2+(2+2) $Q_{skl}=7396,018$ t $D_{skl}=9253,116$ t	8,0	106.678,642	0,3423	14,4237	11,5289
	10,0	173.685,442	0,3285	23,4836	18,7704
	12,0	256.836,242	0,3199	34,7262	27,7567
	14,0	356.131,042	0,3140	48,1517	38,4876
P+(2+2)+2 $Q_{skl}=7396,018$ t $D_{skl}=9253,116$ t	8,0	96.024,187	0,3803	12,9832	10,3774
	10,0	180.959,787	0,3153	24,4671	19,5566
	12,0	290.272,187	0,2831	39,2471	31,3702
	14,0	423.961,387	0,2638	57,3229	45,8182
P+3+3 $Q_{skl}=7396,018$ t $D_{skl}=9253,116$ t	8,0	123.654,410	0,2953	16,7190	13,3635
	10,0	176.206,810	0,3238	23,8245	19,0429
	12,0	237.379,210	0,3461	32,0955	25,6539
	14,0	307.171,610	0,3641	41,5320	33,1965

Tabela 7.94 Prikaz izračunatih vrednosti kvaliteta tonaže (k_T), specifičnog otpora po deplasmanu (r_D) i specifičnog otpora po nosivosti (r_Q) za potisnice tipa JRB71700/D 81500

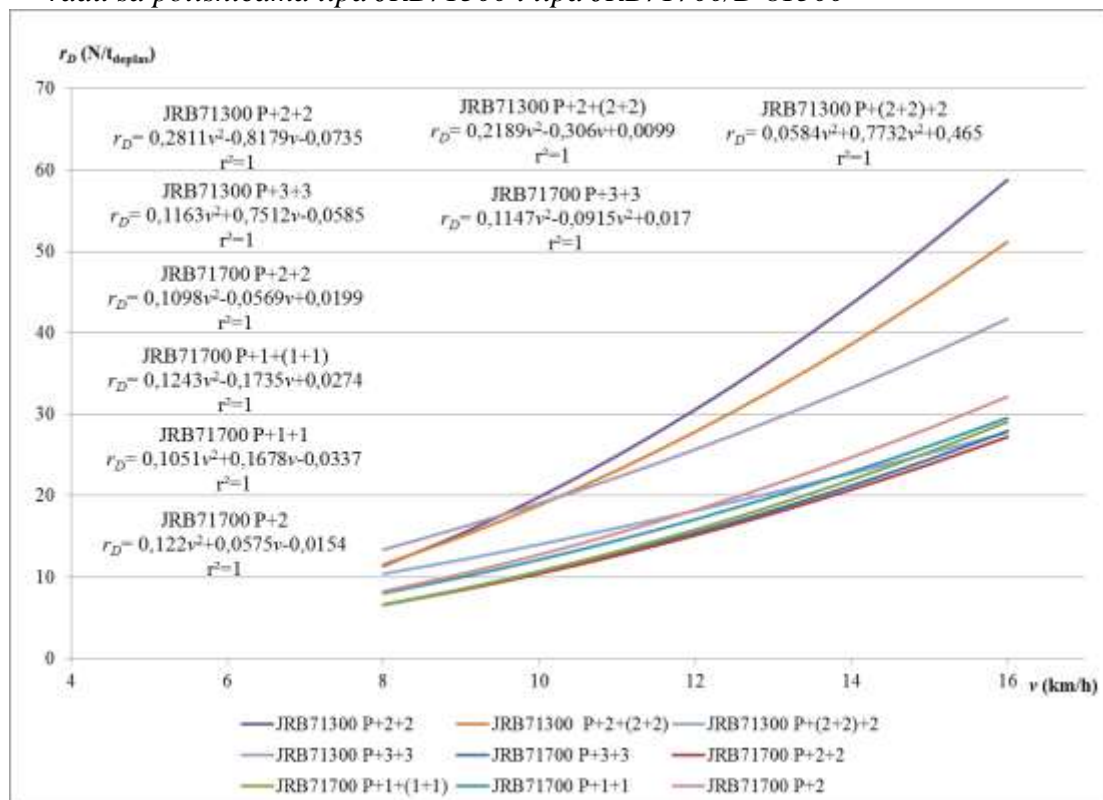
Oblik, nosivost i deplasman sklopa	v (km/h)	R_{skl} (N)	k_T $\frac{t \cdot m^2}{N \cdot s^2}$	r_Q (N/t _{nosiv.})	r_D (N/t _{deplas.})
P+3+3 $Q_{skl}=10379,64$ t $D_{skl}=12513,09$ t	8,0	82.949,04	0,6179	7,9915	6,6289
	10,0	132.367,64	0,6050	12,7526	10,5783
	12,0	193.298,24	0,5966	18,6228	15,4476
	14,0	265.740,84	0,5906	25,6021	21,2370
P+2+2 $Q_{skl}=6919,76$ t $D_{skl}=8473,07$ t	8,0	55.860,24	0,6117	8,0725	6,5926
	10,0	88.392,44	0,6040	12,7739	10,4321
	12,0	128.368,32	0,5989	18,5509	15,1501
	14,0	175.787,88	0,5952	25,4037	20,7466
P+1+(1+1) $Q_{skl}=5189,82$ t $D_{skl}=6453,05$ t	8,0	42.553,34	0,6022	8,1993	6,5942
	10,0	69.188,86	0,5787	13,3316	10,7218
	12,0	102.240,94	0,5639	19,7002	15,8438
	14,0	141.709,58	0,5538	27,3052	21,9601
P+2 $Q_{skl}=3459,88$ t $D_{skl}=4433,03$ t	8,0	36.596,36	0,4668	10,5773	8,2553
	10,0	56.582,94	0,4717	16,3540	12,7639
	12,0	80.897,68	0,4751	23,3816	18,2488
	14,0	109.540,58	0,4776	31,6602	24,7101
P+1+1 $Q_{skl}=3459,88$ t $D_{skl}=4433,03$ t	8,0	35.612,30	0,5289	10,2929	8,0333
	10,0	53.868,74	0,4955	15,5695	12,1516
	12,0	75.851,58	0,5068	21,9231	17,1105
	14,0	101.560,82	0,5151	29,3538	22,9100

Na osnovu izračunatih vrednosti pokazatelja kvaliteta tonaže (k_T) i pokazatelja specifičnog otpora po jedinici deplasmana (r_D) ispitivanih potiskivanih sklopova koje čine dunavski potiskivači "Deligrad" i "Sloga" i odgovarajući sastavi formirani od potisnica tipa JRB71300 i JRB71700/DL81500 konstruisani su dijagrami promene navedenih pokazatelja u funkciji brzine plovidbe u odnosu na vodu (v), što je prikazano na slikama 7.40 i 7.41.

Analizom dijagrama za oblast brzina plovidbe u mirnoj vodi od 10,0 do 12,0 km/h, slika 7.40, jasno se uočava prednost sklopova koje čine potisnice tipa JRB71700/DL81500 (čiji pojedinačni deplasman iznosi $D=2020,0$ t, a registrovana nosivost $Q_r=1729,94$ t) oblika P+3+3 ($Q_{skl}=10.379,64$ t) i sklopa P+2+2 istog tipa potisnica ($Q_{skl}=6919,76$ t), a potom sklopa P+1+(1+1) istih potisnica, ukupne nosivosti $Q_{skl}=5189,82$ t. Najmanju vrednost, u istom opsegu brzina plovidbe, pokazatelj k_T postiže kod sklopa oblika P+2+2 koji poseduje nosivost $Q_{skl}=4968,018$ t – što je potpuno u skladu sa veličinim otpora po jedinici deplasmana sklopa. Ovom prilikom potrebno je istaći razliku koja se pojavljuje prilikom upoređivanja sklopova oblika P+(2+2)+2 i oblika P+2+(2+2) – jednake nosivosti ($Q_{skl}=7396,018$ t) i koji se po izgledu gotovo ne razlikuju. U prvom slučaju koeficijent kvaliteta, pri brzini plovidbe, na primer, $v=12,0$ km/h iznosi $k_{T(P+(2+2)+2)}=0,4854$, dok pri istoj brzini plovidbe koeficijent kvaliteta drugog oblika iznosi $k_{T(P+2+(2+2))}=0,3225$, što je za 50,5% više.



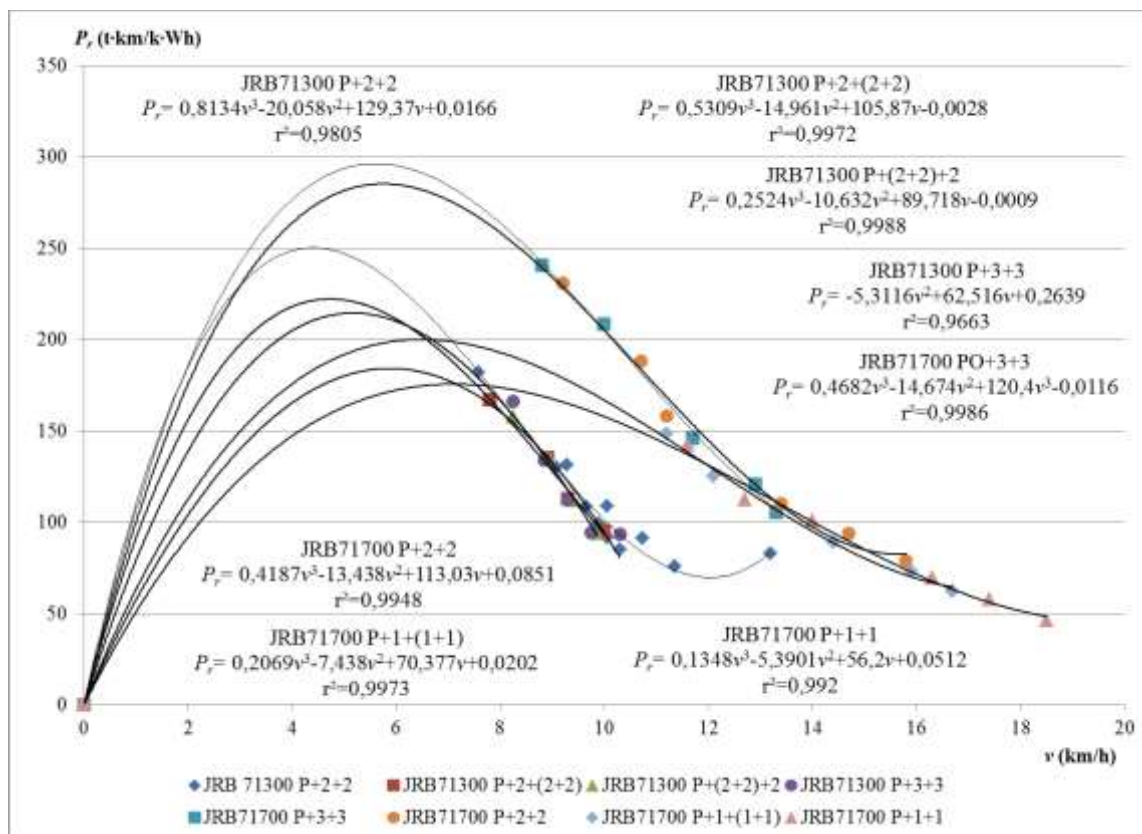
Slika 7.40 Uporedni (zajednički) dijagrami promene pokazatelja kvaliteta tonaže (k_T) pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 i tipa JRB71700/D 81500



Slika 7.41 Uporedni (zajednički) dijagrami promene pokazatelja specifičnog otpora po jedinici deplasmana sklopa (r_D) pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 i tipa JRB71700/DL81500

Najveću vrednost specifičnog otpora po jedinici deplasmana ostvaruje sklop oblika P+2+2 (nosivosti $Q_{skl}=4968,018$ t), i koji, istovremeno postiže najmanju vrednost pokazatelja kvaliteta tonaže, $k_{T(P+2+2)}=0,2748$. Specifični otpor ovog oblika, pri brzini plovidbe $v=12,0$ km/h, jednak je $r_{D(P+2+2)}=30,5901$ N/t_{depl.}. Potom, po veličini specifičnog otpora, za istu brzinu plovidbe, sledi potiskivani sklop oblika P+2+(2+2) koji iznosi $r_{D(P+2+(2+2))}=27,8595$ N/t_{depl.}. Najmanje vrednosti specifičnog otpora po deplasmanu, gotovo identične po intenzitetu, ostvaruje više sklopova, i to: P+3+3 ($Q_{skl}=10.379,64$ t), P+(2+2)+2 ($Q_{skl}=7396,018$ t) što je u potpunom skladu sa pokazateljem kvaliteta tonaže, pri čemu najmanju vrednost postiže sklop oblika P+2+2 nosivosti $Q_{skl}=6919,76$ t. Zanimljivo je, takođe, uporediti intenzitete specifičnog otpora sklopova oblika P+2+(2+2) i oblika P+(2+2)+2, koji iznose: $r_{D(P+2+(2+2))}=27,8595$ N/t_{depl.}, a $r_{D(P+(2+2)+2)}=18,153$ N/t_{depl.}, što je za 53,47% više od prvog.

Na slici 7.42. prikazani su uporedni dijagrami promene rezultativnog pokazatelja $P_r(v)$ pri radu brodova-potiskivača sa sklopovima formiranim od potisnica tipa JRB71300 i tipa JRB71700/D 81500.



Slika 7.42 Uporedni dijagram promene rezultativnog pokazatelja $P_r(v)$ pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 i tipa JRB71700/DL81500

Bez svake sumnje, u rasponu brzina plovidbe od 8,0 do 14,0 km/h, najveće vrednosti rezultativni pokazatelj ostvaruje kada brodovi rade u sklopu oblika P+3+3 ($Q_{skl}=10.379,64$ t) i P+2+2 ($Q_{skl}=6919,76$ t), kada postižu gotovo identične rezultate (na dijagramu, krive koje opisuju promenu rezultativnog pokazatelja praktično se preklapaju). U istom rasponu brzina,

sledeći najbolji rezultat postiže se pri radu brodova u sklopu oblika P+(2+2)+2 čija ukupna nosivost iznosi $Q_{skl}=7396,018$ t.

7.5.3 Primena eksploatacionih pokazatelja na utvrđivanje uticaja uslova plovidbe na radne karakteristike brodova-potiskivača

Pažljivom analizom rezultata eksperimenata obavljenih sa brodovima naših brodarskih kompanija, što je opisano u potpoglavlju 7.4, uočava se da su sva ispitivanja potiskivanih sklopova u realnim uslovima plovidbe obavljena na Dunavu, na onim mestima koja su, zbog svojih karakteristika, posebno odabrana za obavljanje složenih postupaka koje postavljaju uslovi eksperimenta. Do početka izrade ovog doktorata obavljeno je ukupno 69 eksperimenata sa brodovima-potiskivačima i potiskivanim sastavima naših brodarskih kompanija u realnim uslovima plovidbe. Od ukupnog broja eksperimenata 42 eksperimenta (ili 61,76%) su obavljena u sektoru koji se nalazi u zoni vodomerne stanica Smederevo (od km 1080 do km 1120 reke Dunav), dok su preostala ispitivanja obavljena u sektoru Gornjeg, Srednjeg i Donjeg Dunava, koji se značajno razlikuju po svojim plovidbenim uslovima.

Različite dimenzije plovnog puta, plovidbene prepreke i brzina rečnog toka na pojedinim delovima Dunava uslovi su njegovu podelu na sektore, mada navedeni sektori i podsektori nisu međusobno strogo razgraničeni, međutim oni, ipak, imaju posebne karakteristike i specifičnosti za plovidbu što je i uslovalo ovu podelu (Commission du Danube (1990 a)).

Sektor Gornjeg Dunava, koji se proteže od Ulma do Komorana (od km 2588 do km 1767), prema specifičnosti plovidbenih uslova deli se na podsektore: Ulm (km 2588)÷Regenzburg (km 2379), Regenzburg (km 2379)÷Pasau (2226), Pasau (2226)÷Linz (km 2135), Linz (km 2135)÷Beč (km 1927) i Beč (km 1927)÷Komoran (km 1767). Deo Gornjeg Dunava, onaj njegov deo koji je predviđen za odvijanje međunarodne plovidbe, ima sve karakteristike planinske reke i veliku brzinu rečnog toka, malu širinu rečnog korita, ograničenu dubinu plovnog puta, veliki broj oštih krivina i druge prepreke. Na ovom sektoru izgrađeno je 12 ustava sa brodskim prevodnicama za propuštanje plovila i izveden veliki broj drugih regulacionih radova, ali njihov raspored za sada još ne omogućuje neprekidnu plovidbu već je ona uslovljena različitim ograničenjima, kao što su zabrana noćne plovidbe, veličina i gaz sastava i td. Na primer, na podsektoru Regenzburg÷Pasau, u zavisnosti od vodostaja uzvodni potiskivani sklopovi mogu da se sastoje od potiskivača i dve potisnice postavljene u jednom uzdužnom redu, ukupne dužine od 185 m i širine 12 m (sklop oblika P+1+1). Nizvodni potiskivani sklopovi mogu, zavisno od vodostaja, imati najveću dužinu do 110 m, a širinu do 21 m (sklop oblika P+2). Na podsektoru Pasau÷Linz oblik i veličina potiskivanih sklopova isti je kao i na podsektoru Regenzburg÷Pasau. Uzvodni sklopovi na podsektoru od Linca do Beča mogu da imaju četiri potisnice postavljene u formaciju P+2+2.

Nizvodni sklopovi mogu imati isti oblik ukoliko to nije posebnim naredbama drugačije regulisano. Na podsektoru Beč-Komorana veličina uzvodnih potiskivanih sklopova, takođe, je uslovljena visinom vodostaja, tako da dužina sklopa ne može biti veća do 185 m. a širina ne veća od 22 m., čime je definisan oblik sklopa P+2+2.

Sektor Srednjeg Dunava, koji se proteže od Komorana (km 1767) do Prahova (km 860) deli se na podsektore: Komoran (km 1767)-Budimpešta (km 1647), Budimpešta (1647)-Beograd (km 1170) i Beograd (1170)-Prahovo (km 860). Ovaj sektor, prema karakteristikama rečnog korita i režima kretanja vode, pokazuje osobine kojima se odlikuju nizijske reke. Korito reke je krivudavo, a razlikuje se od Gornjeg Dunava po tome što ima veće širine (npr., do Budimpešte – do 400 m, a nizvodno od Budimpešte do 600 m) i promenljive dubine. Na podsektoru Srednjeg Dunava uzvodni potiskivani sklopovi mogu imati, osim broda-potiskivača, još devet potiskivanih teretnjaka, sa najvećom dužinom od 300 m i širinim do 33 m (sklop oblika P+3+3+3). Potiskivani sklopovi u nizvodnom kretanju, uključujući i potiskivač, ne smeju biti duži od 175 m niti širi od 50 m (sklop oblika P+4+4). Na podsektoru od Beograda do Prahova, kako u uzvodnoj tako i nizvodnoj plovidbi, nema ograničenja u veličini potiskivanih sklopova (osim pri prolasku kroz prevodnice u Đerdapu).

Na sektoru Donjeg Dunava, koji se proteže od Prahova (km 860) do Suline (km 0.0) razlikuju se tri podsektora prema uslovima plovidbe, i to: Prahovo (km 860)-Đurđu (km 493), Đurđu (km 493)-Braila (km 170) i Braila (km 170)- Sulina (km 0.0). Sektor Donjeg Dunava na celoj dužini ima relativno povoljne uslove za odvijanje plovidbe u periodu visokih i srednjih vodostaja. U periodu niskih vodostaja postoji jedan broj prepreka koje ograničavaju dimenzije sklopova i veličinu gaza. I pored toga, dimenzije plovnog puta na Donjem Dunavu omogućuju plovidbu sklopova čija veličina zavisi samo od snage pogonskih motora broda-potiskivača. Potiskivani sklopovi u uzvodnoj plovidbi mogu da imaju dužinu i do 300 m, a širinu do 40 m (npr. sklop oblika P+4+4+4), dok u nizvodnoj plovidbi dužine mogu biti do 250 m, a širine do 50 m (npr. sklop oblika P+5+5).

7.5.3.1 Primena eksploatacionih pokazatelja na utvrđivanje uticaja uslova plovidbe na radne karakteristike brodova-potiskivača na Srednjem i Gornjem Dunavu

Na sektorima Srednjeg i Gornjeg Dunava eksperimenti u realnim uslovima plovidbe obavljani su (kada su u pitanju naša broderska preduzeća) samo sa brodom-potiskivačem „Kadinjača“ ($\Sigma N_i = 3 \times 809,6 = 2428,8$ kW) i sastavima koji su zajedno činili potiskivane sklopove određenih karakteristika.

Eksperimenti su započeli sa sklopom oblika P+3+3+3. Prva ispitivanja obavljena su na delu Dunava od km 1666 do km 1678, pri dubini u plovnom putu od 6,0 do 10,0 m, pri radu sva tri pogonska motora potiskivača ($\Sigma N_e = 1676,5$ kW). Srednji gaz potisnica u sklopu iznosio je $\bar{T}_e = 2,070$ m, pri čemu pokazatelj iskorišćenja nosivosti ima vrednost $\bar{\varepsilon}_{sast} = 0,8557$ t/t_n.

U nastavku slede ispitivanja sklopa istog oblika i identičnih osobenosti, na delu Dunava od km 1686 do km 1693, pri dubini u plovnom putu od 6,5 m do 8,5 m, i pri radu samo levog i desnog pogonskog potora ($\Sigma N_e=1080,2$ kW).

Ispitivanja su nastavljena sa sklopom koji se sastojao od šest potiskivanih teretnjaka, oblika P+2+2+2. Eksperimenti u slučaju kada je potiskivač radio sa sva tri pogonska motora ($\Sigma N_e=1691,4$ kW) obavljani su na delu Dunava od km 1702 do km 1710, pri dubini u plovnom putu od 6,2 m do 10,0 m. Srednji gaz potisnica u sklopu iznosio je $\bar{T}_e = 2,099$ m pri kojem pokazatelj iskorišćenja nosivosti postiže vrednost $\bar{\varepsilon}_{sast} = 0,869$ t/t_n. Sledi eksperiment sa sklopom istog oblika i identičnih karakteristika pri radu samo levog i desnog pogonskog potora ($\Sigma N_e=973,4$ kW), na delu Dunava od km 1712 do km 1716, pri dubini u plovnom putu od 6,5 do 9,2 m.

U nastavku slede ispitivanja sa sklopom oblika P+2+2, i to:

- ▶ pri radu sva tri pogonska motora broda ($\Sigma N_e=1726,9$ kW), na delu Dunava od km 1827 do km 1834, pri dubinama od 6,1 do 8,5 m. Srednji gaz potisnica u sklopu iznosio je $\bar{T}_e = 2,087$ m, tako da pokazatelj iskorišćenja nosivosti iznosi $\bar{\varepsilon}_{sast} = 0,87705$ t/t_n;

- ▶ pri radu levog i desnog pogonskog motora ($\Sigma N_e=1100,6$ kW) na delu Dunava od km 2061 do km 2071 (neposredno uzvodno od prevodnice Ibs), pri dubini od oko 20,0 m; ostali podaci kao u prethodnom ispitivanju;

- ▶ ispitivanja ovog sklopa obavljena na istoj poziciji kao prethodna, pri radu broda sa tri pogonska motora ($\Sigma N_e=1726,9$ kW), pri srednjoj dubini od oko 15,5 m.

Na kraju, obavljena su ispitivanja broda-potiskivača pri radu u sklopu oblika P+2, i to:

- ▶ pri plovidbi, na delu Dunava od km 2020 do km 2040, pri srednjoj dubini od 12,0 m, kada su na brodu radila sva tri pogonska motora ($\Sigma N_e=1723,0$ kW); srednji gaz potisnica u sklopu iznosio je $\bar{T}_e = 2,071$ m pri kojem pokazatelj iskorišćenja nosivosti iznosi $\bar{\varepsilon}_{sast} = 0,79205$ t/t_n;

- ▶ pri plovidbi na delu Dunava od km 2010 do km 2016, pri srednjoj dubini od oko 12,0 m, kada su na brodu radili samo levi i desni motor ($\Sigma N_e=1113,2$ kW); ostali podaci kao u prethodnom ispitivanju.

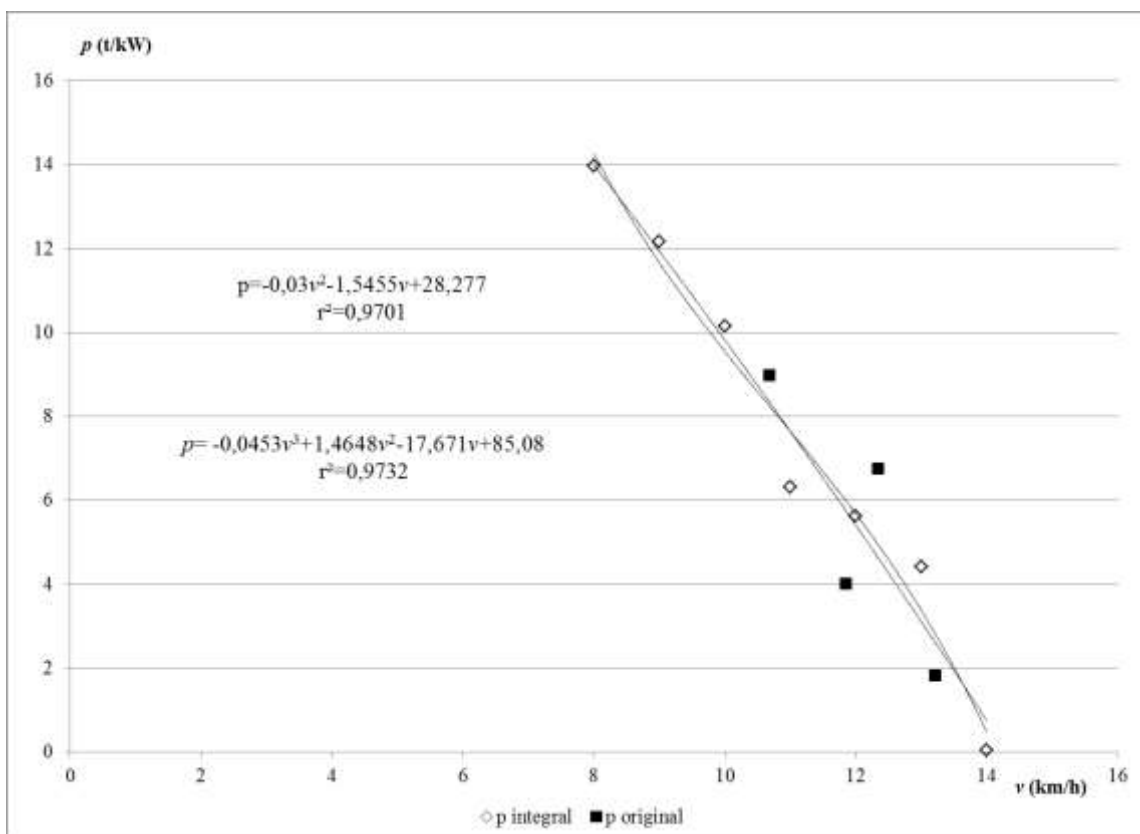
Iz izloženog vidi se da su ispitivanja broda-potiskivača „Kadinjača“ sa navedenim sklopova u realnim uslovima plovidbe na Dunavu obavljena, upravo, onako kako to propisuju pravila plovidbe u pogledu veličine potiskivanih sklopova.

Rezultati izračunatih vrednosti eksploatacionih pokazatelja razvrstani su u dve grupe, i to, prvo, za slučaj kada je potiskivač tokom eksperimenata radio sa dva pogonska motora i, drugo, kada je potiskivač tokom eksperimenata radio sa tri pogonska motora. Na dijagramu, slika 7.43. prikazana je promena pokazatelja statičkog opterećenja pogonskih motora – $p(v)$ u funkciji brzine plovidbe, na dijagramu (slika 7.44.) prikazana je promena rezultativnog pokazatelja u funkciji brzine plovidbe $P_r(v)$ dok je na dijagramu slika 7.45. prikazana

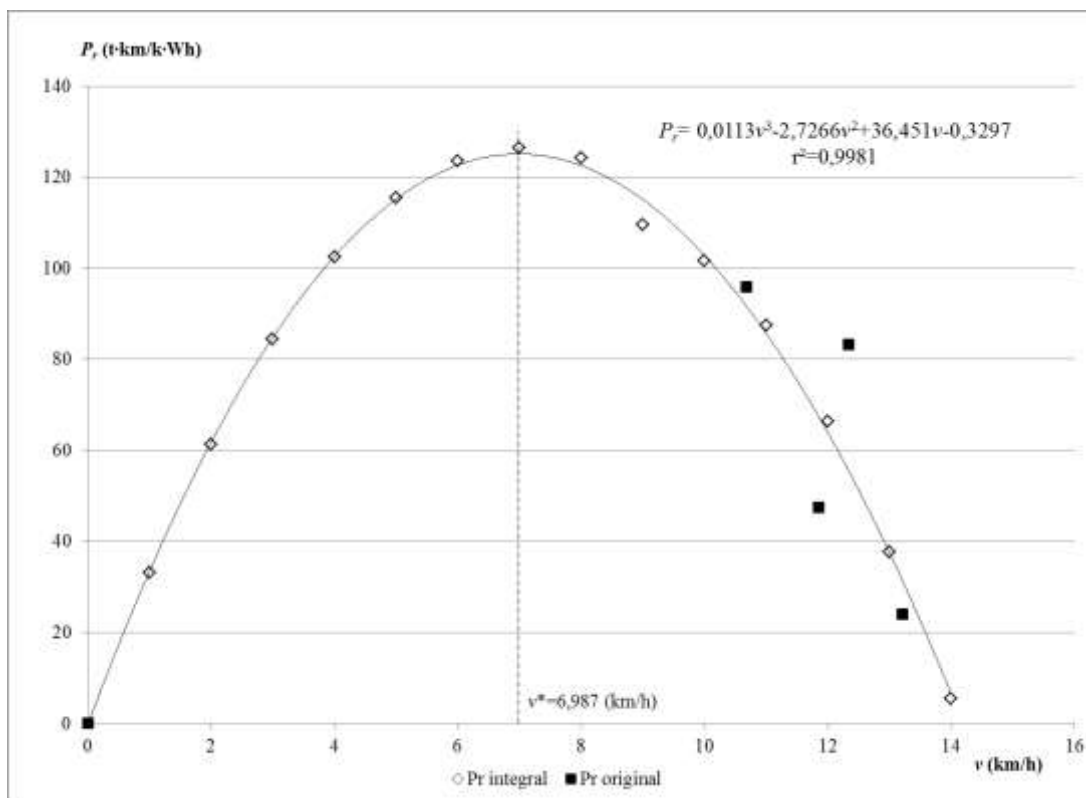
promena rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja pogonskih motora $P_r(p)$, sve za slučaj kada potiskivač radi sa dva pogonska motora.

Proračun pokazuje da rezultativni eksploatacioni pokazatelj $P_r(v)$, postiže najveću vrednost koja iznosi $P_r(v)=125,1001$ tkm/kWh pri brzini plovidbe od $v=6,987\approx 7,0$ km/h u odnosu na vodu. Isto tako, proračunom veličine eksploatacionog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja pogonskih motora $P_r(p)$, dobija se da ovaj pokazatelj postiže najveću vrednost koja iznosi $P_r(p)=125,5574$ tkm/kWh uz statičko opterećenje od $p=16,35$ t/kW. Kada se primeni funkcija oblika $p(v)=-0,0453\cdot v^3+1,4648\cdot v^2-17,671\cdot v+85,08$, za $v=6,987$ km/h sledi veličinastatičkog opterećenja pogonskih motora $p_{v=6,987}=17,670$ t/kW, što je nezatno veće (za 8,073%) u odnosu na vrednost $p=16,35$ t/kW. Uočljiva je vrlo mala brzina plovidbe u odnosu na vodu ($v=6,987$ km/h), kao i veoma visoka vrednost statičkog opterećenja pogonskih motora, $p=16,35$ t/kW – što nije poželjno nijedno od tih rešenja.

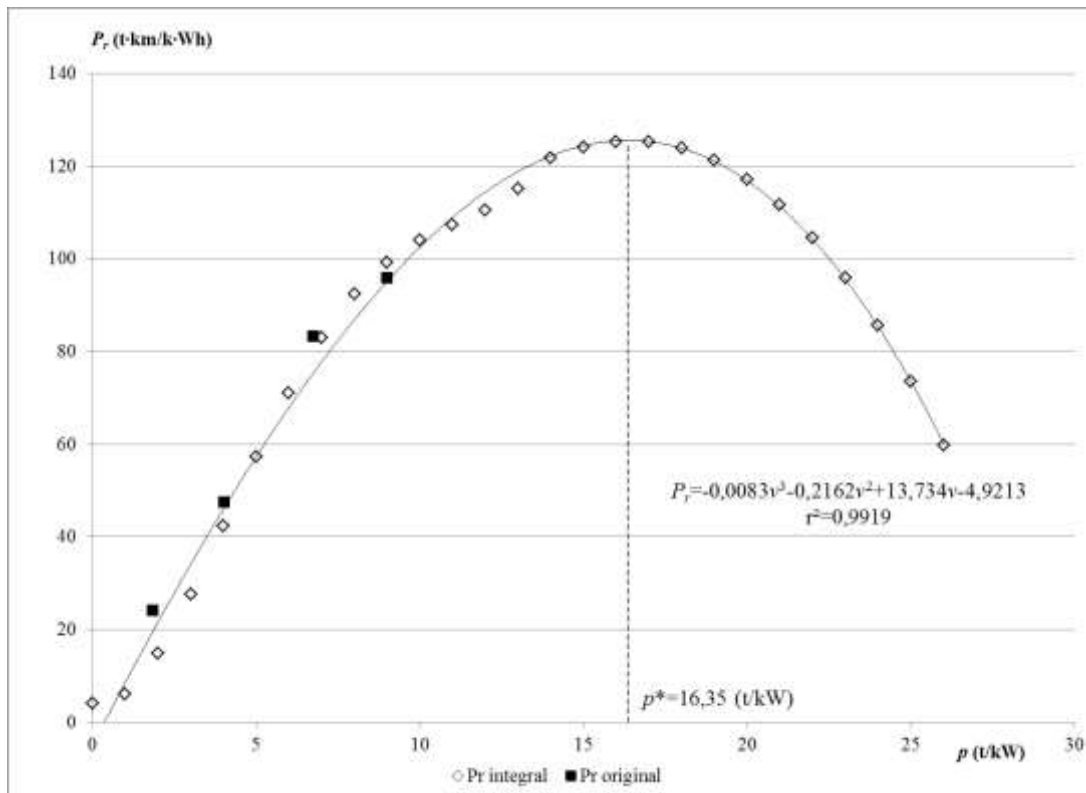
Na dijagramima, slika 7.46. prikazana je promena pokazatelja statičkog opterećenja pogonskih motora – $p(v)$ u funkciji brzine plovidbe, na dijagramu (slika 7.47.) prikazana je promena rezultativnog pokazatelja u funkciji brzine plovidbe $P_r(v)$ dok je na dijagramu slika 7.48. prikazana promena rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja pogonskih motora $P_r(p)$, sve za slučaj kada potiskivač radi sa tri pogonska motora.



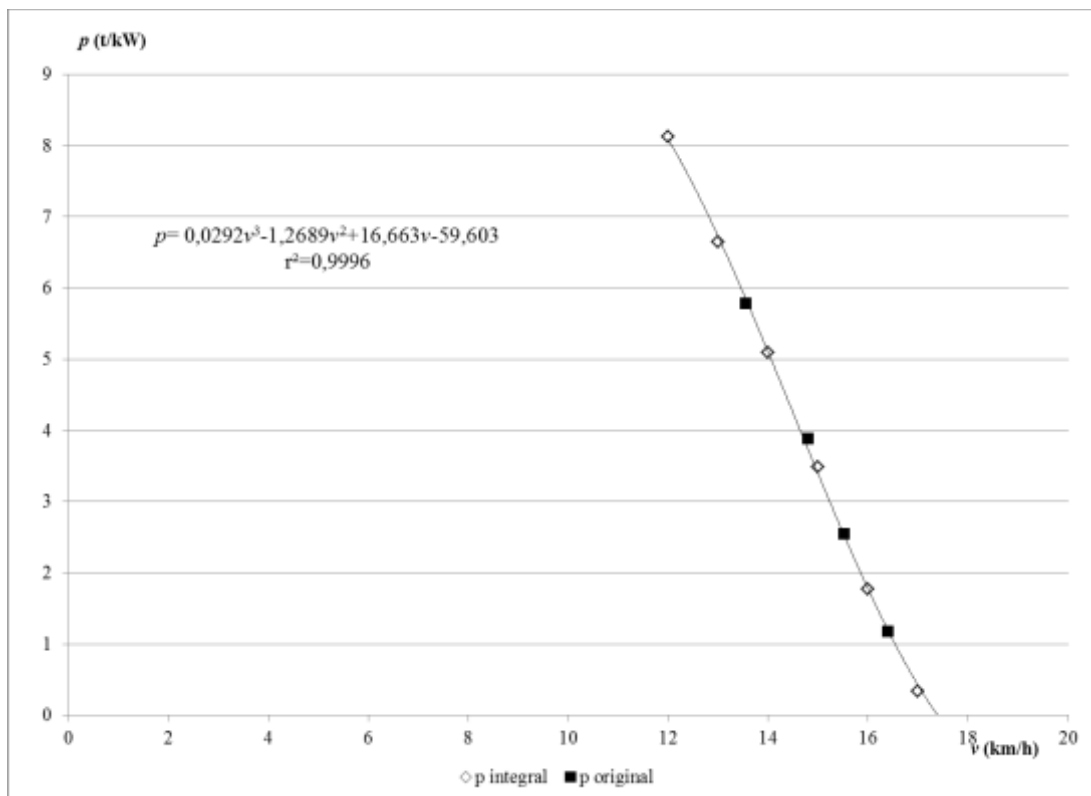
Slika 7.43 Dijagram promene statičkog opterećenja pogonskih motora broda-potiskivača $p(v)$ pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 na Srednjem Dunavu – slučaj kada potiskivač radi sa dva pogonska motora



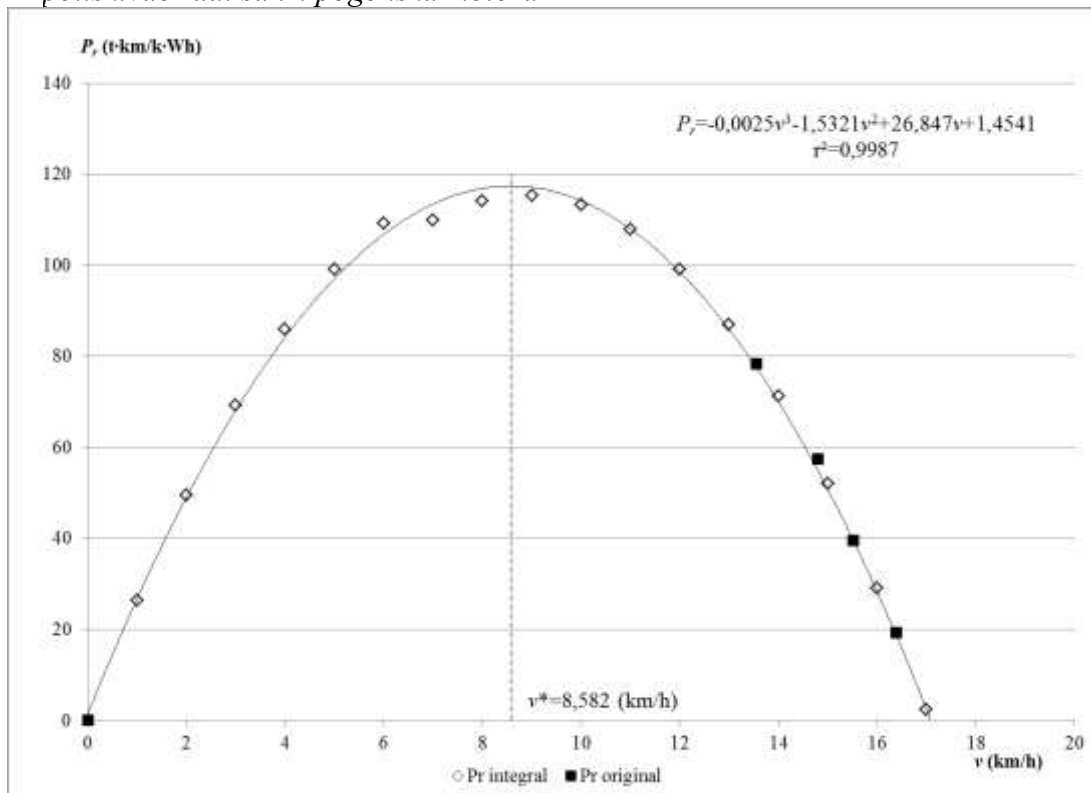
Slika 7.44 Dijagram promene rezultativnog pokazatelja broda-potiskivača $P_r(v)$ pri radu sa potisnicama tipa JRB 71300 na Srednjem Dunavu – slučaj kada potiskivač radi sa dva pogonska motora



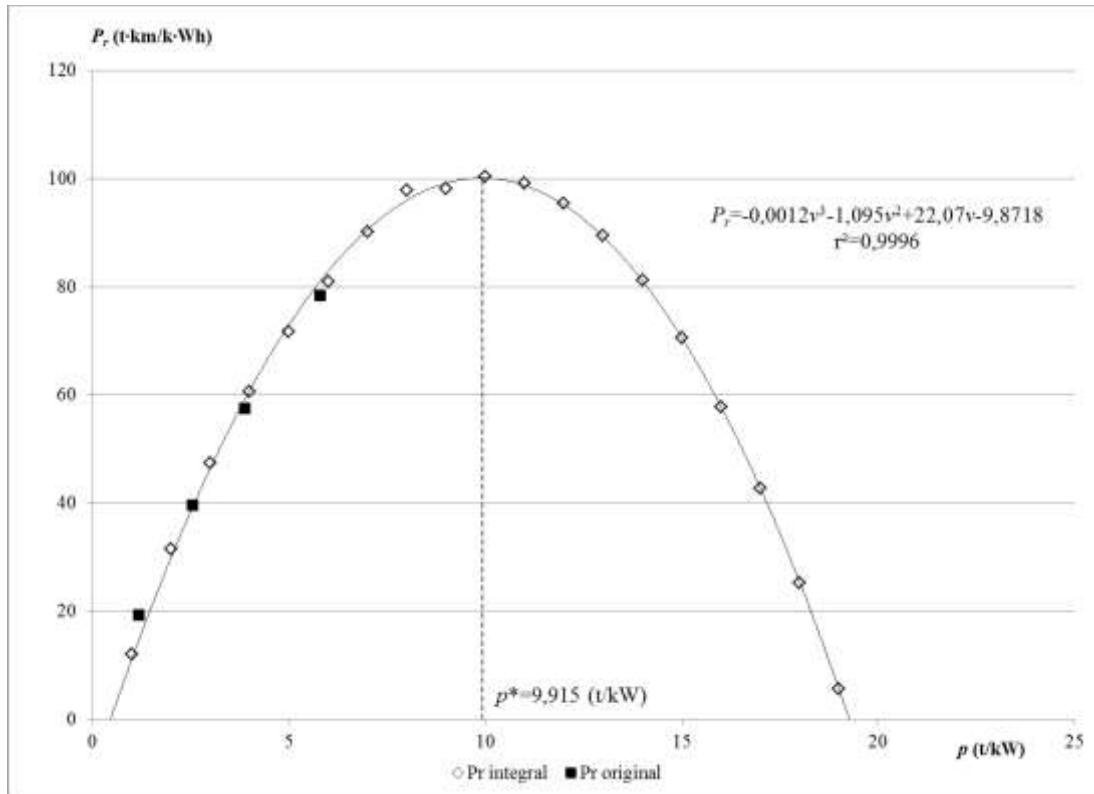
Slika 7.45 Dijagram promene rezultativnog pokazatelja broda-potiskivača $P_r(p)$ pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 na Srednjem Dunavu – slučaj kada potiskivač radi sa dva pogonska motora



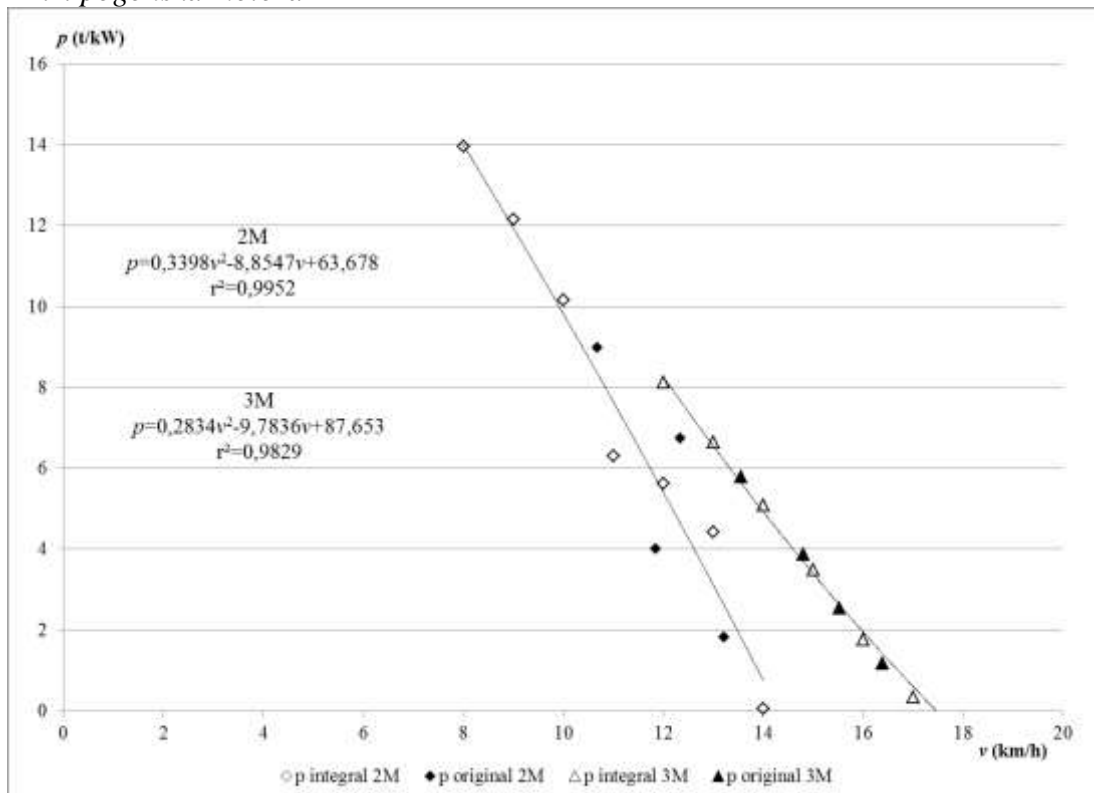
Slika 7.46 Dijagram promene statičkog opterećenja pogonskih motora broda-potiskivača $p(v)$ pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 na Srednjem Dunavu – slučaj kada potiskivač radi sa tri pogonska motora



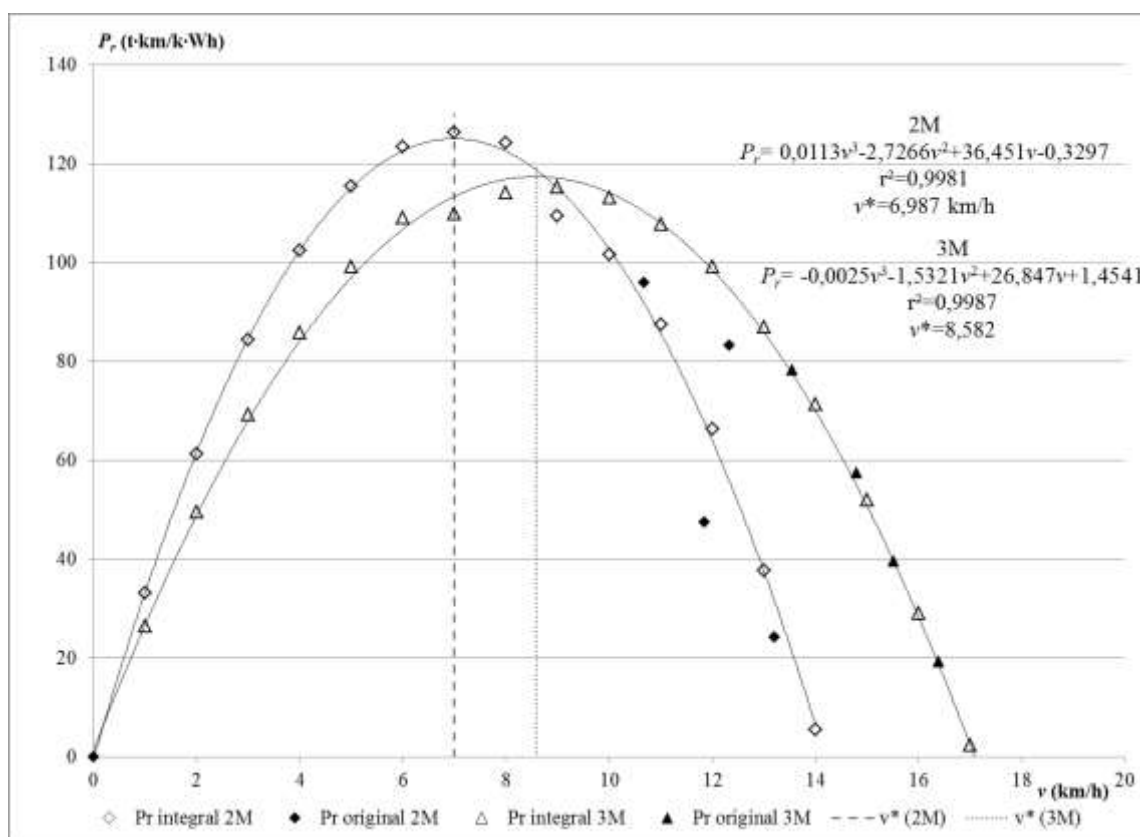
Slika 7.47 Dijagram promene rezultativnog pokazatelja broda-potiskivača $P_r(v)$ pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 na Srednjem Dunavu – slučaj kada potiskivač radi sa tri pogonska motora



Slika 7.48 Dijagram promene rezultativnog pokazatelja broda-potiskivača $P_r(p)$ pri radu sa potisnicama tipa JRB 71300 na Srednjem Dunavu – slučaj kada potiskivač radi sa tri pogonska motora



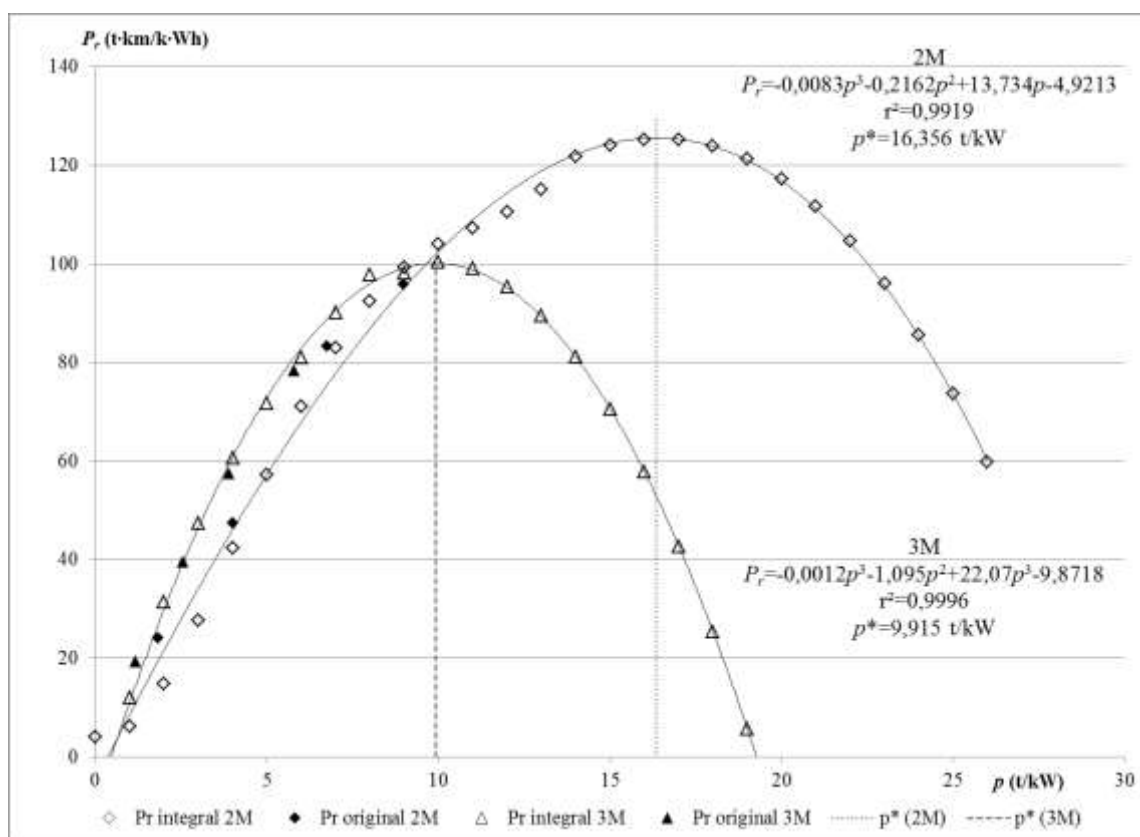
Slika 7.49 Uporedni dijagrami promene statičkog opterećenja pogonskih motora broda-potiskivača $p(v)$ pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 na Srednjem Dunavu – slučaj kada potiskivač radi sa dva i tri pogonska motora



Slika 7.50 Uporedni dijagrami promene rezultativnog pokazatelja $P_r(v)$ broda-potiskivača pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 na Srednjem Dunavu – slučaj kada potiskivač radi sa dva i tri pogonska motora

Upoređujući dijagrame promene rezultativnog pokazatelja $P_r(v)$, opisane integralnim krivima, uočava se izvesna prednost upotrebe brodova-potiskivača manjih snaga pogonskih motora pri radu na sektoru Srednjeg Dunava u odnosu na brodove-potiskivače koji raspolažu velikim snagama pogonskih motora sve do brzine plovidbe od, približno, $v=8,582$ km/h u odnosu na vodu. Za brzine plovidbe potiskivanih sklopova koje iznose $v>8,582$ km/h prednost korišćenja prelazi na stranu brodova-potiskivača većih snaga pogonskih motora tako da za brzinu plovidbe od, na primer, $v=12,0$ km/h rezultativni pokazatelj kada brod “Kadinjača” radi sa tri pogonska motora iznosi $P_r(v)=98,6757$ tkm/kWh dok u slučaju kada brod radi sa dva pogonska motora rezultativni pokazatelj iznosi $P_r(v)=63,9783$ tkm/kWh, što je za 35,16% manje.

Analizom uporednog dijagrama promene rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja pogonskih motora $P_r(p)$ broda-potiskivača (slika 7.51) za slučaj kada brod radi sa potisnicama tipa JRB71300 na Srednjem Dunavu zapaža se da, do vrednosti statičkog opterećenja $p\approx 10$ t/kW izvesnu prednost ostvaruje brod kada radi sa sva tri pogonska motora. Kada vrednosti statičkog opterećenja pređu ovu granicu, za $p>10$ t/kW, prednost dobija brod kada radi sa dva pogonska motora.



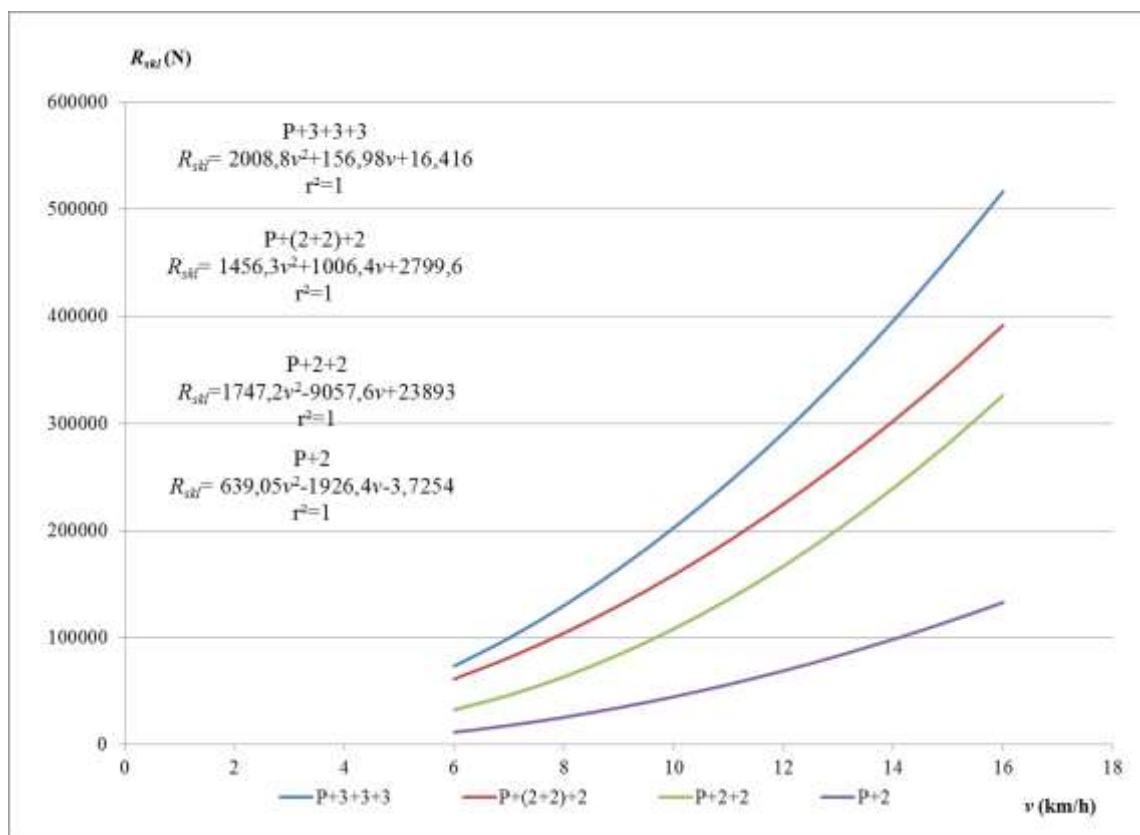
Slika 7.51 Uporedni dijagrami promene rezultativnog pokazatelja $P_r(p)$ broda-potiskivača pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 na Srednjem Dunavu – slučaj kada potiskivač radi sa dva i tri pogonska motora

Rezultativni pokazatelji broda-potiskivača „Kadinjača“ za vreme rada na sektoru Gornjeg Dunava mogu se sagledati iz tabela 7.63 i 7.67. Jasno se uočavaju male vrednosti rezultativnog pokazatelja $P_r(v)$ i pokazatelja kvaliteta tonaže (k_T), dok se, istovremeno, javljaju vrlo velike vrednosti specifičnog otpora po jedinici nosivosti (r_Q) i jedinici deplasmana sklopa (r_D).

Potrebno je da se naglasi, da su ispitivanja sklopova broda “Kadinjača” na sektorima Srednjeg i Gornjeg Dunava izvršena za slučaj kada potiskivani teretnjaci nisu bili utovareni na najveći gaz (što je uslovljeno visinom vodostaja), tj. kada je $T_e < T_r$ (srednji gaz svih potisnica koje su učestvovala u eksperimentima iznosio je $\bar{T}_e = 2,085$ m), zbog čega je eksploatacioni pokazatelj po opterećenju potiskivanih teretnjaka u sastavu imao veličinu od $\bar{\varepsilon}_{sast} = 0,8557$ t/t_n. Razume se, pod pretpostavkom da su potiskivani teretnjaci bili utovareni na najveći gaz (kada je $T_e = T_r$), ukupna nosivost potiskivanog sastava bila bi veća, što bi neizostavno promenilo vrednosti pokazatelja statičkog opterećenja pogonskih motora (p), brzinu plovidbe u odnosu na vodu (v), rezultativnog pokazatelja u funkciji brzine $P_r(v)$ i rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja pogonskih motora $P_r(p)$.

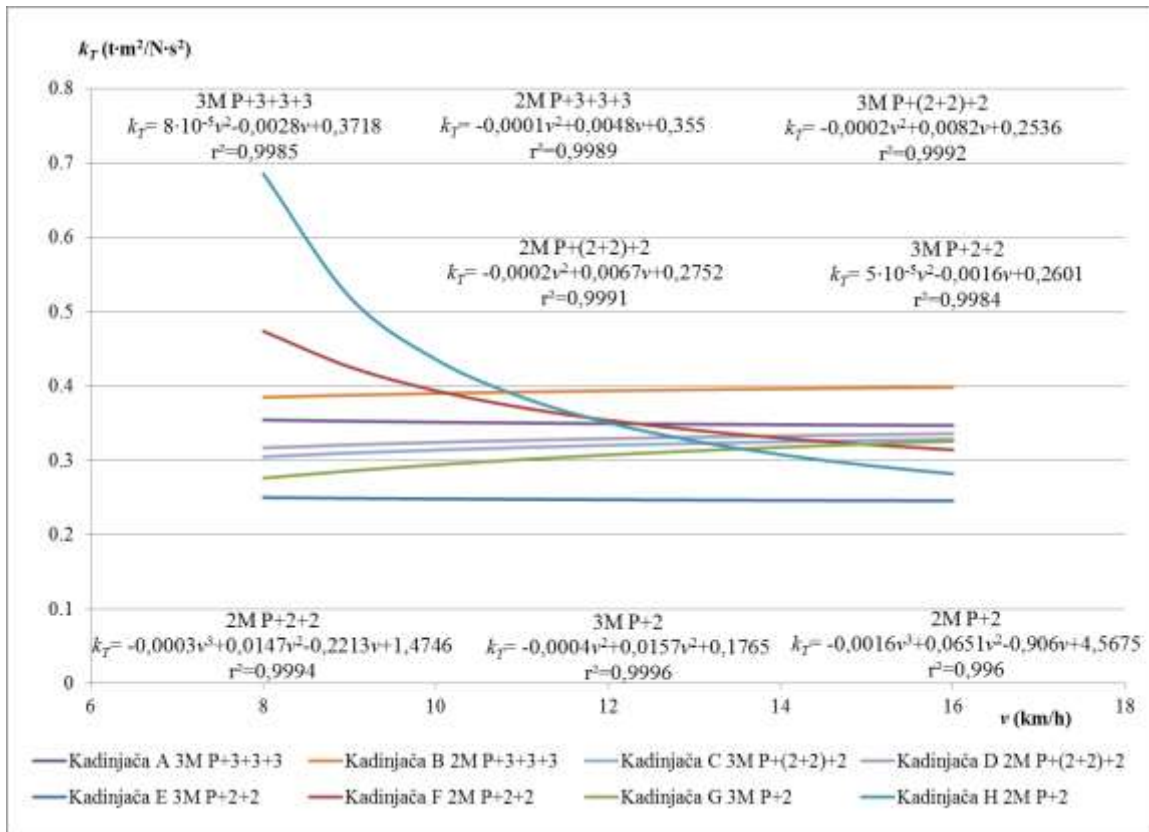
Na dijagramima, slika 7.52, prikazane su krive promene ukupnog otpora sklopova pri plovidbi broda-potiskivača “Kadinjača” sa odgovarajućim sastavima potiskivanih teretnjaka u

uslovima kada je srednji gaz svih potisnica koje su učestvovala u eksperimentima iznosio je $\bar{T}_e = 2,085 \text{ m}$.

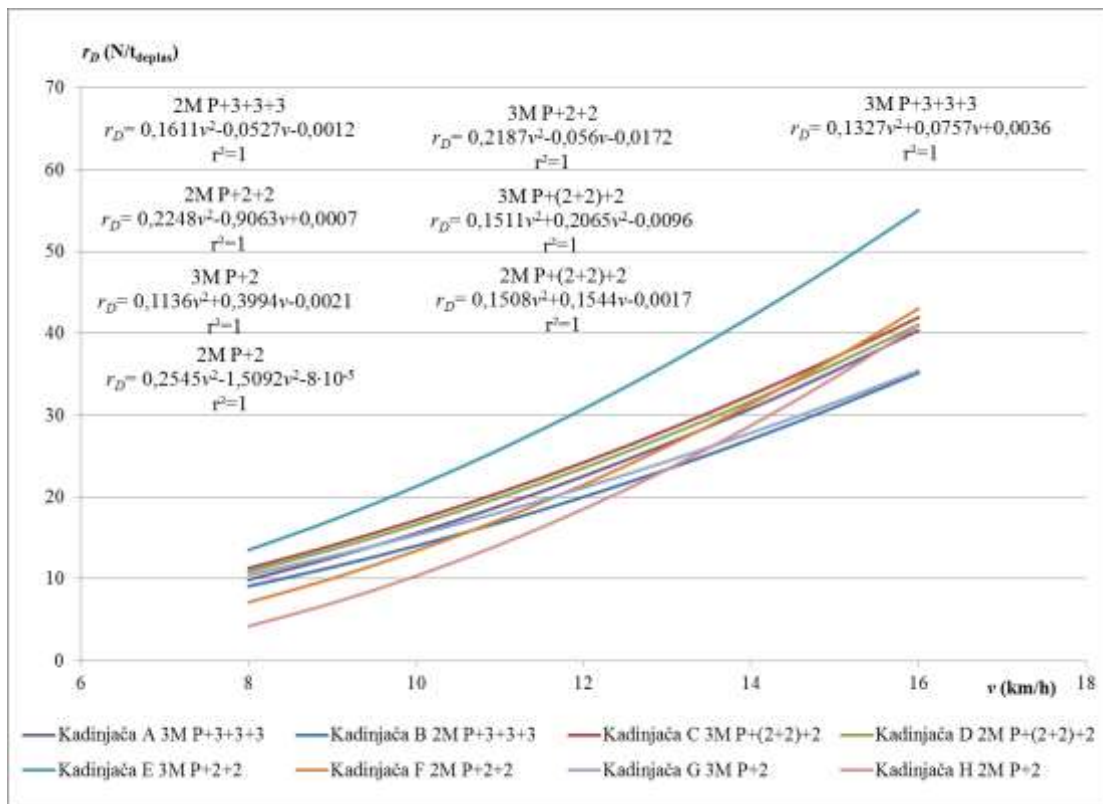


Slika 7.52 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih sklopova pri radu broda-potiskivača sa potisnicama tipa JRB71300 na Srednjem i Gornjem Dunavu

Na slici 7.53 prikazani su uporedni dijagrami promene pokazatelja kvaliteta tonaže (k_T) pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 u uslovima plovidbe na Srednjem i Gornjem Dunavu u uslovima kada je srednji gaz svih potisnica koje su učestvovala u eksperimentima iznosio $\bar{T}_e = 2,085 \text{ m}$. Proračuni pokazuju da konstantno dobru vrednost pokazatelja kvaliteta tonaže, u opsegu brzina plovidbe $8,0 < v < 12,0 \text{ km/h}$, ostvaruje sklop oblika P+3+3+3 pri radu sva tri pogonska motora broda “Kadinjača” na sektoru Srednjeg Dunava. Međutim, najveće vrednosti pokazatelja kvaliteta tonaže, u opsegu brzina plovidbe $8,0 < v < 10,35 \text{ km/h}$, postiže sklop oblika P+2 kada se plovidba odvija na delu Gornjeg Dunava – neposredno uzvodno od ustave Ibs, u slučaju da brod-potiskivač radi manjom snagom, tj. sa dva pogonska motora. Karakteristično za ovaj oblik sklopa je to što vrednosti pokazatelja kvaliteta tonaže sa porastom brzine plovidbe vrlo naglo opadaju. Najmanje vrednosti pokazatelj kvaliteta tonaže postižu se kada brod-potiskivač “Kadinjača”, na sektoru Gornjeg Dunava, radi u režimu sva tri pogonska motora sa sklopom oblika P+2+2.



Slika 7.53 Uporedni dijagrami promene pokazatelja kvaliteta tonaže (k_T) pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 u uslovima plovidbe na Srednjem i Gornjem Dunavu



Slika 7.54 Uporedni dijagrami promene pokazatelja specifičnog otpora po jedinici deplasmana sklopa (r_D) pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 u uslovima plovidbe na Srednjem i Gornjem Dunavu

Na slici 7.54 uporedo su prikazani dijagrami promene pokazatelja specifičnog otpora po jedinici deplasmana sklopova (r_D) pri radu sa potisnicama tipa JRB71300 u uslovima plovitve na Srednjem i Gornjem Dunavu, takođe, u uslovima kada je srednji gaz svih potisnica koje su učestvovala u eksperimentima iznosio $\bar{T}_e=2,085$ m. Vidi se da, u opsegu brzina plovitve $8,0 < v < 12,0$ km/h, najveću vrednost specifičnog otpora po jedinici deplasmana ima sklop oblika P+2+2 (kada brod "Kadinjača" radi sa sva tri pogonska motora i postiže najveće brzine plovitve), što je potpuno u skladu sa najmanjom vrednošću pokazatelja kvaliteta tonaže koji postiže isti sklop. Najmanje vrednosti pokazatelja specifičnog otpora po jedinici deplasmana postiže sklop oblika P+2 na sektoru Gornjeg Dunava, kada na brodu-potiskivaču rade samo dva pogonska motora (dakle, sa manje angažovane snage) što je, takođe u skladu sa najvećim vrednostima kvaliteta tonaže.

7.5.3.2 Primena eksploatacionih pokazatelja na utvrđivanje uticaja uslova plovitve na radne karakteristike brodova-potiskivača na Donjem Dunavu

Opšta (zajednička) karakteristika koja se odnosi na istraživanje i utvrđivanje radnih parametara brodova-potiskivača na sektoru Donjeg Dunava i delu Srednjeg Dunava nizvodno od Beograda je ta, da svi sklopovi (bez izuzetaka) sa kojima su vršeni eksperimenti imaju potpuno nepravilne oblike. Na osnovu dostupnih dokumenata utvrđeno je da se nepravilnost oblika sklopova ogleda kako u pogledu forme sklopa, tako i načina njihovog komponovanja budući da su korišćeni potiskivani teretnjaci različitih tipova, dimenzija, nosivosti i, posebno treba naglasiti, uz učešće tegljenih teretnjaka, takođe, različitih karakteristika. Ova činjenica značajno otežava postupak utvrđivanja realnih mogućnosti brodova-potiskivača, a posebno u onom delu koji se odnosi na proračun ukupnog otpora sklopova/sastava na osnovu kojih slede proračuni pokazatelja kvaliteta tonaže (k_T), specifičnog otpora po jedinici deplasmana sklopa (r_D) i specifičnog otpora po jedinici nosivosti sastava (r_Q). Ispitivanjima radnih karakteristika brodova-potiskivača na ovom sektoru Dunava podvrgnuti su brodovi „Kumanovo“ (dva puta - od strane Saobraćajnog fakulteta iz Beograda i Brodarskog instituta iz Zagreba), a po jedanput brodovi „Karađorđe“ i „Kragujevac“ (videti tačke 7.4.18, 7.4.19 i 7.4.20).

Pregledom dostupne dokumentacije (*Studija o novim uslovima plovitve tegljenih i potiskivanih brodskih sastava na Djerdapskom jezeru, I deo, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1972.*) ustanovljeno je, da su brodovi-potiskivači serije „3K“ („Kumanovo“, „Kadinjača“, „Kragujevac“, ukupno ugrađene snage pogonskih motora $\Sigma N_i=3 \times 809,6=2428,8$ kW) projektovani da rade sa sastavima koje čini 12 potiskivanih teretnjaka serije JRB71700, ukupne nosivosti $\Sigma Q=20.280$ tona, čime se sklopovi formiraju u oblik P+4+4+4, pri brzinama plovitve u odnosu na vodu između 10,0 i 11,0 km/h. Tokom izvršenih ispitivanja navedenih brodova u realnim uslovima plovitve na Donjem Dunavu (i delu Srednjeg Dunava nizvodno od Beograda) sklopovi ovakvog oblika niti u jednom slučaju nisu bili dostupni.

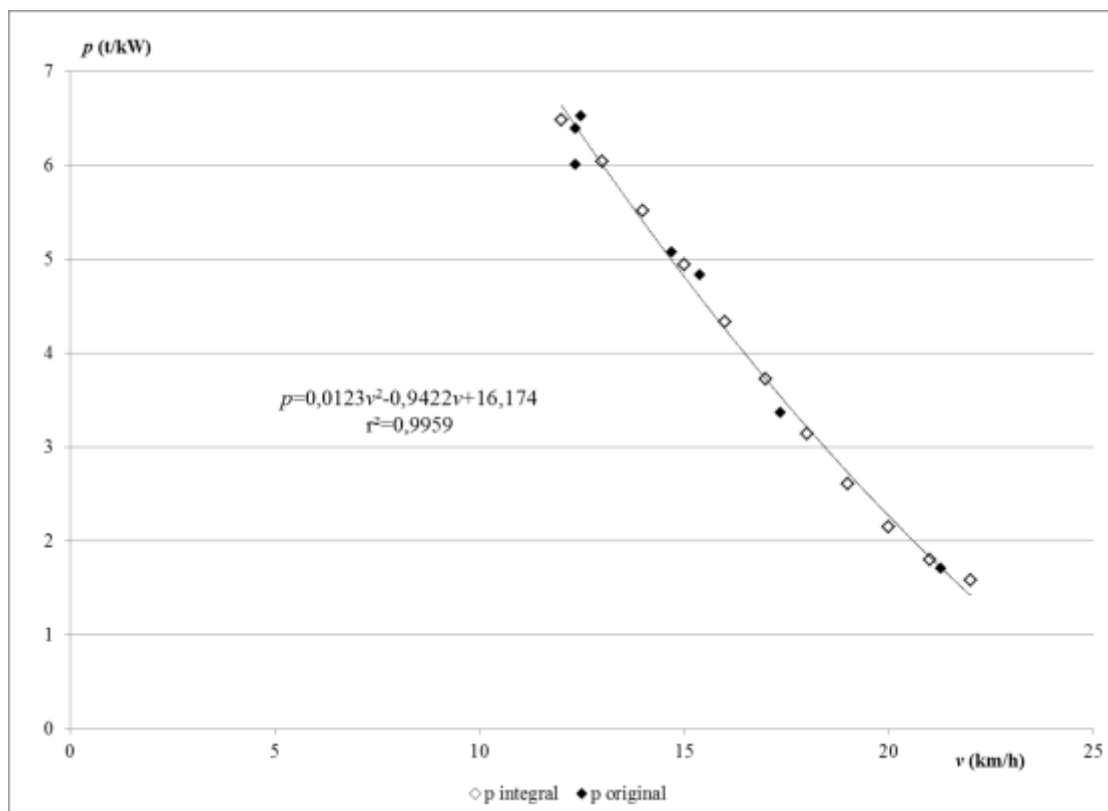
Nadalje, u skladu sa (u doktoratu) usvojenom procedurom pristupilo se istraživanju promene statičkog opterećenja pogonskih motora u funkciji brzine plovidbe u odnosu na vodu, $p(v)$, što je prikazano na dijagramu, slika 7.55. Jasno se uočava, da se ovaj pokazatelj nalazi u granicama od sasvim malih do vrlo skromnih vrednosti u odnosu na projektovanu vrednost koja iznosi, $p = \frac{\Sigma Q}{\Sigma N_i} = \frac{20.280}{2428,8} = 8,349 \text{ t/kW}$. To je glavni razlog zbog kojeg

rezultativni pokazatelj $P_r(v)$ dostiže relativno skromne vrednosti, iako su tokom ispitivanja izmerene vrlo velike brzine plovidbe u odnosu na vodu (slika 7.56). Rezultativni pokazatelj u odnosu na brzinu postiže najveću vrednost pri brzini plovidbe od $v=12,1005 \text{ km/h}$ i iznosi $P_r(v)=78,7309 \text{ tkm/kWh}$.

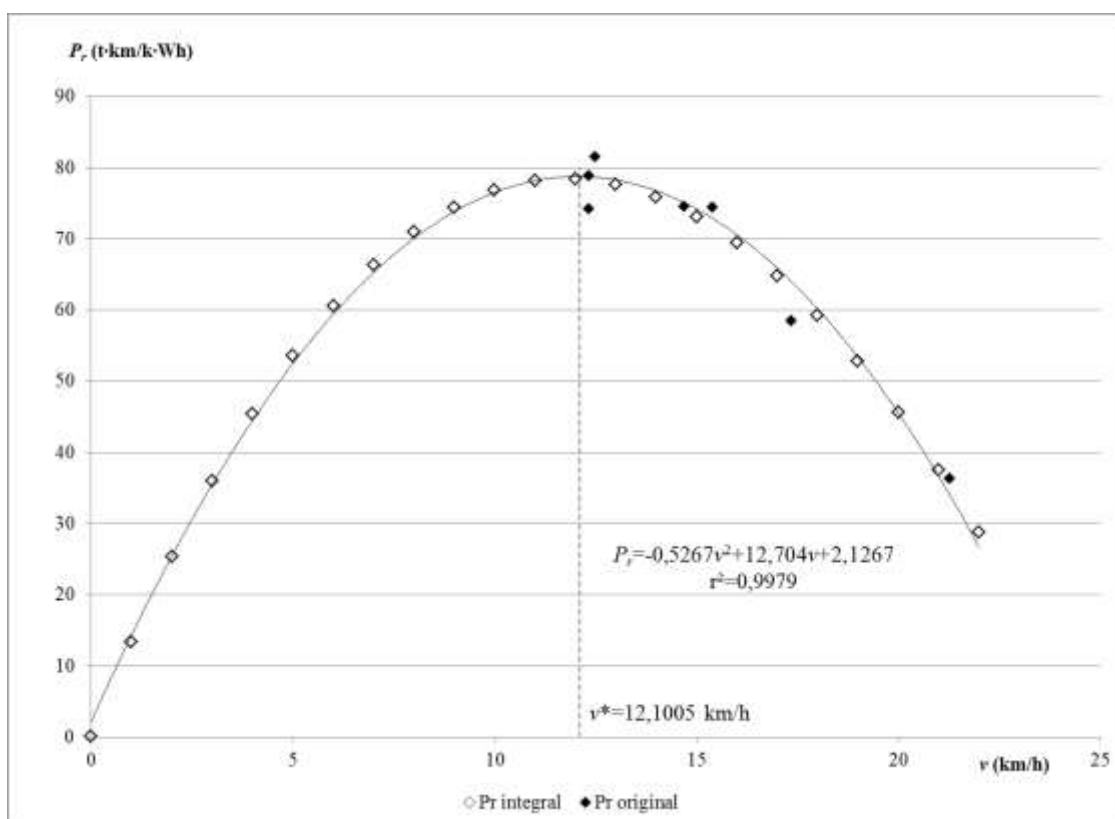
Do, gotovo, identičnog zaključka dolazi se analizom dijagrama promene rezultativnog pokazatelja u funkciji statičkog opterećenja (slika 37), iz kojeg sledi da se najveća vrednost ovog pokazatelja postiže pri statičkom opterećenju od $p=6,0937 \text{ t/kW}$, i iznosi $P_r(p)=77,7328 \text{ tkm/kWh}$.

Kada se analiziraju parametri za ocenu kvaliteta rada brodova „Kragujevac“, „Kumanovo“ i „Karadorđe“ (ispitivanja sa ovim brodovima obavio Brodarski institut iz Zagreba) vidi se, da su tokom eksperimenata izmerene velike brzine plovidbe u odnosu na vodu, $v>15,0 \text{ km/h}$, male ili sasvim male vrednosti pokazatelja statičkog opterećenja p (koji se kod brodova „Kragujevac“ i „Kumanovo“ nalazi u granicama $4,1171 < p < 5,2932 \text{ t/kW}$, a kod broda „Karadorđe“, $p=2,4405 \text{ t/kW}$), što je rezultiralo skromnim vrednostima rezultativnog pokazatelja $P_r(v)$ u svim slučajevima.

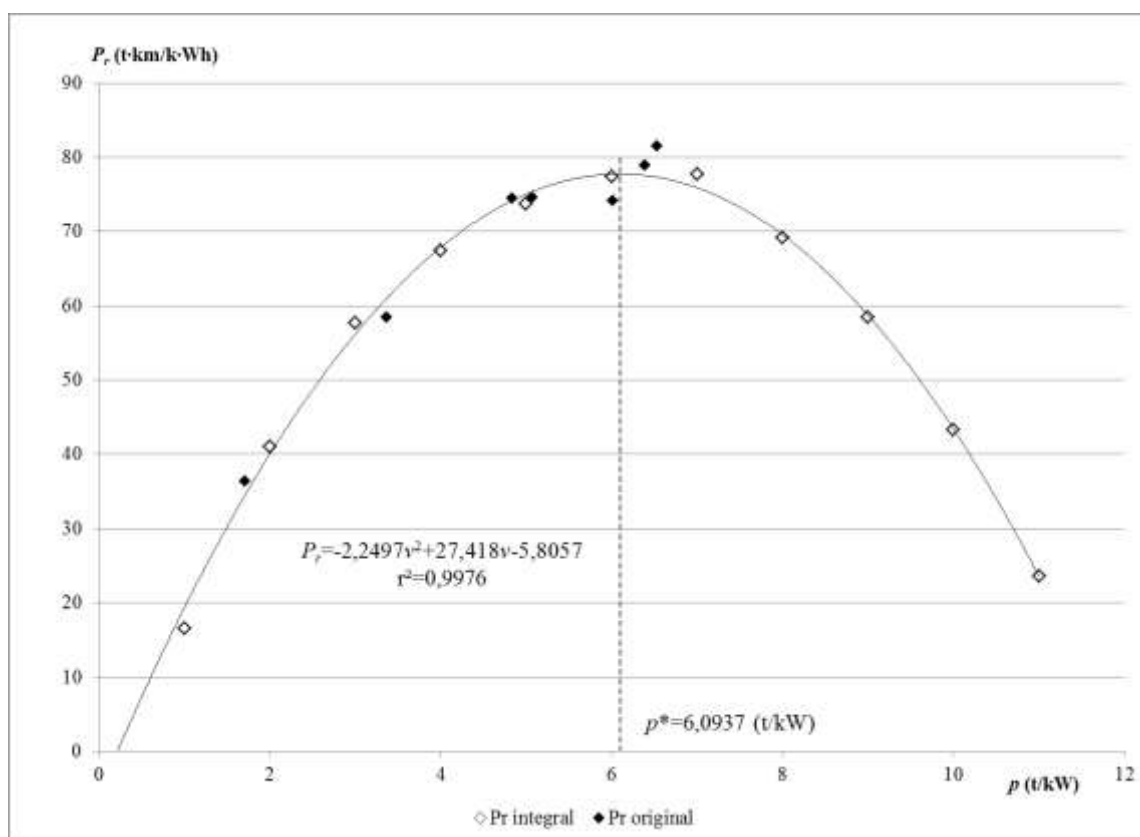
Razloge postignutim skromnim rezultatima rezultativnih pokazatelja $P_r(v)$ i $P_r(p)$ treba tražiti, pre svega, u nepravilnim i nejednorodnim oblicima potiskivanim sklopova formiranih od potiskivanih i tegljenih teretnjaka različitih geometrijskih i eksploatacionih osobenosti, što je ostavilo odraza na njihovu ukupnu nosivost, iskorišćenje snage pogonskih motora i brzinu plovidbe. Posebnim postupcima, koji nisu tema ovog doktorata, neophodno je proračunati koeficijente oblika svakog od sklopova/sastava (k_{skl} ili k_{sast}) budući da se na osnovu ovih koeficijenata utvrđuje hidromehanička efektivnost sklopova/sastava. Upoređivanjem vrednosti koeficijenata oblika sklopova/sastava nepravilno formiranih sklopova sa istim koeficijentima sklopova pravilnog oblika (koje čine potiskivani teretnjaci istog tipa, jednakih geometrijskih karakteristika i jednake nosivosti) može da se utvrdi negativni uticaj koji na radne karakteristike brodova-potiskivača imaju oblici koji se često javljaju u realnoj eksploataciji.



Slika 7.55 Dijagram promene statičkog opterećenja pogonskih motora broda-potiskivača $p(v)$ pri radu sa sklopovima nepravilnih oblika na Donjem Dunavu



Slika 7.56 Dijagram promene rezultativnog pokazatelja broda-potiskivača $P_r(v)$ pri radu sa sklopovima nepravilnih oblika na Donjem Dunavu



Slika 7.57 Dijagram promene rezultativnog pokazatelja broda-potiskivača $P_r(p)$ pri radu sa sklopovima nepravilnih oblika na Donjem Dunavu

Potrebno je istaći, da je upotreba potiskivanih sastava velike nosivosti jedan od osnovnih načina u cilju poboljšanja rada brodova unutrašnje plovidbe i povećanja efektivnosti njihovog korišćenja. Tokom dugogodišnje eksploatacije brodova-potiskivača serije „3K“ ukupna nosivost sastava sa kojima su radili ovi brodovi iznosila je i više od 20.000 tona raspoređenih u velikom broju potiskivanih i tegljenih teretnjaka. Tako, na primer, poznato je da je potiskivač „Kragujevac“ u jednoj od svojih plovidbi (1974. g.) u sastavu nosio ukupno 20.436 tona, čime je postignut pokazatelj statikog opterećenja pogonskih motora $p=9,096$ t/kW, dok je potiskivač „Kumanovo“, iste godine, potiskivao ukupno 23.000 tone tereta raspoređenih u 16 potisnica ($p=9,968$ t/kW). Isto tako, brod-potiskivač „Karlovac“ ($\Sigma N_i=3 \times 1295=3885$ kW) 1984. godine u svom sastavu u kojem su se nalazili, ukupno 21 potiskivani i tegljeni teretnjak, dostigao ukupnu nosivost od 29.200 tona tereta, pri čemu je postignut pokazatelj statičkog opterećenja pogonskih motora od $p=8,1255$ t/kW.

Pregledom objavljenih radova na ruskom jeziku ustanovljeno je da su za potrebe plovidbe na rekama Volgi i Kami, a zasnivajući se na opitima izvršenim tokom eksploatacije u realnim uslovima plovidbe postignuti sledeći odnosi između dve osnovne veličine *ukupna snaga pogonskih motora-ukupna nosivost potinica u sastavu*. Tako, na primer (Тумаринсон 1988, Шур и Расторгуев 1986, Ваганов 1986, Земляновский и Подгорный 1985), za obavljanje transporta na Volgi izgrađeni su potiskivači serije OT-2000 (ukupne snage pogonskih motora $\Sigma N_i=1800$ kW, odnosno, $\Sigma N_i=2400$ KS) koji će raditi sa potiskivanim

sastavima od, ukupno, $\Sigma Q_e=18.000$ tona (četiri sekcije projekta 1787U nosivosti po 4500 t) ili $\Sigma Q_e=22.500$ t (u šest sekcija projekta 1787, čija je nosivost 3750 t), čime se postiže $p=10,0$ t/kW u prvom slučaju i $p=12,5$ t/kW u drugom slučaju (odnosno, 7,5 t/KS i 9,375 t/KS). Pri tom, potiskivači serije OT-2000 sa sastavima nosivosti $\Sigma Q_e=18.000$ tona, tokom eksperimenata ostvarili su brzinu plovidbe u odnosu na vodu $v=14,3$ km/h, dok sa sastavima nosivosti $\Sigma Q_e=22.500$ tona ostvarili brzinu plovidbe u odnosu na vodu, jednaku $v=12,5$ km/h. U prvom slučaju rezultatni pokazatelj dobija vrednost $P_r(v)=143,0$ tkm/kWh, dok u drugom slučaju rezultatni pokazatelj postiže vrednost od $P_r(v)=156,25$ tkm/kWh.

Bez pretenzija da se teza bavi istorijskim razvojem sistema potiskivanja, važno je istaći ulogu i veliku važnost koja se posvećuje ovom načinu transporta tereta na unutrašnjim plovnim putevima Sjedinjenih Američkih država. Literatura (Grubor, M. 1983) navodi da se na plovnim putevima SAD kreću potiskivani sklopovi ukupne nosivosti od 43.000 tona do 50.000 tona koje potiskuju brodovi-potiskivači ukupne snage pogonskih motora do, čak, 6.620 kW, pri čemu su dimenzije ovakvih sklopova: ukupna dužina 460 m, a širina 74,67 m.

8 TERMO-TEHNIČKA I ISPITIVANJA POTROŠNJE GORIVA BRODOVA-POTISKIVAČA U REALNIM USLOVIMA PLOVIDBE

8.1 Opšte napomene

Prilikom sprovođenja kontrolnih, radnih ili naučnih ispitivanja u realnim uslovima plovidbe brodarstva se rukovode unapred utvrđenim i precizno definisanim programom *termo-tehničkih ispitivanja* brodova rečne flote.

Pod računskim radnim režimom podrazumeva se kretanje broda-potiskivača sa sastavom pri nominalnom opterećenju pogonskih motora na pravolinijskom kursu u dubokoj i mirnoj vodi. Proračunom koji se sprovodi pri tom režimu ostvaruje se potpuna saglasnost rada pogonskog motora i propelera uz uslov postizanja maksimalno mogućeg koeficijenta korisnog destva i iskorišćenja nominalne snage pogonskog postrojenja.

U realnim uslovima eksploatacije tehničko stanje brodova i uslovi plovidbe često se razlikuju od projektovanih. Iz dostupne literature (Филатов 1988, Тумаринсон 1988), a na osnovu sprovedenih istraživanja utvrđeno je da više od polovine vremena provedenog u plovidbi brodovi rade u uslovima koji se razlikuju od računskih, pri čemu su najčešće uzroci odstupanja od računskih uslova: kretanje po rečnim krivinama, plovidba po talasima, pri delovanju vetra, pri niskim vodostajima i sl.

Eksploatacija brodskih energetskih uređaja u najekonomičnijim režimima, odabranih u zavisnosti od uslova u plovnom putu i hidroloških i meteoroloških uslova, omogućava da se značajno umani potrošnja goriva. U primeni je nekoliko metoda kojima se obrazlaže izbor ekonomskih režima rada glavnih brodskih uređaja, pri čemu se kao kriterijumi optimalnosti usvajaju: *potrošnja goriva* (po jedinici snage ili po jedinici transportnog rada ili po 1 km pređenog puta ili kao srednja-prosečna), *koeficijent korisnog dejstva* propulzije broda ili, pak, *troškovi prevoza*. Kao najkompleksniji kriterijum javlja se *minimum troškova transporta* tereta, budući da taj pokazatelj obuhvata ne samo energetske i tehničke parametre, već i ekonomske činioce kao što su cena goriva i maziva, plate članova posade i amortizacija.

Poznato je da, u uslovima realne eksploatacije, snaga pogonskih motora može da se odredi na osnovu indirektnih metoda ili, prema količini potrošenog goriva G (kg/h) i broju obrtaja motora n (o/min) ili, pak, pomoću grafika zavisnosti $(G/n) \times 100$ u funkciji srednjeg efektivnog pritiska p_e (MPa). Rezultati ispitivanja prikazuju se u obliku grafika za svaki konkretni tip motora i upoređuju sa rezultatima ispitivanja pogonskih motora na probnom stolu proizvođača. Tokom ispitivanja obavljenih u realnim uslovima eksploatacije uočeno je povećanje potrošnje goriva u poređenju sa izmerenom na probnom stolu zbog istrošenosti i lošeg tehničkog stanja motora.

Ukoliko su u brod ugrađeni propeleri optimalnih parametara, stvarna (eksperimentom utvrđena) propelerska karakteristika motora, praktično, treba da odgovara njegovoj karakteristici sa probnog stola. Međutim, zbog čestih otklona parametara propelera (koji može da bude *težak*, *lak* ili *oštećen*) u odnosu na usaglašene, pogonski motor radi po težoj ili lakšoj karakteristici. Stanje rada propelera tokom ispitivanja u realnim uslovima plovidbe utvrđuje se pomoću propelerskih karakteristika kod brodova-potiskivača najmanje za tri slučaja, budući da se radni parametri tokom eksperimenata mere pri radu broda „u mestu“ (ili „u obalu“), potom sa različito formiranim sklopovima i, na kraju, bez potisnica (brod „separat“).

Što se tiče ispitivanja radnih karakteristika brodova-potiskivača preporučuje se da se rezultati sprovedenih ispitivanja prikazuju pomoću četiri grafika i to: promena snage, sila potiskivanja, potrošnja goriva i temperatura izduvnih gasova u funkciji brzine plovidbe za usvojene brojeve obrtaja i ispitivane oblike sklopova. Osim toga, na osnovu eksperimentalnih ispitivanja potrošnje goriva na brodovima-potiskivačima unutrašnje plovidbe za različite oblike i nosivosti sastava mogu da se konstruišu grafici zavisnosti brzine kretanja, časovne potrošnje goriva i razvijene snage u funkciji relativne dubine plovnog puta (h/T).

Potrebno je naglasiti mogućnost koja nastaje u slučaju da se potiskivani sklop kreće brzinom takvom, da će u luku-tačku prijema tereta stići ranije u odnosu na mogući početak obrade potisnica tada zapovednik broda, dobivši o tome informaciju od dispečerske službe, može da usvoji rešenje o kretanju potiskivanog sklopa ekonomičnijom brzinom. U takvim slučajevima, za potrebe izbora odgovarajućeg režima rada pogonskih uređaja, potrebno je razraditi grafike zavisnosti broja obrtaja motora u funkciji rezerve vremena plovidbe do naznačenog mesta, dajući tako mogućnost da se odredi veličina uštede goriva koja će se dobiti kao rezultat promene režima kretanja.

8.2 Rezultati ostvarenih termo-tehničkih ispitivanja realizovanih na brodovima naših brodarskih preduzeća

U periodu od 1968. godine do 2001. godine za potrebe naših brodarskih kompanija izvršena su ispitivanja termo-tehničkih i ispitivanja potrošnje goriva pogonskih motora na sledećim brodovima-potiskivačima:

1). mp „*Deligrad*“ – ispitivanje rada pogonskih motora broda

Posle izvršenih merenja snage na propelerskim vratilima pristupilo se indiciranju pogonskih levog i desnog motora prilikom plovidbe sklopa obeleženog oznakom „E“. Snimanje zatvorenih $p-v$ nije moglo da se obavi jer ugrađeni motori ne raspolažu potrebnim priključcima za ovu vrstu ispitivanja. Iz tog razloga tom prilikom mereni su samo pritisci kompresije i ekspanzije po pojedinim cilindrima pri normalnom režimu rada motora za trajni pogon. Rezultati ovih ispitivanja prikazani su dijagramom.

U toku plovidbe sklopova obeleženih oznakama „B“, „C“, „D“ i „E“ merene su temperature vode za hlađenje što je prikazano pomoću tablice (radi poređenja u tablicu su upisane i temperature vode izmerene na probnom stolu opitne stanice). Istovremeno merene su i temperature izduvnih gasova i rezultati su prikazani tabelarno.

2). mp „*Stolovi*“ – ispitivanje rada pogonskih motora broda

Indiciranje pogonskih motora izvršeno prilikom plovidbe sklopa oznake „B“ pri najvećem punjenju motora za trajni pogon. Tom prilikom mereni je samo pritisak ekspanzije po pojedinim cilindrima na oba motora pri najvećem punjenju za trajni pogon. Snimanje zatvorenih p - v nije moglo da se obavi budući da motori ne raspolažu potrebnim priključcima za ovu vrstu ispitivanja. Tokom ispitivanja sklopova „A“ i „B“ merene su temperature vode za hlađenje, a istovremeno su merene i temperature izduvnih gasova. Svi rezultati prikazani su u obliku tabele.

3). mp „*Deli Jovan*“ – ispitivanje rada pogonskih motora broda

Ispitivanje pritisaka izvršeno je kod oba pogonska motora, samo pri jednom položaju ručice za podešavanje dovoda goriva, i to pri radu broda „u mestu“. Ispitini su samo pritisci sagorevanja, a rezultati prikazani u obliku tabele.

4). mp „*Kablar*“ – ispitivanje rada pogonskih motora broda

Na brodu su izvršena, zbog neispravnosti priključnih slavina, samo delimična merenja, i to pritisaka sagorevanja i samo na jednom motoru – što je prikazano odgovarajućom tabelom. U toku plovidbe sklopova označenih sa „A“, „B“ i „C“ stalno su merene temperature vode za hlađenje po cilindrima oba motora. Rezultati ovih merenja prikazani su u tabelama.

5). mp „*Sloga*“ – ispitivanje rada pogonskih motora broda

U toku ispitivanja sklopova vršena su istovremeno kontrolna merenja pritisaka sabijanja (kompresije), pritisaka sagorevanja, temperature vode za hlađenje i temperature izduvnih gasova. Svi rezultati za oba pogonska motora, po cilindrima, prikazani su tabelarno.

6). mp „*Kumanovo*“ – ispitivanje rada pogonskih motora broda

Termo-tehnička ispitivanja sva tri pogonska motora izvršena su samo prilikom plovidbe broda u sklopu oblika „D“. Rezultati ispitivanja pritisaka sabijanja, pritisaka sagorevanja, temperature izlaznih gasova i vode za hlađenje prikazani su tabelarno za svaki od motora ponaosob.

7). mp „*Romanija*“ (prvo ispitivanje) – ispitivanje rada pogonskih motora broda

Ispitivanja pritiska sabijanja i pritiska sagorevanja, temperature vode za hlađenje i temperature izduvnih gasova obavljena su pri najvećem punjenju za trajni pogon na levom i desnom motoru pri slobodnoj plovidbi broda („separat“), u sklopu oblika P+3+3 i P+4+4 i pri radu „u mestu“. Svi rezultati prikazani su odgovarajućim tabelama.

Ispitivanje potrošnje goriva obavljeno je tokom plovidbe sklopa u obliku P+4+4, samo desnog motora. Merni uređaj postavljen je između dnevnog tanka i motora, tako da je gorivo iz uređaja slobodnim padom odlazilo do motora. Izmerene vrednosti utroška goriva mnogo su veće od uobičajenih, tako da je potrošnja goriva nesrazmerno veća od navedene u podacima

fabrike-proizvođača motora. Izmerena specifična potrošnja goriva, pri broju obrtaja motora $n=800$ o/min, iznosila je 0,804 kg/kWh, dok je prema merenjima na probnom stolu iznosila, pri nominalnom broju obrtaja $n=800$ o/min – 219,3 gr/kWh.

8). mp „*Romanija*“ (drugo ispitivanje) – ispitivanje rada pogonskih motora broda

Sva termo-tehnička ispitivanja oba pogonska motora vršena su istovremeno sa merenjem snage i broja obrtaja propelerskih vratila za sve oblike sklopova, i to: ispitivanje temperature vode za hlađenje, ispitivanje temperature izduvnih gasova, ispitivanje pritisaka sabijanja pri najvećem punjenju motora za trajni pogon i ispitivanje pritisaka sagorevanja pri najvećem punjenju motora za trajni pogon. Ispitivanje potrošnje goriva nije rađeno.

mp „*Kadinjača*“ – ispitivanje rada pogonskih motora broda

Za vreme plovidbe broda sa sklopovima obeleženim oznakama „A“ i „B“ obavljena su ispitivanja termo-tehničkih osobnosti sva tri pogonska motora pri režimu rada koji predstavlja normalni trajni pogon. Za svaki motor i svaki cilindar izmerene su vrednosti temperature izduvnih gasova i vode za hlađenje, kao i pritisci sabijanja i ekspanzije. Rezultati ispitivanja prikazani su tabelarno, za svaki motor posebno.

Ispitivanje potrošnje goriva izvršeno je samo na srednjem motoru, za vreme eksperimenata sa sklopom oblika P+3+3+3, pri najvećem punjenju motora za trajni režim, kao i za nekoliko nižih režima. Rezultati istraživanja sređeni su i prikazani odgovarajućom tabelom. Pri režimu punjenja za trajni pogon utvrđena je specifična potrošnja goriva koja iznosi 254,8 gr/kWh, dok je na probnom stolu opitne stanice utvrđena specifična potrošnja koja iznosi 212,0 gr/kWh.

9). mp „*Panonija*“ (drugo ispitivanje) – ispitivanje potrošnje goriva

U toku obavljanja eksperimenta sa sklopom oblika P+2+2 obavljeno je ispitivanje potrošnje goriva na oba pogonska motora pri najvećem punjenju za trajni pogon. Utvrđena je sledeća časovna potrošnja goriva: na levom motoru – 187 kg/h, a na desnom motoru – 104 kg/h.

10). mp „*Pinki*“ (drugo ispitivanje) – ispitivanje potrošnje goriva

Ispitivanje potrošnje goriva izvršeno je pri plovidbi sklopa „A“, oblika P+2+2. Potrošnja je merena na desnom motoru u režimu trajnog pogona. Eksperimentima je utvrđeno da specifična potrošnja goriva, u režimu trajnog pogona, iznosi 0,177 kg/kWh.

11). mp „*Bor*“ – ispitivanje rada pogonskih motora broda

Istovremeno sa ispitivanjem snage i broja obrtaja na propelerskim vratilima izvršena su merenja pritisaka sagorevanja po pojedinim cilindrima na oba pogonska motora i za nekoliko režima rada – što je prikazano odgovarajućim tabelama.

12). mp „*Zlatibor*“ – ispitivanje potrošnje goriva

Ispitivanje potrošnje pogonskog goriva obavljeno je na levom pogonskom motoru, za vreme plovidbe sklopa u obliku P+3+3 i P+4+4 za sva četiri režima rada. Na osnovu rezultata ispitivanja ustanovljena je časovna potrošnja goriva koja, pri najvećem punjenju za trajni pogon, iznosi 0,191 kg/kWh.

Na kraju ovog poglavlja nužno je istaći da je u svim eksperimentima učestvovalo ukupno 52 pogonska motora ugrađenih u brodove-potiskivače. Od tog broja ispitivanje potrošnje goriva obavljeno je na samo 5 pogonskih motora, i to delimična merenja za jedan (najveći) režim rada.

Ono što je, takođe, karakteristično za sve pogonske motore koji su učestvovali u eksperimentima je, da ni na jednom od njih nije moglo da se obavi snimanje zatvorenih $p-v$ dijagrama budući da motori ugrađeni u brodove naših brodarskih preduzeća ne raspolazu potrebnim priključcima za ovu vrstu ispitivanja

9 UTVRĐIVANJE OSNOVNIH TEHNIČKIH I EKSPLOATAACIONIH KARAKTERISTIKA BRODOVA POTISKIVAČA I POTISKIVANIH TERETNJAKA

Prilikom planiranja i organizacije rada brodova u brodarstvima često je potrebno rešavati različite zadatke vezane za određivanje brzine kretanja potiskivanih sklopova/sastava za poznate uslove eksploatacije. Takva vrsta planiranja i odgovarajuća organizacija rada brodova unutrašnje plovidbe moguća je samo pod uslovom da su poznati osnovni tehnički podaci svakog broda, pri čemu su te karakteristike, istovremeno, njihove *radne* (plovidbene) karakteristike, i javljaju se kao osnova pri operativnom planiranju rada brodova, izradi godišnjih planova prevoza, određivanja prevozne sposobnosti a, takođe, i pri proračunu tehničkih i ekonomskih pokazatelja rada brodova.

Radne karakteristike jednog plovnog objekta u kompanijama rečnog brodarstva sadrže dve grupe osnovnih podataka, i to:

1. ► *Tehničke karakteristike broda-potiskivača*: ime broda, registrovana (ukupna) snaga pogonskih motora, osnovne karakteristike pogonskih motora i propulzivnog kompleksa, glavne dimenzije trupa, deplasman, koeficijente punoće, vrstu pogonskog goriva, ukupnu i specifičnu potrošnju goriva;
► *Tehničke karakteristike potiskivanih teretnjaka*: registarski broj teretnjaka (oznaka teretnjaka), registrovana (najveća) nosivost, oblik teretnjaka (simetričan; nesimetričan) namena (vrsta tereta), glavne dimenzije trupa, deplasman, koeficijenti punoće;
2. ► *Eksploatacione karakteristike broda-potiskivača*: ukupni otpor broda za različite brzine kretanja, redukovani otpor broda, potisna sila broda pri radu motora u režimu trajnog pogona, redukovana potisna sila za različite brzine kretanja i slično;
► *Eksploatacione karakteristike potiskivanih teretnjaka*: srednja nosivost teretnjaka po 1 cm gaza, postupak proračuna (ili dijagram) nosivosti za različite vrednosti gaza, koeficijent utilizacije, ukupni i redukovani otpor teretnjaka za različite vrednosti gaza i td.

Pod radnim (plovidbenim) karakteristikama broda podrazumevaju se, još i grafici koji pokazuju promenu efektivne potisne sile propulzivnog kompleksa propeler-sapnica, snage i broja obrtaja pogonskih motora, a takođe i ukupnog otpora sklopa u zavisnosti od brzine plovidbe potiskivanog sklopa/sastava. Ovi grafici nazivaju se potisne karakteristike broda-potiskivača. Radne karakteristike odražavaju istovremeno delovanje sva tri dela koja čine jedan jedinstveni kompleks: potiskivani sastav, brodsko pogonsko postrojenje i kretna sredstva (propeleri) u različitim uslovima eksploatacije. Oni omogućavaju da se utvrdi brzina

kretanja potiskivanog sklopa, analizira rad energetskog i propulzivnog uređaja pri različitim režimima kretanja, utvrde uzroci poremećaja i odrede načini za njihovo otklanjanje.

Osim tehničkih i eksploatacionih karakteristika pojedinih brodova, neophodno je poznavanje i vrednosti koeficijenata oblika sastava (k_{sast}), kao i podataka koji se odnose na gubitke i priraštaje brzine kretanja po različitim sektorima plovnih puteva.

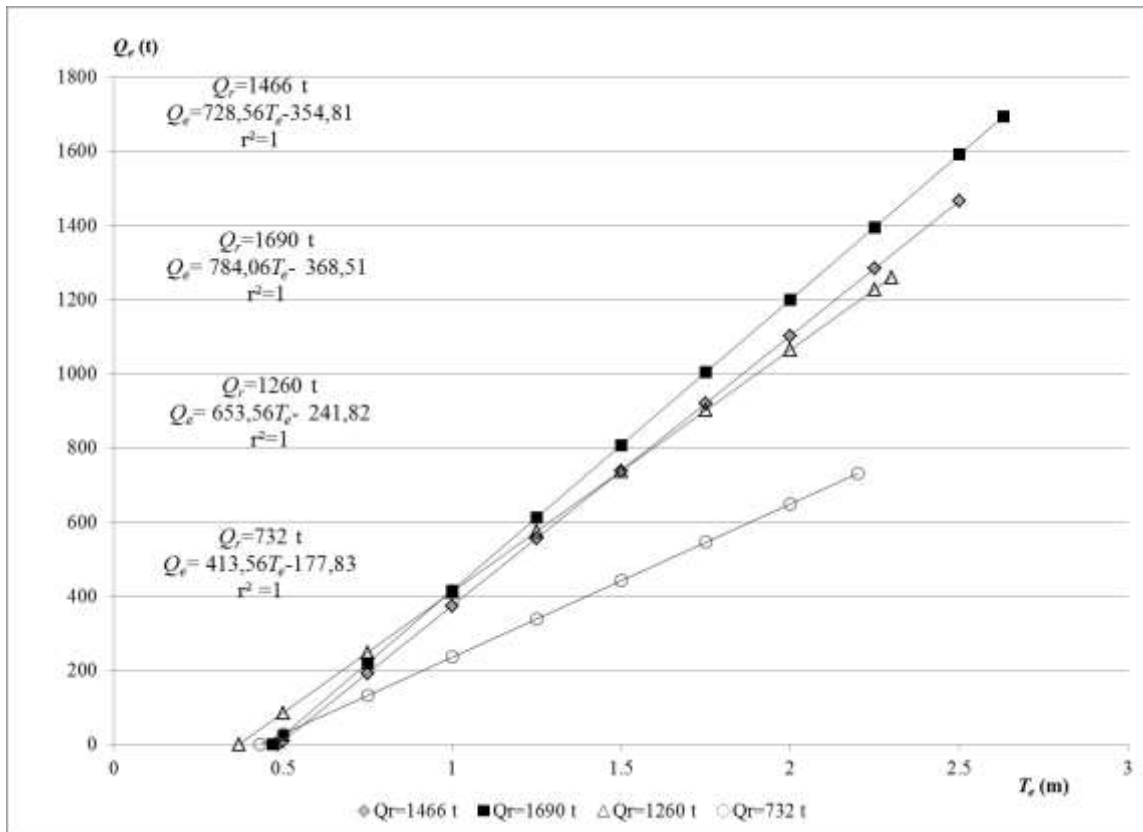
Kao polazni podaci pri planiranju rada brodova služe, osim tehničkih karakteristika brodova, i rezultati poslednjih dinamometrijskih i termo-tehničkih ispitivanja brodova u realnim uslovima plovidbe na pojedinim sektorima reke.

Proračun nosivosti potiskivanih teretnjaka za bilo koju vrednosti gaza, $Q_e=f(T_e)$, detaljno je opisan i izložen u potpoglavlju 7.3. Pogodno je, takođe, zbog operativnog planiranju rada brodova na prikladan način (računskim izrazom; dijagramom) predstaviti promenu nosivosti potiskivanih teretnjaka u funkciji gaza. Na slici 9.1 prikazane su promene $Q_e=f(T_e)$ potiskivanih teretnjaka simetričnog oblika trupa, tipa $Q_r=1466$ t ($\eta_{DW}=0,8329$) i $Q_r=732$ t ($\eta_{DW}=0,8196$) i potiskivanih teretnjaka nesimetričnog oblika trupa, tipa $Q_r=1690$ t ($\eta_{DW}=0,8319$) i $Q_r=1206$ t ($\eta_{DW}=0,8504$).

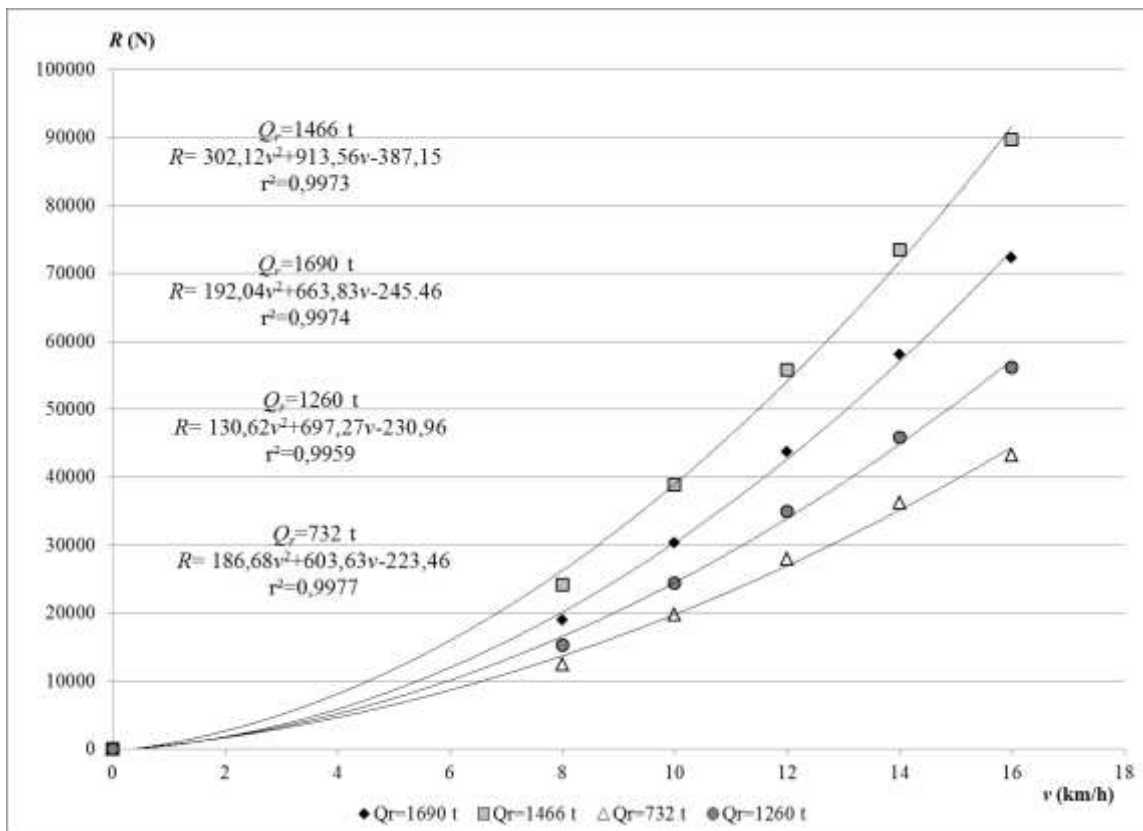
U istom poglavlju opisan je postupak za proračun srednjeg gaza svih potiskivanih teretnjaka (\bar{T}_e) koji čine jedan potiskivani sastav.

Ukupni otpor jednog potiskivanog teretnjaka može da bude određen na dva načina, i to: 1). računskim putem na osnovu poznatih izraza i 2). ispitivanjem modela u istraživačkim bazenima (o načinu određivanja ukupnog otpora potiskivanog teretnjaka dinamometrijskim ispitivanjima u realnim uslovima plovidbe bilo je reči u poglavlju 7). Na dijagramima, slika 9.2, predstavljene su krive promene ukupnog otpora potiskivanih teretnjaka tipa $Q_r=1466$ t, $Q_r=1690$ t, $Q_r=1260$ t i $Q_r=732$ t za slučaj najvećeg gaza (kada je $T_e=T_r$) proračunatog pomoću u literaturi izloženih načina.

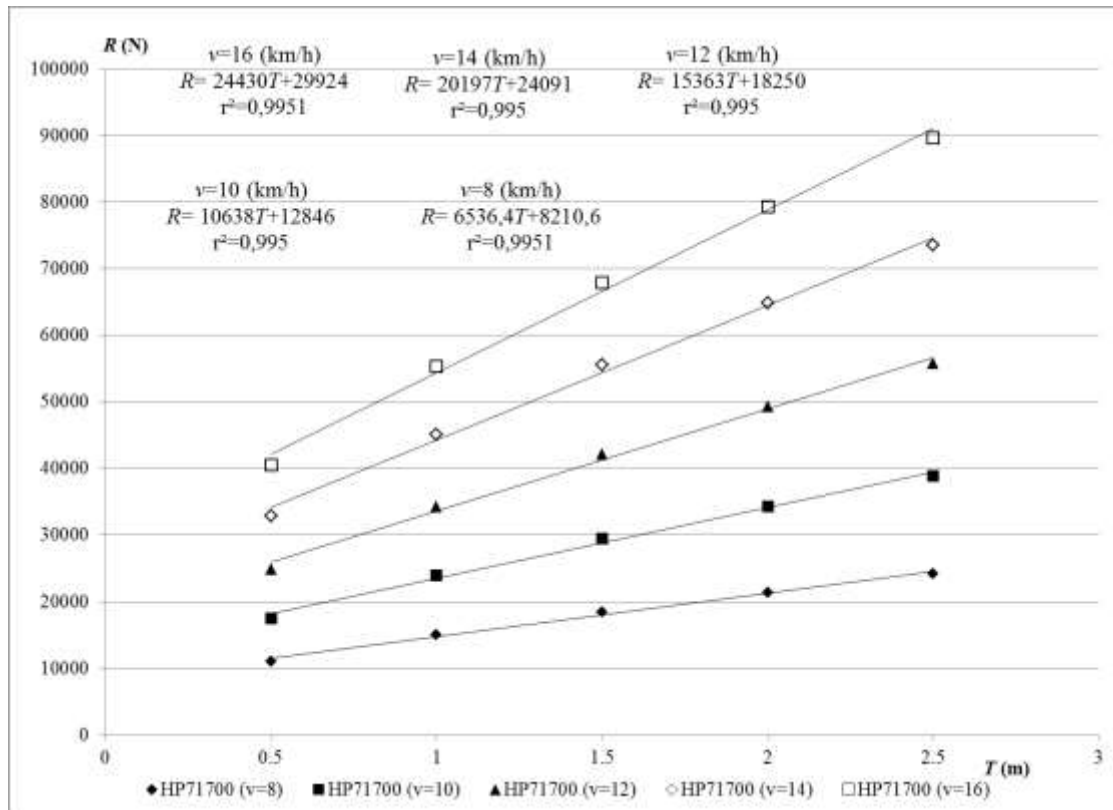
Na slikama 9.3, 9.4, 9.5 i 9.6, prikazani su dijagrami promene ukupnog otpora u funkciji veličine gaza, $R=f(T)$, potiskivanih teretnjaka tipa $Q_r=1466$ t, $Q_r=732$ t, $Q_r=1690$ t i $Q_r=1260$ t za brzine plovidbe u odnosu na vodu $v=8,0; 10,0; 12,0, 14,0$ i $16,0$ km/h.



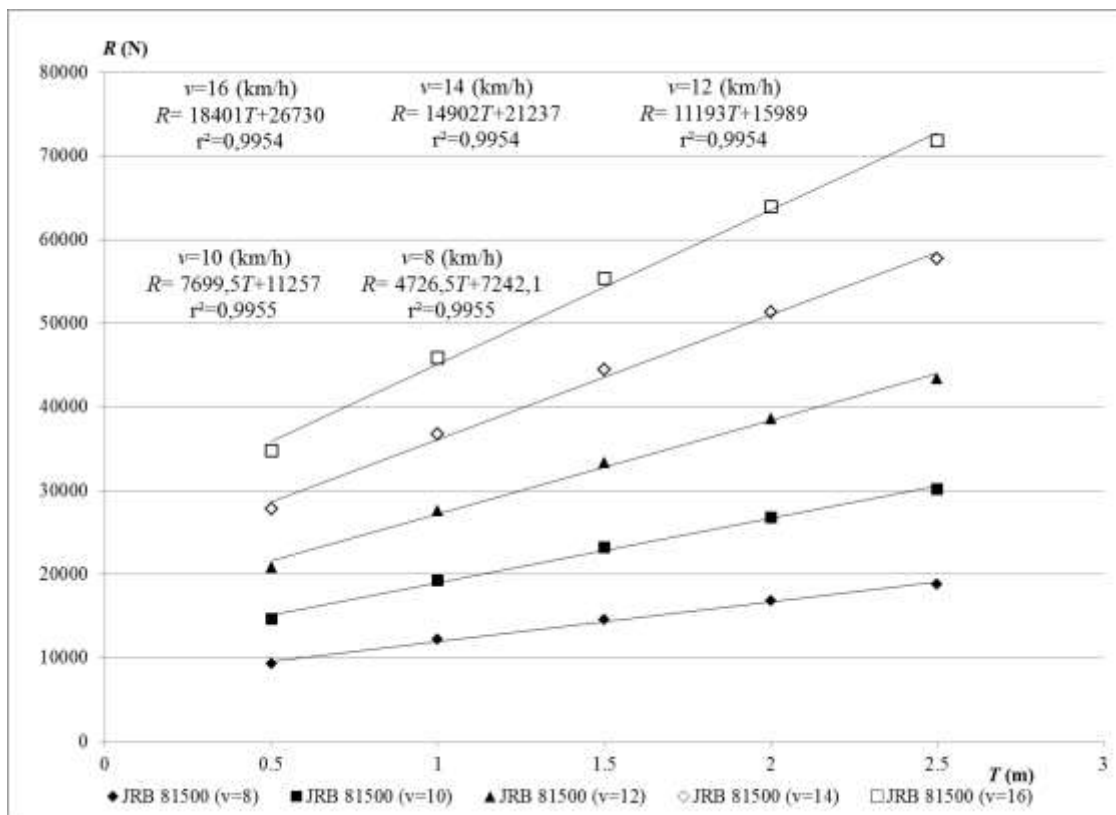
Slika 9.1 Dijagram promene nosivosti potiskivanih teretnjaka u funkciji gaza, $Q_e=f(T_e)$, za simetrične potisnice tipa $Q_r=1466 \text{ t}$, $Q_r=732 \text{ t}$ i nesimetrične $Q_r=1690 \text{ t}$ i $Q_r=1260 \text{ t}$



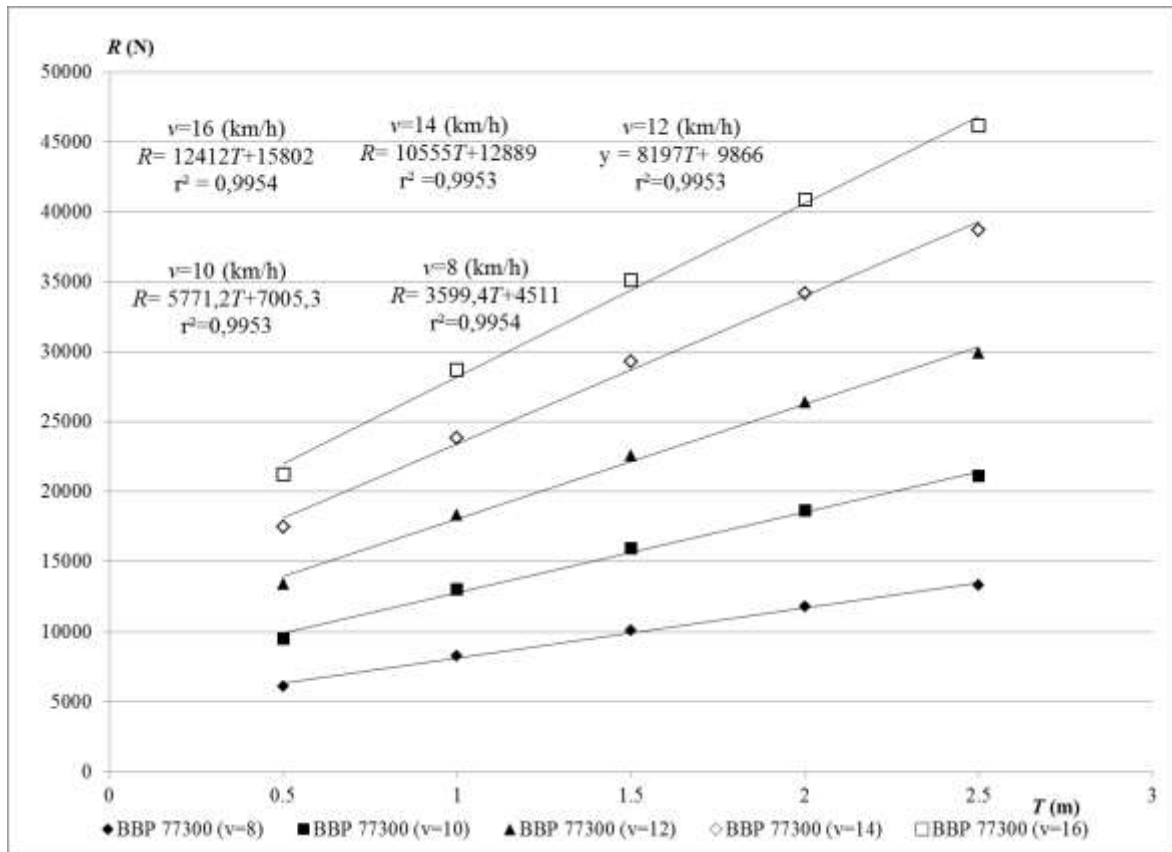
Slika 9.2 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih teretnjaka, $R=f(v)$, za simetrične potisnice tipa $Q_r=1466 \text{ t}$, $Q_r=732 \text{ t}$ i nesimetrične $Q_r=1690 \text{ t}$ i $Q_r=1260 \text{ t}$ za $T_e=T_r$



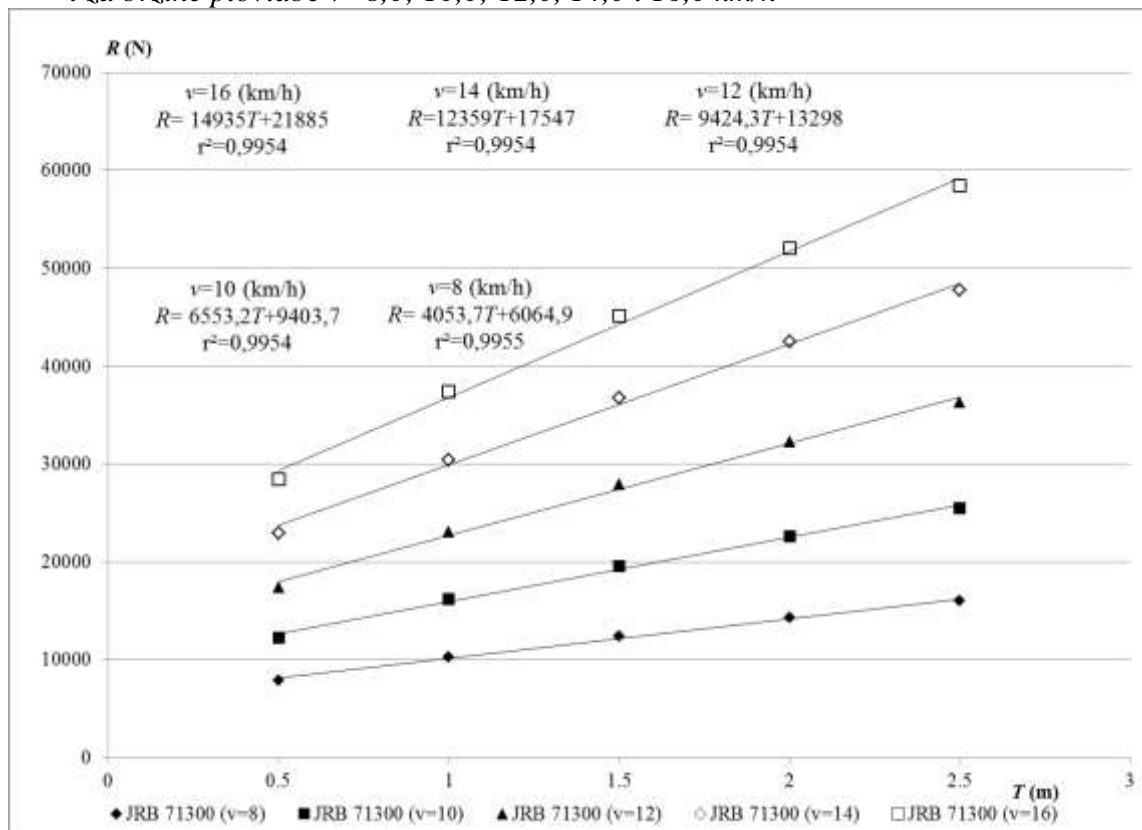
Slika 9.3 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih teretnjaka, $R=f(T)$, tipa $Q_r=1466$ t za brzine plovidbe $v=8,0; 10,0; 12,0, 14,0$ i $16,0$ km/h



Slika 9.4 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih teretnjaka, $R=f(T)$, tipa $Q_r=1690$ t za brzine plovidbe $v=8,0; 10,0; 12,0, 14,0$ i $16,0$ km/h



Slika 9.5 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih teretnjaka, $R=f(T)$, tipa $Q_r=732$ t za brzine plovidbe $v=8,0; 10,0; 12,0, 14,0$ i $16,0$ km/h



Slika 9.6 Dijagram promene ukupnog otpora potiskivanih teretnjaka, $R=f(T)$, tipa $Q_r=1260$ t za brzine plovidbe $v=8,0; 10,0; 12,0, 14,0$ i $16,0$ km/h

Redukovani otpor jednog potiskivanog teretnjaka proračunava se pomoću izraza 9.1 (Анфимов, В.Н. i drugi 1974, Головников, В.И. i drugi 1976, Анфимов, В.Н. i drugi 1978, Ваганов, Г.И. i drugi 1986):

$$\bar{r} = \frac{\bar{R}_r - \bar{R}_0}{T_r - T_0} \quad 9.1$$

pri čemu su:

\bar{R}_r – vrednost redukovanog otpora potiskivanog teretnjaka pri najvećem gasu, T_r ;

\bar{R}_0 – vrednost redukovanog otpora potiskivanog teretnjaka pri najmanjem gasu, T_0 .

Veličina redukovanog otpora potiskivanog teretnjaka pri najvećem gasu (T_r) podrazumeva njegov ukupni otpor (R_r) u odnosu na brzinu plovidbe od 1,0 m/s, dok veličina redukovanog otpora potiskivanog teretnjaka pri najmanjem gasu (T_0) podrazumeva, takođe, ukupni otpor (R_0) u odnosu na brzinu kretanja od 1,0 m/s, što je prikazano izrazima 9.2 i 9.3:

$$\bar{R}_r = \frac{R_r}{v^2} \quad 9.2$$

$$\bar{R}_0 = \frac{R_0}{v^2} \quad 9.3$$

Zbog potreba planiranja rada brodova-potiskivača neophodno je poznavanje veličine redukovanog otpora jednog potiskivanog teretnjaka za bilo koju vrednost gaza (kada $T_e \neq T_r$), što se računa pomoću izraza 9.4:

$$\bar{R}_e = \bar{R}_r - \bar{r} \cdot (T_r - T_0) \quad 9.4$$

pri čemu su:

\bar{R}_e – vrednost redukovanog otpora potiskivanog teretnjaka pri bilo kom gasu, T_e .

Na slici 9.7 prikazani su dijagrami promene redukovanog otpora, $\bar{R} = f(T)$, potiskivanih teretnjaka simetričnog tipa $Q_r=1466$ t i $Q_r=732$ t i teretnjaka nesimetričnog tipa, $Q_r=1260$ t i $Q_r=1690$ t i za slučaj njihovog najvećeg gaza, tj. kada je $T_e=T_r$.

Redukovani otpor potiskivanog sastava $\left(\bar{R}_{sast} = \frac{R_{sast}}{v^2} \right)$, kojeg čini n potiskivanih teretnjaka istog tipa i jednakog gaza može da se odredi, takođe, i ukoliko su poznate vrednosti redukovanog otpora svakog od njih, prema izrazu (9.5):

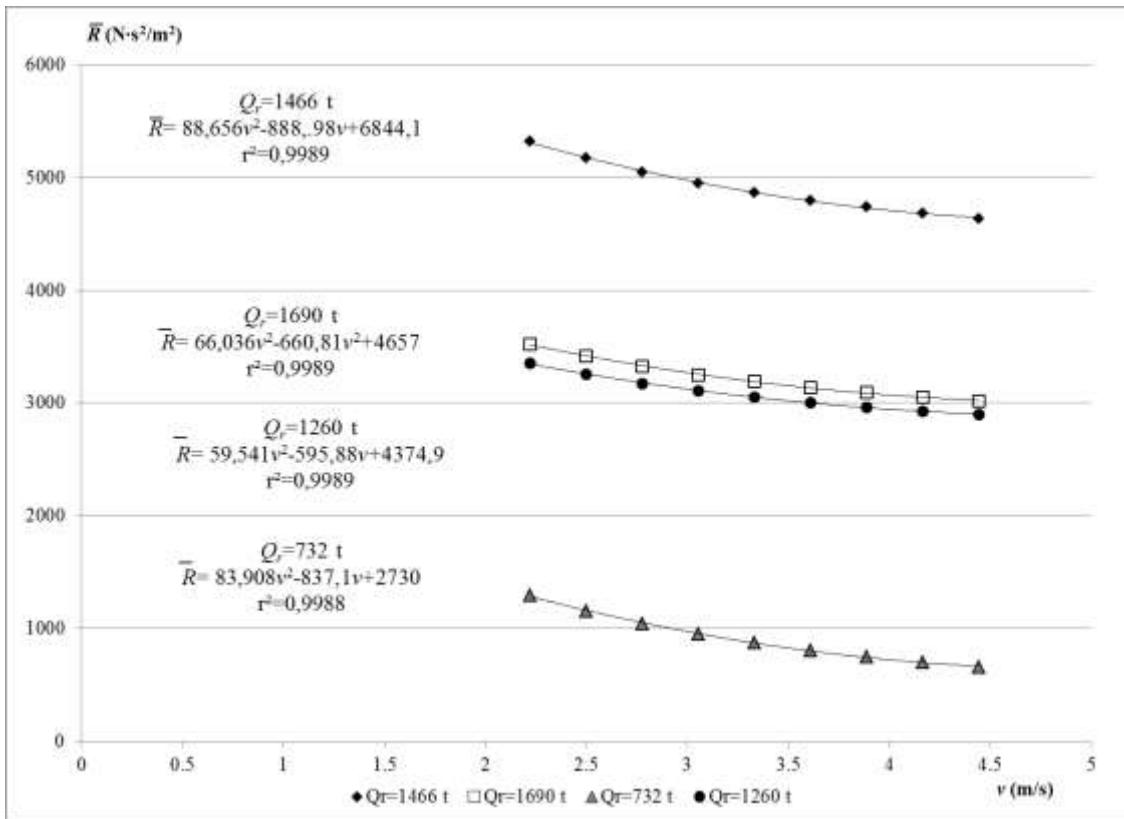
$$\bar{R}_{sast} = k_{sast} \cdot \sum_{i=1}^n \bar{R}_i \quad 9.5$$

gde su:

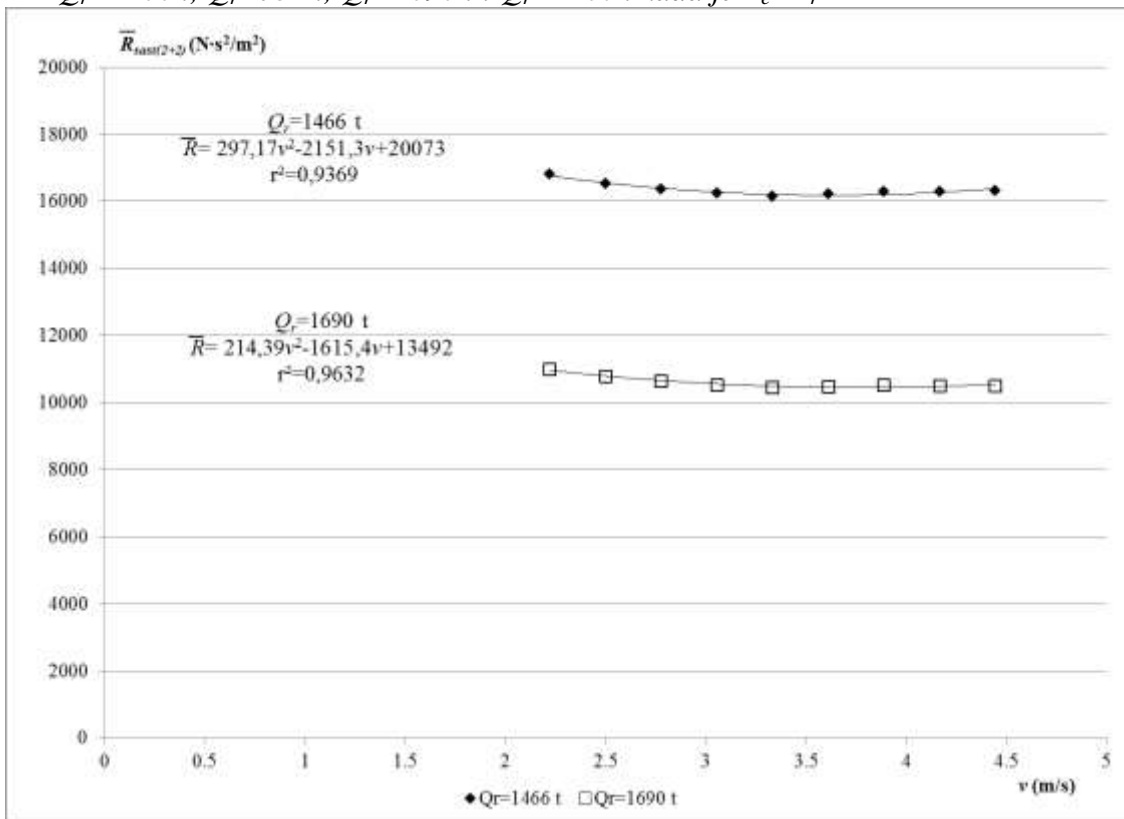
k_{sast} – koeficijent oblika potiskivanog sastava poznatog oblika,

\bar{R}_i – redukovani otpor svakog od teretnjaka koji čine jedan potiskivani sastav.

Na dijagramima, slika 9.8 prikazuju su redukovani otpori potiskivanih sastava oblika 2+2, koje čine potiskivani teretnjaci simetričnog oblika trupa tipa $Q_r=1466$ t i potiskivani teretnjaci nesimetričnog oblika trupa, tipa $Q_r=1690$ t za slučaj kada je $T_e=T_r$.



Slika 9.7 Dijagram promene redukovanog otpora, $\bar{R} = f(v)$, potiskivanih teretnjaka tipa $Q_r = 1466 \text{ t}$, $Q_r = 732 \text{ t}$, $Q_r = 1690 \text{ t}$ i $Q_r = 1260 \text{ t}$ kada je $T_e = T_r$



Slika 9.8 Dijagram promene redukovanog otpora potiskivanih sastava oblika 2+2, $\bar{R}_{sast(2+2)}$, formiranih od potiskivanih teretnjaka tipa $Q_r = 1466 \text{ t}$ i $Q_r = 1690 \text{ t}$ kada je $T_e = T_r$

10 PREDLOG METODA ZA REŠAVANJE ZADATAKA PREVOŽENJA

Kao što je napomenuto, u realnoj eksploatacionoj prilikom planiranja rada brodova nastaje neophodnost rešavanja različitih zadataka koji se odnose na određivanje brzine kretanja potiskivanih sklopova/sastava različitih karakteristika. Principijelno, moguće su tri metode rešavanja takvih zadataka, i to: analitička, grafička i dispečerska.

Kako bi se zadaci transporta u brodarskim kompanijama rešavali primenom *bilo koje od metoda* tokom postupka planiranja rada brodova neophodno je poznavanje, kako je navedeno, tehničkih i eksploatacionih karakteristika brodova. Optimalni način organizacije prevoženja u rečnom saobraćaju zahteva detaljno poznavanje svih karakteristika sistema, kako plovni objekata (potiskivača i potiskivanih teretnjaka), tako i karakteristika plovni puteva.

Kod potiskivanih teretnjaka potrebno je znati veličine ukupnog otpora pojedinih tipova plovila kako za razne veličine gaza i različite brzine kretanja, tako i različite dubine plovni puteva. Isto tako, trebalo bi uzeti u obzir i povećanje ukupnog otpora na onim delovima plovni puteva koji se odlikuju malim dubinama. Nabrojane podatke potrebno je prikupiti na osnovu sistematski urađenih dinamometrijskih ispitivanja na određenim sektorima plovni puta čije su karakteristike poznate ili proračunate pomoću poznatih metoda.

Kod brodova-potiskivača neophodno je utvrditi silu potiskivanja u zavisnosti od brzine plovidbe potiskivanih sklopova. I pored poznatih računskih metoda kojima se određuje intenzitet sile potiskivanja broda, ova sila može da se odredi dovoljno tačno jedino pomoću dinamometrijskih ispitivanja u realnim uslovima plovidbe pri raznim brzinama plovidbe i za različite režime rada pogonskih motora.

Sva ispitivanja treba da budu sistematska i dovoljno obimna kako bi se dobili i drugi važni podaci, kao što su podaci o radu motora i propulzora, snazi i broju obrtaja, ukupnoj i specifičnoj potrošnji goriva.

Treći neophodni uslov za primenu neke od metoda u organizaciji vodnog prevoženja je poznavanje plovni puta. Savremena eksploatacija brodova unutrašnje plovidbe ne može da se zamisli bez dobrog poznavanja osnovnih karakteristika plovni puteva, kao što su: uzdužni i poprečni profili rečnih korita, ispitivanje brzina rečnog toka pri različitim vodostajima, određivanje dubine za različite vodostaje i dr.

Analitička metoda organizacije prevoženja sastoji se u definisanju zavisnosti veličine ukupne sile propulzije koju razvijaju svi kompleksi propeler-sapnica na brodu, $F_p = f(v, n, N_p)$ i ukupnog otpora potiskivanog sklopa, R_{skl} , u funkciji brzine kretanja v . Budući da, u tezi nije razrađena metoda proračuna sile propulzije kompleksa propeler-sapnica (tj. potisne sile broda-potiskivača) na osnovu, eksperimentima određenih veličina snage

predate na propeler N_p , broja obrtaja propelerskih vratila n i brzine plovidbe u odnosu na vodu v , **analitička metoda neće biti predmet teze.**

Grafička metoda, bazira se na jednakosti pri kojoj je pri ravnomernom kretanju, efektivna potisna sila broda-potiskivača (F_p) jednaka ukupnom otporu sklopa potiskivanih

$$\text{teretnjaka, } F_p = R_{skl} = k_{sast} \cdot \sum_{i=1}^n R_i \cdot$$

Postupak rešavanja zadatka prevoženja započinje eksperimentima, pri kojima se mere osnovni parametra brodova-potiskivača u realnim uslovima plovidbe za, što je moguće više pravilnih oblika potiskivanih sklopova, kojom prilikom se posebna važnost pridaje izmerenim brzinama plovidbe u odnosu na vodu v . Potiskivani teretnjaci od kojih su oblikovani sastavi treba da budu istog tipa, identičnih dimenzija i deplasmana, kao i da su svi utovareni na najveći gaz. Brzina plovidbe u odnosu na vodu v , potrebna za proračun, očitava se u slučajevima kada pogonski motori broda-potiskivača rade u režimu najvećeg punjenja, koji odgovara režimu trajnog pogona za sve usvojene oblike sastava. Na osnovu ispitivanih oblika potiskivanih sastava, izmerenih brzina v i poznatih vrednosti koeficijenata oblika k_{sast} (koji se biraju prema brzini plovidbe i relativnoj dubini h/T) pristupa se proračunu ukupnog otpora

svakog od usvojenih oblika sastava, $\sum_{i=1}^n R_i$, pri čemu su n – broj potiskivanih teretnjaka u

sastavu i R_i – ukupni otpor jednog potiskivanog teretnjaka iz sastava. Na osnovu izračunatih

vrednosti ukupnog otpora svakog sastava, $k_{sast} \cdot \sum_{i=1}^n R_i$, pristupa se konstrukciji odgovarajuće

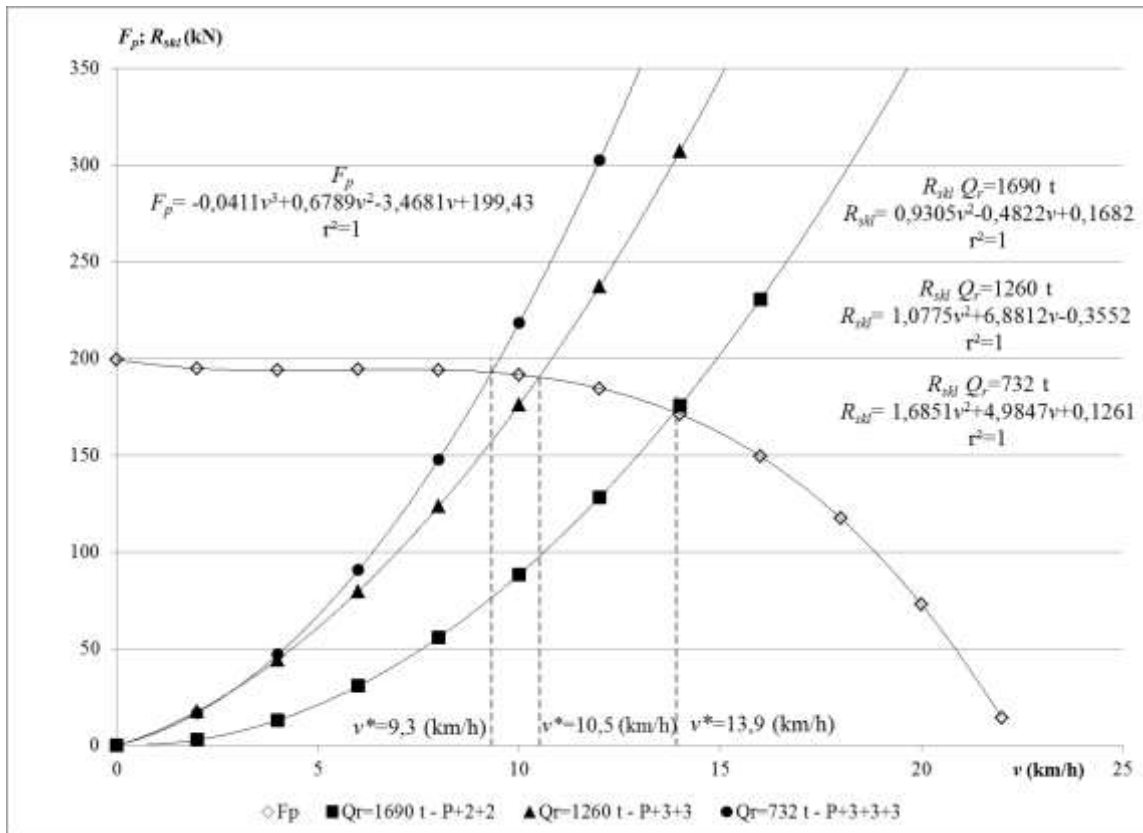
integralne krive promene potisne sile što je u slučaju za, na primer, brodove-potiskivače tipa koji poseduju istovetne eksploatacione i geometrijske karakteristike i jednake snage pogonskih motora koja iznosi $\Sigma N_i = 758,08$ kW, prikazano na slici 10.1. Na istoj slici istovremeno su prikazane krive promene ukupnog otpora potiskivanih sklopova oblika P+3+3+3 (potisnice simetričnog tipa $Q_r = 732$ t, ukupna nosivost sastava $\Sigma Q_e = 6.587,919$ t), P+3+3 (potisnice nesimetričnog tipa $Q_r = 1260$ t, ukupna nosivost sastava $\Sigma Q_e = 7.568,196$ t) i P+2+2 (potisnice nesimetričnog tipa $Q_r = 1690$ t, ukupna nosivost sastava $\Sigma Q_e = 6.762,427$ t).

U drugom koraku rešavanja zadatka, očitava se tačka preseka krive promene potisne

sile broda-potiskivača (F_p) i krive promene ukupnog otpora sklopa ($\sum_{i=1}^n R_i$) kojim treba da se

obavi transportni zadatak. Uočena tačka preseka projektuje se na apscisnu osu i očitava očekivana brzina plovidbe u odnosu na vodu. Zadatkom je zamišljeno da jedan od imenovanih brodova-potiskivača obavi prevoz tereta utovarenog u potisnice simetričnog tipa $Q_r = 732$ t, i nesimetričnog tipa $Q_r = 1260$ t i $Q_r = 1690$ t postavljenih u formacije različitih oblika i nosivosti. Sa slike 10.1 vidi se da postoje tri tačke preseka, koje projektovane na apscisnu osu određuju očekivane brzine plovidbe v^* , i to: sklop oblika P+3+3+3 ($Q_r = 732$ t, $\Sigma Q_e = 6.587,919$ t) očekivane brzine $v^* = 9,3$ km/h; sklop oblika P+3+3 ($Q_r = 1260$ t,

$\Sigma Q_e=7.568,196$ t) očekivane brzine $v^*=10,5$ km/h i sklop oblika P+2+2 ($Q_r=1690$ t, $\Sigma Q_e=6.762,427$ t) sa očekivanom brzinom $v^*=13,9$ km/h.



Slika 10.1 Dijagram promene sile potiskivanja brodova-potiskivača tipa $\Sigma N_i=758,08$ kW

Proračunom rezultativnog pokazatelja po brzini $P_r(v)$ za navedena tri slučaja prevoženja dobijaju se sledeće vrednosti:

- ▶ $P_{r(Q_r=732t)} = \frac{\Sigma Q_e}{\Sigma N_i} \cdot v = \frac{6.587,919}{758,08} \cdot 9,3 = 80,8195$ tkm/kWh;
- ▶ $P_{r(Q_r=1260t)} = \frac{\Sigma Q_e}{\Sigma N_i} \cdot v = \frac{7.568,196}{758,08} \cdot 10,5 = 104,8254$ tkm/kWh;
- ▶ $P_{r(Q_r=1690t)} = \frac{\Sigma Q_e}{\Sigma N_i} \cdot v = \frac{6.762,427}{758,08} \cdot 13,9 = 123,9944$ tkm/kWh.

Rezultati proračuna rezultativnog pokazatelja, $P_r(v)$, pokazuju izrazitu prednost upotrebe potiskivanih sastava oblikovanih od manjeg broja potiskivanih teretnjaka nesimetričnog oblika trupa, ali većih nosivosti $Q_r=1690$ t u odnosu na sastave koji sadrže veći broj potiskivanih teretnjaka, simetričnog oblika trupa, i manjih nosivosti ($Q_r=732$ t) – pri, gotovo, jednakoj ukupnoj nosivosti sastava.

Kako bi se zadaci transporta u brodarskim kompanijama rešavali primenom *dispečerske metode* tokom postupka planiranja rada brodova neophodno je poznavanje, kako

je navedeno u uvodu ovog poglavlja, tehničkih i eksploatacionih karakteristika brodova. Osim toga, dispečerski sistem organizacije prevoženja u rečnom saobraćaju zahteva detaljno poznavanje kako plovnih objekata (potiskivača i potiskivanih teretnjaka), tako i karakteristika plovnih puteva.

Kada postoje sređeni podaci o potiskivanim teretnjacima, brodovima-potiskivačima i plovnim putevima dispečerski sistem organizacije prevoženja u rečnom saobraćaju u stanju je da rešava tri vrste zadataka, i to:

1. određivanje brzine kretanja sastava ukoliko su poznate karakteristike broda-potiskivača i potiskivanih teretnjaka od kojih se oblikuju sastavi;
2. izbor sastava potiskivanih teretnjaka kada su poznate karakteristike broda-potiskivača i kada je zadata brzina plovidbe;
3. izbor broda-potiskivača za poznate karakteristike sastava teretnjaka pri zadatoj brzini.

Dispečerska metoda rešavanja odnosa brod (potiskivač)-potiskivani sastava zasniva se na primeni redukovanih veličina. Poznato je, da se veličina redukovanog otpora potiskivanog sklopa proračunava pomoću izraza $\bar{R}_{skl} = \frac{R_{skl}}{v^2}$. Takođe, na sličan način redukovana potisna sila kompleksa propeler-sapnica (\bar{F}_p) proračunava se pomoću izraza 10.1:

$$\bar{F}_p = \frac{F_p}{v^2} \quad 10.1$$

pri čemu je F_p – ukupna potisna sila koja se razvija pri potiskivanju sklopa/sastava.

Zna se da, pri ravnomernom kretanju potiskivanih sklopova, važi jednakost $F_p=R_{skl}$, na osnovu koje može da se napiše, da je redukovana potisna sila broda-potiskivača jednaka redukovanom otporu sklopa, tj. $\bar{F}_p = \bar{R}_{skl}$.

Primenom dispečerske metode brzina plovidbe u odnosu na vodu (v) potiskivanih sklopova određuje se prema sledećem redosledu:

1. Računska brzina kretanja potiskivanog sklopa (v_T) računa se pomoću izraza poznatih u literaturi,
2. Za poznatu veličinu koeficijenta povratnog strujanja, ψ_s , pristupa se proračunu redukovane sile potiskivanja od strane broda-potiskivača.

Opisani postupak može da se koristi samo pod uslovom da su poznate potisne sile brodova-potiskivača proračunate na temelju izmerenih vrednosti eksperimentima određenih veličina snage predate na propeler N_p , broja obrtaja propelerskih vratila n i brzine plovidbe u odnosu na vodu v , tj. kada je $F_p = f(v, n, N_p)$, što nije bilo tema ove teze.

Za razliku od nabrojanih metoda kojima se proračunava veličina ukupnog otpora potiskivanih sastava i sklopova dispečerska metoda, zasnovana na redukovanim veličinama, u postupku proračuna ukupnog otpora potiskivanih sastava ne koristi vrednosti koeficijenta

oblika sastava k_{sast} . Upotreba koeficijenta oblika sastava k_{sast} zahteva poznavanje i ispunjenje nekoliko uslova, kao što su:

- potiskivani sastavi moraju da budu formirani od potiskivanih teretnjaka identičnog tipa, tako da se ne razlikuju po dimenzijama, deplasmanu i nosivosti;
- potiskivani teretnjaci treba da budu utovareni na najveći gaz, kada je $T_e = T_r$;
- vrednosti koeficijenta oblika potiskivanih sastava prikazani su prema obliku sastava i nalaze se u precizno definisanim granicama;
- prilikom izbora vrednosti koeficijenta oblika sastava nije poznata brzina plovidbe prema kojoj su ove vrednosti iskazane.

U dostupnoj literaturi, niti u jednom slučaju, nisu navedeni uslovi pod kojima su koeficijenti oblika sastava utvrđeni, tj. nije poznato, da li su izračunati na osnovu ispitivanja u realnim uslovima na plovnom putu (dubina i brzina rečnog toka, tip potiskivanih teretnjaka, brzina plovidbe tokom eksperimenata) ili su izračunati na osnovu obavljenih eksperimenata u istraživačkim bazenima. Literatura objavljena na našem jeziku (Kreculj i Čolić 1982) iznosi vrednosti koeficijenata oblika potiskivanih sastava k_{sast} , na osnovu malog broja obavljenih eksperimenata sa modelima potiskivanih teretnjaka u istraživačkim bazenima, pri čemu su precizno navedeni uslovi pri kojima su eksperimenti obavljeni (tip potiskivanog teretnjaka, veličina gaza, oblik sastava, brzina kretanja u mirnoj vodi). Međutim, navedene vrednosti koeficijenata nemaju potvrdu dobijenu na osnovu eksperimenata izvršenih sa realnim potiskivanim teretnjacima u realnim uslovima plovidbe.

Primena dispečerske metode definisana je sledećim redosledom:

- ▶ utvrđivanje tipa potiskivanih teretnjaka koji čine potiskivani sastav (glavne dimenzije, deplasman, registrovana nosivost, stvarno utovarena količina tereta u potisnicu);
- ▶ definisanje oblika potiskivanog sastava;
- ▶ definisanje uslova plovidbe na projektovanom putu prevoženja (visina vodostaja, dubina, brzina rečnog toka);
- ▶ proračun ukupnog otpora jednog potiskivanog teretnjaka prema poznatim parametrima, a potom celokupnog potiskivanog sastava pod uslovim da u plovnom putu ima dovoljne dubine i širine;
- ▶ ukoliko je to potrebno, pristupiti proračunu ukupnog otpora potiskivanog teretnjaka i sastava kao celine za slučaj da u plovnom putu postoji ograničenje po dubini;
- ▶ proračunava se veličina redukovano otpora potiskivanog sastava;
- ▶ proračunava se ukupna veličina potisne sile broda-potiskivača, a potom redukovane vrednosti potisne sile;
- ▶ pristupa se analizi izračunatih vrednosti veličine redukovano ukupnog otpora potiskivanog sastava i redukovane potisne sile broda-potiskivača.

U postupku izlaganja mogućnosti grafičke metode rešavanja zadataka prevoženja prikazan je problem kada prevoz treba da se realizuje pomoću potiskivanih teretnjaka istovetnog tipa i potiskivanih sklopova pravilnih oblika. Postavlja se pitanje, kako rešiti

problem prevoza, tj. koji brod-potiskivač odaberi ili kojom brzinom će se kretati potiskivani sastav ukoliko je poznat brod, kada potiskivani sastav nema pravilni oblik, niti su teretnjaci istog tipa i nisu utovareni na jednaku veličinu gaza – što je u realnoj eksploataciji, gotovo, svakodnevna pojava.

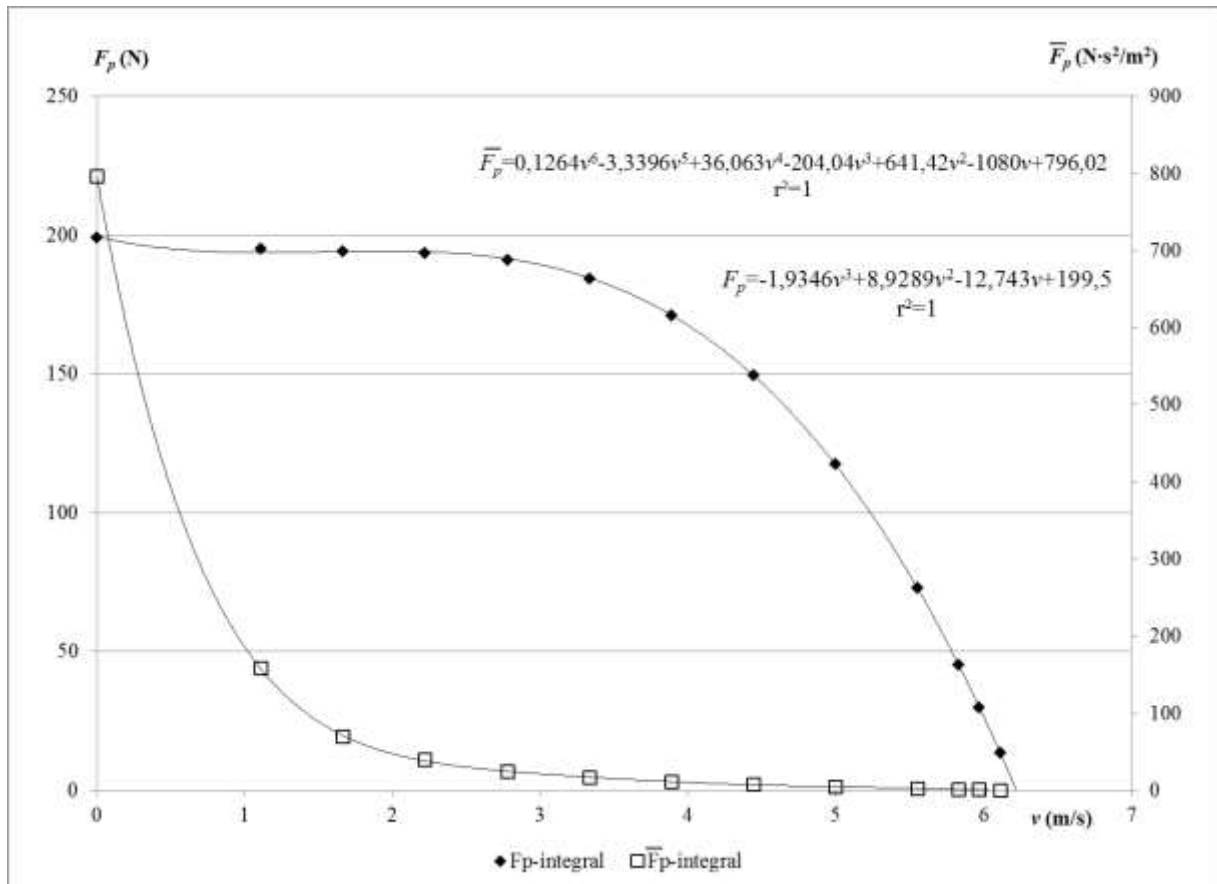
Na primer: Da li može brod-potiskivač čije karakteristike odgovaraju karakteristikama potiskivačima tipa $\Sigma N_i=758,08$ kW da obezbedi ravnomernu brzinu plovidbe u odnosu na vodu od $v=12,0$ km/h, potiskivanog sastava kojeg čini 6 potiskivanih teretnjaka, i to:

- potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1690$ t, ukupne nosivosti $Q_e=1416,0$ t;
- potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1690$ t, ukupne nosivosti $Q_e=1512,0$ t;
- potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1260$ t, ukupne nosivosti $Q_e=1110,0$ t;
- potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1260$ t, ukupne nosivosti $Q_e=996,0$ t;
- potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1260$ t, ukupne nosivosti $Q_e=1005,0$ t;
- potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1260$ t, ukupne nosivosti $Q_e=1078,0$ t;
- što čini ukupno $\Sigma Q_e=7.117$ t.

Postupak rešavanja zadatka prevoza sastoji se iz sledećih koraka:

1. Primenom izraza (7.13) ili dijagrama, slika 9.1, na osnovu poznatih nosivosti svakog od potiskivanih teretnjaka utvrđuje se stvarna veličina gaza, i to:
 - potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1690$ t, ima gaz $T_{e(Q_e=1416,0)}=2,132$ m;
 - potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1690$ t, ima gaz $T_{e(Q_e=1512,0)}=2,250$ m;
 - potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1260$ t ima gaz $T_{e(Q_e=1110,0)}=2,068$ m;
 - potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1260$ t ima gaz $T_{e(Q_e=996,0)}=1,893$ m;
 - potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1260$ t ima gaz $T_{e(Q_e=1005,0)}=1,907$ m;
 - potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1260$ t ima gaz $T_{e(Q_e=1078,0)}=2,033$ m.
2. Za poznatu veličinu gaza svakog potiskivanog teretnjaka proračunava se vrednost ukupnog otpora za zadatu brzinu plovidbe $v=12,0$ km/h. Na osnovu krivih promene otpora teretnjaka (slike 9.4 i 9.6) sledi:
 - potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1690$ t, ima ukupni otpor $R_{(T=2,132m)}=39.852,476$ N;
 - potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1690$ t, ima ukupni otpor $R_{(T=2,250m)}=41.173,250$ N;
 - potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1260$ t ima ukupni otpor $R_{(T=2,068m)}=32.787,452$ N;
 - potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1260$ t ima ukupni otpor $R_{(T=1,893m)}=31.986,386$ N;
 - potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1260$ t ima ukupni otpor $R_{(T=1,907m)}=31.270,140$ N;
 - potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1260$ t ima ukupni otpor $R_{(T=2,033m)}=32.457,602$ N.

3. Na osnovu poznatih vrednosti ukupnog otpora potiskivanih teretnjaka i poznate brzine plovidbe $v=12,0$ km/h (3,3333 m/s) ili dijagrama, slika 9.7, određuje se veličina redukovano otpora za svaki od potiskivanih teretnjaka:
 - potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1690$ t ima izračunat redukovani otpor $\bar{R}_{T=2,132}=3.586,794 \text{ N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^2$;
 - potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1690$ t ima izračunat redukovani otpor $\bar{R}_{T=2,250}=3.705,666 \text{ N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^2$;
 - potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1260$ t ima izračunat redukovani otpor $\bar{R}_{T=2,068}=2.950,929 \text{ N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^2$;
 - potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1260$ t ima izračunat redukovani otpor $\bar{R}_{T=1,893}=2.878,832 \text{ N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^2$;
 - potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1260$ t ima izračunat redukovani otpor $\bar{R}_{T=1,907}=2.814,368 \text{ N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^2$;
 - potiskivani teretnjak, nesimetričnog tipa $Q_r=1260$ t ima izračunat redukovani otpor $\bar{R}_{T=2,033}=2.921,242 \text{ N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^2$.
4. Redukovani otpora potiskivanog sastava (ukupna veličina redukovano otpora svih teretnjaka u pretpostavljenom sastavu) iznosi $\Sigma\bar{R}_{sast}=18.857,831 \text{ N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^2$.
5. Redukovana potisna sila broda-potiskivača predloženog tipa, na osnovu proračuna (slika 10.2), iznosi $\bar{F}_p=16.607,816 \text{ N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^2$.
6. Iz uslova da je redukovana potisna sila broda jednaka ukupnom redukovanom otporu potiskivanog sastava, za $\bar{F}_p = \Sigma\bar{R}_{sast}$, sledi da je $\bar{F}_p=16.607,816 \text{ N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^2 < \Sigma\bar{R}_{sast}=18.857,831 \text{ N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^2$. Budući da je redukovana potisna sila potiskivača manja od ukupnog redukovano otpora potiskivanog sastava, brod-potiskivač predloženog tipa ne može da obezbedi traženu brzinu plovidbe $v=12,0$ km/h. Očekivana brzina plovidbe broda sa navedenim sastavom iznosila bi $v^*\approx 11,502$ km/h, što je za 4,146% manje od tražene brzine.



Slika 10.2 Dijagram promene sile potiskivanja i redukovane sile potiskivanja koja odgovara brodovima tipa $\Sigma N_i = 758,08$ kW

O načinima organizacije rada i principima formiranja potiskivanih sklopova pri radu naših brodarskih kompanija detaljno je bilo reči u poglavlju 7. Jasno je, da se u svim analiziranim slučajevima formiranja potiskivanih sklopova rešavalo pitanje: koliko treba da bude veliki potiskivani sastav (broj potisnica, glavne dimenzije, deplasman i nosivost sastava) u odnosu na brod-potiskivač poznatih parametara (glavne dimenzije, deplasman, snaga pogonskih motora, propulzivni kompleks) pri određenoj brzini plovidbe. Tokom sprovedenih istraživanja i rada na tezi, uočen je veliki broj karakterističnih slučajeva koji su se, zapravo, ogledali u nesrazmernoj postavci između tri navedena elementa (sastav teretnjaka – brod – brzina plovidbe) tokom postupaka rešavanja problema transporta. Analiza izloženih rezultata nesumnjivo dokazuje celihodnost plovidbenih, propulzionih i energetskih ispitivanja rečnih brodova sve u cilju postizanja najboljih rezultata tokom dugog perioda eksploatacije brodova i potiskivanih teretnjaka.

11 ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Jedan od osnovnih principa racionalne eksploatacije brodova-potiskivača i potiskivanih sastava sastoji se u najefikasnijem korišćenju propulzivnih i brzinskih svojstava brodova u različitim uslovima plovidbe, što je moguće samo u slučaju kada su dovoljno tačno poznate veličine, kao što su, brzina plovidbe potiskivanih sklopova u odnosu na vodu (v), snaga na propelerskim vratilima (N_e) za različite režime rada pogonskih motora (n), ukupna nosivost potisnica u sastavu (ΣQ_e) i oblik potiskivanog sastava, tip i broj potiskivanih teretnjaka u sastavu i, na kraju, uticaj uslova plovidbe koji se definišu pomoću dubine (h) i relativne dubina (h/T). Na osnovu toga može da se konstatuje da je u rečnom transportu, u prvom redu, potrebno težiti ostvarenju najvećeg stepena korišćenja propulzivnih i brzinskih karakteristika potiskivanih sklopova. Rešenje ovog zadatka smatra se mogućim na osnovu izučavanja zavisnosti propulzivnih i brzinskih karakteristika potiskivanih sklopova/sastava od uslova eksploatacije, oblika, dimenzija, tipa i karakteristika potiskivanih teretnjaka, karakteristika pogonskih uređaja i propulzora i dimenzija plovih puteva.

Tokom rada na tezi i sprovedenih detaljnih istraživanja ustanovljeno je, da se pod radnim karakteristikama broda-potiskivača podrazumevaju odgovarajući grafici i analitički izrazi koji pokazuju promenu efektivne snage izmerene torziometrom na propelerskom vratilu (ili pogonskog motora) i broja obrtaja (n) u funkciji brzine kretanja (v), kao i promene pokazatelja statičkog opterećenja (p), prevoznog učinka (PU), rezultativnog pokazatelja (P_r), kvaliteta tonaže (k_T) i specifičnog otpora po jedinici deplasmana sastava (r_D) ili specifičnog otpora po jedinici nosivosti sastava (r_Q), takođe, u funkciji brzine plovidbe (v). Radne karakteristike odražavaju istovremeno delovanje sva tri dela jedinstvenog kompleksa kojeg čine: oblik i dimenzije potiskivanog sklopa/sastava, kapacitet i mogućnosti brodskog pogonskog i propulzivnog postrojenja pri različitim režimima rada i različitim uslovima eksploatacije.

U postupku izrade teze i prilikom obrade rezultata ispitivanja uočeno je da se jedan broj eksperimenata odvijao na način koji ne doprinosi postavljanju teorijskih definicija kojima treba da se opišu navedene radne karakteristike. To se posebno odnosi na ona ispitivanja tokom kojih je postojao samo jedan režim rada pogonskih motora (režim trajnog pogona) ili, pak, ispitivanja samo jednog oblika potiskivanog sastava. Budući da se rezultati istraživanja predstavljaju grafički, dijagramima u koordinatnom sistemu, i analitičkim izrazom ovakva ispitivanja definisana su samo jednom tačkom u koordinatnom sistemu, što nije dovoljno za objektivno donošenje zaključka. Potrebno je posebno istaći da je tokom sprovedenih eksperimenata u realnim uslovima plovidbe, pri različitim režimima i uslovima rada brodova, vrlo mala pažnja posvećivana merenjima potrošnje pogonskog goriva.

Takođe, treba napomenuti, da se tokom ispitivanja propulzivnih i radnih karakteristika brodova tokom ispitivanja u plovidbi pojavio veliki broj sklopova/sastava nepravilnog oblika.

Nepravilnost oblika potiskivanih sastava nastaje kao posledica dnevnih zahteva koji se postavljaju pred brodove u procesu eksploatacije.

Osnovna zapažanja koja se odnose na rad brodova potiskivača analiziran na osnovu eksploatacionih pokazatelja su:

1. Statičko opterećenja pogonskih motora (p , t/kW) je pokazatelj o kojem se nedovoljno vodilo računa u dosadašnjoj praksi eksploatacije naših brodarskih preduzeća. U tezi sprovedeni proračuni pokazali su da, sa povećanjem vrednosti pokazatelja statičkog opterećenja dolazi do smanjenja brzine plovidbe potiskivanih sklopova u odnosu na vodu (v), ali se istovremeno povećavaju vrednosti prevoznog učinka (PU , tkm/h) i rezultativnog pokazatelja proizvodnje (P_r , tkm/kWh). Važi, takođe, i obratna tvrdnja, sa smanjenjem statičkog opterećenja snage opada i prevozni učinak, iako je brzina plovidbe u porastu. Međutim, potrebno je uočiti da bi, sa stalnim povećavanjem veličine statičkog opterećenja brzina plovidbe nesrazmerno opadala što bi, takođe, dovelo do smanjenja prevoznog učinka i rezultativnog pokazatelja proizvodnje. Tokom rada na tezi uočeno je da se, u praksi brodarskih preduzeća, povećanju vrednosti statičkog opterećenja pristupalo tako što je povećavan broj potiskivanih teretnjaka u sastavima pa, čak, i dodavanjem tegljenih teretnjaka različitih tipova što je, u potpunosti, remetilo kompaktnost potiskivanog sastava. Razume se, ovakav način oblikovanja potiskivanih sastava još brže je doprinio smanjivanju brzine plovidbe i opadanju vrednosti prevoznog učinka i rezultativnog pokazatelja proizvodnje.

Od posebne važnosti je jedna činjenica koju treba posebno istaći, a odnosi se na vrednosti statičkog opterećenja pogonskih motora brodova-potiskivača prilikom kontrolnih merenja njihovih radnih parametara u realnim uslovima plovidbe. Naime, iz dostupne dokumentacije uočeno je da su sa dva broda-potiskivača istog tipa (snage pogonskih motora $\Sigma N_i=758,08$ kW) obavljena dva ispitivanja u različitim vremenskim presecima eksploatacije. Tokom prvog eksperimenta, na propelerskim vratilima izmerena je ukupna snaga sa veoma malim gubicima u prenosu, u iznosu $\Sigma N_e=721,3$ kW ($\eta_{pr}=0,9515$) dok je brzina u odnosu na vodu bila $v=11,6$ km/h. U drugom eksperimentu, sedam godina kasnije, ustanovljena je ukupna snaga na propelerskim vratilima $\Sigma N_e=548,6$ kW ($\eta_{pr}=0,7236$) uz brzinu plovidbe $v=10,919$ km/h. Nosivost sastava u prvom slučaju iznosila je $\Sigma Q_e=5865,25$ t, a u drugom - $\Sigma Q_e=5864,675$ t. Na osnovu podataka prvog eksperimenta sledi pokazatelj statičkog opterećenja $p=8,1314$ t/kW, a tokom drugog eksperimenta $p=10,6902$ t/kW. Rezultativni pokazatelj broda posle prvog eksperimenta imao je izuzetnu vrednost $P_r=94,3253$ tkm/kWh, a posle drugog eksperimenta - $P_r=116,7269$ tkm/kWh. Očigledno je da se dogodio paradoks u eksploataciji takav da, brod sa snagom pogonskih motora koja u drugom eksperimentu ima smanjenje za 23,94% u odnosu na prvi eksperiment ostvari bolji rezultativni pokazatelj za 23,74% - zahvaljujući nerealnom povećanju vrednosti statičkog opterećenja za 31,46%. U isto vreme, brzina plovidbe bila je smanjena samo za 5,87%.

2. Oblik potiskivanog sastava, kojem se pridodaje brod-potiskivač, bira se iz uslova postizanja više zahteva, kao što su: obezbeđenje zadate nosivosti, specifičnost eksploatacije, uslovi u plovnom putu, upravljivost i td. Osim toga, jedan od glavnih zahteva koji se odnosi na oblik sastava je potreba za ispunjenjem njegovih maritimnih svojstava, tj. potrebno je smanjiti, koliko god je to moguće, veličinu ukupnog otpora vode pri kretanju. Analizom rezultata ispitivanja brodova u realnim uslovima plovidbe uočeno je da oblik sastava u velikoj meri zavisi od tipa i veličine (glavne dimenzije, deplasman, nosivost) potisnica od kojih je sastav formiran. U tom smislu, brodarstva koja u svom plovnom parku imaju potisnice manjih dimenzija (npr., tip $Q_r=732$ t ili $Q_r=805$ t) u redovnu eksploataciju puštaju sastave u kojima se nalazi od 9 do 12 potiskivanih teretnjaka, za razliku od brodarstava koja poseduju teretnjake znatno većih dimenzija, deplasmana i nosivosti (npr., tip $Q_r=1466$ t, $Q_r=1522$ t, $Q_r=1693$ t, $Q_r=1730$ t) čiji sastavi sadrže između 4 i 6 potisnica. Ove okolnosti imaju veoma veliku važnost kada se raspravlja o ukupnom otporu tako oblikovanih sastava i, razume se, na veličine kao što su prevozni učinak, rezultativni pokazatelj proizvodnje, kvalitet tonaže (k_T) i specifični otpor po jedinici nosivosti (r_Q) ili po jedinici deplasmana (r_D).

Značaj oblikovanja potiskivanog sastava najbolje je opisati na osnovu sprovedenih ispitivanja i eksperimenata u realnim uslovima plovidbe broda-potiskivača snage pogonskih motora $\Sigma N_i=758,08$ kW pri plovidbi sa potisnicama identičnog tipa ($Q_r=1466$ t) utovarenih na najveći gaz ($Q_e=Q_r=1466$ t). Eksperiment sa sastojao u utvrđivanju eksploatacionih parametara u uslovima kada brod radi sa 3 potiskivana teretnjaka ($\Sigma Q_e=4.398$ t), postavljenih u različite oblike, što je prikazano u posebnoj tabeli 11.1.

Tabela 11.1 Rezultati uporednih ispitivanja potiskivanih sklopova koji sadrže tri istovetne potisnice

Oblik sklopa	L_{sast}/B_{sast}	P_r (tkm/kWh)	k_T (t/N·m ² /s ²)	r_D (N/t _{depl.})
P+1+1+1	17,63	84,291	0,3361÷0,4435	11,4998÷26,6925
P+2+1 (nesim)	5,87	80,344	0,3565÷0,3935	10,8428÷30,0853
P+2+1 (sim)	5,87	81,238	0,4130÷0,4069	9,3591÷29,0977
P+3	1,9597	73,890	0,4814÷0,3048	8,0306÷38,8352

Posebnu pažnju zaslužuju diskusiju rezultati koje ostvaruju sklopovi oblika P+1+1+1 i P+2+1 (u oba slučaja). Pri ovim ispitivanjima pokazalo se da odnos dužine sastava prema njegovoj širini (L_{sast}/B_{sast}) igra važnu ulogu u pogledu veličine rezultativnog pokazatelja i pokazatelja kvaliteta tonaže, a sledstveno tome i veličine otpora po jedinici deplasmana, uz napomenu da vrednost statičkog opterećenja ima, gotovo, konstantnu vrednost kod sva četiri posmatrana sklopa. Sklop oblika P+1+1+1 postiže najveće brzine plovidbe, najbolju vrednost rezultativnog pokazatelja (P_r) a sa porastom brzine plovidbe rastu i vrednosti pokazatelja kvaliteta tonaže (k_T). Istovremeno, sa porastom brzine plovidbe ovom obliku sklopa opada vrednost specifičnog otpora po jedinici deplasmana (r_D). Pri plovidbi sklopa oblika P+3 tokom analize rezultata eksperimenata uočene su sledeće pojave. Tokom nižih režima rada

pogonskih motora (tj. pri manjim punjenjima motora) brzina plovidbe normalno je rasla, dok sa daljim povećanjem broja obrtaja i snage brzina ne raste proporcionalno već postepeno opada, da bi odjednom počela naglo da pada. Drugim rečima, *povećanjem snage motora i broja obrtaja vratila brzina plovidbe se smanjuje*. Do ove pojave došlo je zbog nesrazmernog povećanju otpora sastava, što očigledno pokazuju rezultati izloženi u tabeli. Ovakavo saznanje moglo se postići i teoretskim istraživanjima, ali stvarna ispitivanja tokom plovidbe i dobijeni rezultati su ubedljiviji i za eksploataciju korisniji.

3. U postupku analize rezultata eksperimenata ostvarenih sa različitim tipovima brodova i potiskivanih sastava u realnim uslovima plovidbe uočeno je da posebna pažnja treba da bude usmerena na ispitivanje uticaja nosivosti i oblika potiskivanih teretnjaka na rezultate rada brodova. Kako je u tezi istaknuto, broderska preduzeća u našoj zemlji raspolažu sa potiskivanim teretnjacima *simetričnog* oblika trupa i *nesimetričnog* oblika trupa različitih nosivosti. Prema tome, potiskivani teretnjaci, osim što se razlikuju po glavnim dimenzijama, deplasmanu i nosivosti, razlikuju se i po obliku trupa. U dokumentaciji o izvršenim eksperimentima, koji su bili dostupni prilikom razmatranja neophodnih za ovu tezu, učestvovali su sledeći tipovi potiskivanih teretnjaka: potisnice simetričnog oblika trupa registrovanih nosivosti $Q_r=732$ t, $Q_r=805$ t, $Q_r=1522$ t i $Q_r=1466$ t, dok su potisnice nesimetričnog oblika tipa $Q_r=1260$ t, $Q_r=1693$ t, $Q_r=1242$ t, $Q_r=1690$ t, $Q_r=1730$ t, $Q_r=1220$ t i $Q_r=1284$ t. Svi nabrojani tipovi, osim po glavnim dimenzijama, deplasmanu i nosivosti razlikuju se i po parametru iskorišćenja deplasmana, tzv. *koeficijentu utilizacije* (η_{DW}), čije vrednosti se navode u tabeli 11.2.

Tabela 11.2 Koeficijent utilizacije za različite tipove potisnica

Tip Q_r (t)	732	805	1522	1466	1260	1693	1242	1690	1730	1220
η_{DW}	0,8196	0,8102	0,8394	0,8332	0,8504	0,8319	0,8445	0,8578	0,8564	0,8410

Rezultati analize rada brodova-potiskivača sa potisnicama tipa $Q_r=732$ t i $Q_r=805$ t pokazuju da, brodovi snage pogonskih motora $\Sigma N_i=758,08$ kW radeći sa potisnicama tipa $Q_r=732$ t ($\eta_{DW}=0,8196$) pri najvećem opterećenju od $\Sigma Q_e=5855,928$ t ÷ 6003,023 t, ostvaruju rezultativni pokazatelj ne veći od $P_r \leq 84,6$ tkm/kWh. Brod-potiskivač snage pogonskih motora $\Sigma N_i=1081,92$ kW, radeći sa istim tipom potisnica, pri najvećem opterećenju $\Sigma Q_e=6687,919$ t ostvaruje rezultativni pokazatelj $P_r=59,84$ tkm/kWh. Potiskivač snage pogonskih motora $\Sigma N_i=1081,92$ kW, radeći sa potisnicama tipa $Q_r=805$ t ($\eta_{DW}=0,8102$), pri najvećem opterećenju $\Sigma Q_e=7249,846$ t postiže rezultativni pokazatelj jednak $P_r=76,21$ tkm/kWh. Povećanje nosivosti po jednoj potisnici (upoređujući tipove $Q_r=732$ t i $Q_r=805$ t) od svega 77,5 tona, povećava efekat rada za 27,35%.

Nasuprot navedenim tipovima brodovi koji rade sa potisnicama tipa $Q_r=1466$ t i $Q_r=1522$ t postižu značajno bolje rezultate. Tako, na primer, brod snage pogonskih motora

$\Sigma N_i=758,08$ kW radeći sa potisnicama $Q_r=1466$ t ($\eta_{DW}=0,8332$), pri opterećenju $\Sigma Q_e=5864$ t postiže rezultativni pokazatelj od $P_r=94,32$ tkm/kWh. Još bolje rezultate postižu brodovi snage pogonskih motora $\Sigma N_i=529,92$ kW koji radeći sa potisnicama tipa $Q_r=1522$ t ($\eta_{DW}=0,8394$) pri najvećem opterećenju $\Sigma Q_e=6087,832$ t ostvaruju rezultativni pokazatelj u iznosu $P_r=136,31$ tkm/kWh. Velika razlika u vrednostima rezultativnog pokazatelja (kojs iznosi $136,31$ tkm/kWh $> 94,32$ tkm/kWh) ostvarena je na dva načina: prvo, nosivost potisnica tipa $Q_r=1522$ t veća je od nosivosti potisnica tipa $Q_r=1466$ t za 56 t po potisnici i, drugo, snaga pogonskih motora broda $\Sigma N_i=529,92$ kW manja je od snage pogonskih motora broda $\Sigma N_i=758,08$ kW za $228,16$ kW, što direktno utiče na povećanje pokazatelja statičkog opterećenja p .

Do sličnih zaključaka dolazi se prilikom analiziranja rada brodova-potiskivača sa potisnicama nesimetričnog oblika trupa, tipa $Q_r=1260$ t, $Q_r=1693$ t, $Q_r=1242$ t i $Q_r=1690$ t. Na primer, brod ukupne snage ugrađenih motora $\Sigma N_i=912,64$ kW pri radu sa potisnicama tipa $Q_r=1260$ t ($\eta_{DW}=0,8504$) i ukupnom opterećenju $\Sigma Q_e=7396,018$ t (sastav sadrži 6 potisnica) ostvaruje vrednost rezultativnog pokazatelja $P_r=92,85$ tkm/kWh. Kada isti brod radi sa potisnicama tipa $Q_r=1693$ t ($\eta_{DW}=0,8319$), čije ukupno opterećenje iznosi $\Sigma Q_e=10.161,48$ t (sa istim brojem potisnica u sastavu), postiže rezultativni pokazatelj jednak $P_r=101,67$ tkm/kWh. Takođe, u slučaju da brod ukupne snage $\Sigma N_i=1413,2$ kW radi sa potisnicama tipa $Q_r=1690$ t ($\eta_{DW}=0,8578$) uz opterećenje koje iznosi $\Sigma Q_e=9.807,10$ t postiže rezultativni pokazatelj jednak $P_r=105,38$ tkm/kWh, a kada radi sa potisnicama tipa $Q_r=1242$ t ($\eta_{DW}=0,8445$) sa ukupnim opterećenjem od $\Sigma Q_e=7452,027$ t (pri istom broju potisnica u sastavu) postiže rezultat jednak $P_r=92,85$ tkm/kWh.

U dokumentaciji koja je poslužila kao osnova za obavljena istraživanja postoji veliki broj sličnih primera, iz kojih se vidi da potiskivani sastavi koji sadrže potisnice većih nosivosti postižu znatno bolje rezultate u odnosu na sastave koje čine potisnice manjih nosivosti, pri jednakom broju teretnjaka i u jednom i u drugom slučaju. Osim toga, izvesna prednost u pogledu rezultata rada brodova je na strani potiskivanih teretnjaka nesimetričnog oblika u odnosu na potiskivane teretnjake simetričnog oblika, što se najbolje reflektuje preko pokazatelja kvaliteta tonaže i specifičnog otpora po jedinici deplasmana.

4. O uticaju sektora na Dunavu prema uslovima za odvijanje plovidbe teško da se može doneti generalni zaključak. Ovo stoga, što postoje relevantna dokumenta o jednom ispitivanju na sektoru Gornjeg Dunava i jednom ispitivanju brodova na sektoru Donjeg Dunava. Međutim, i pored toga, mogu da se iznesu određene preporuke koje se odnose kako na veličinu i nosivost potiskivanih sastava, tako i na snagu pogonskih motora brodova-potiskivača.

Ispitivanja na sektoru Gornjeg Dunava u cilju optimizacije procesa prevoženja izvedena su sa brodom, ukupne snage $\Sigma N_i=3 \times 809,6$ kW = $2428,8$ kW, sa nekoliko različitih sastava po obliku i nosivosti i, što je veoma važno, tom prilikom eksperimenti su vršeni kada je brod radio sa dva i sa tri pogonska motora.

Kada se radi o sektoru Gornjeg Dunava nužno je naglasiti ograničenja koja se odnose na dimenzije potiskivanih sastava. Kao posledica takvih-ograničenih dimenzija sledi i smanjenje ukupne nosivosti potiskivanih sastava, čime se nužno postavlja pitanje o veličini statičkog opterećenja pogonskih motora p kao bitnog činioca u postupku proračuna rezultativnog pokazatelja P_r . Ispitivanja su pokazala da, kada brod-potiskivač ostvaruje plovidbu sa dva pogonska motora ($\Sigma N_i=1619,2$ kW) postiže mnogo bolje rezultate u odnosu na situaciju kada radi sa sva tri pogonska motora. Iz ove činjenice može da se izvede preporuka, prema kojoj je potrebno dobro proceniti kakve karakteristike treba da poseduje brod-potiskivač za obavljanje prevoženja prema sektoru Gornjeg Dunava.

Ispitivanja na sektoru Donjeg Dunava obavljena su sa brodom, ukupne snage $\Sigma N_i=3 \times 809,6$ kW=2428,8 kW, sa različitim sastavima teretnjaka koje su činili, osim potiskivanih teretnjaka serije $Q_r=1242$ t, $Q_r=1690$ t, $Q_r=1260$ t i tegljeni teretnjaci različitih karakteristika. Zajednička osnovna karakteristika potiskivanih sastava sa kojima su rađeni eksperimenti je, osim što pripadaju različitim tipovima, i ta da su svi teretnjaci bili utovareni na različit gaz što je, zajedno s tegljenim teretnjacima, u velikoj meri remetilo homogenost potiskivanog sklopa, povećavalo njegov ukupni otpor, i kao posledicu imalo smanjenje brzine plovidbe.

U pogledu navigacionih uslova na sektoru Donjeg Dunava, praktično, ne postoje posebna ograničenja u pogledu dimenzija sklopova/sastava (izuzev delova-podsektora u periodu niskih vodostaja i onih koji se odnose na komore brodskih prevodnica Đerdap I, Đerdap II), te u tom smislu postaje opravdana upotreba brodova-potiskivača velikih snaga pogonskih motora i potiskivanih sastava velikih nosivosti. Treba naglasiti, da je brod $\Sigma N_i=2428,8$ kW postigao relativno dobre rezultativne pokazatelje (P_r) samo uz sastave nosivosti $\Sigma Q_e=15.232$ t ($P_r=85,90$ tkm/kWh) i $\Sigma Q_e=15.069$ t ($P_r=88,97$ tkm/kWh). Manje nosivosti potiskivanih sastava od navedenih nisu za preporuku kada se planira rad sa brodovima serije čija snaga iznosi $\Sigma N_i=2428,8$ kW.

5. Polazeći od pretpostavke da je cilj vodnog transporta *ostvarenje maksimalnog transportnog rada sa minimalnim utrošcima resursa* u literaturi (Škiljaica 1996) naveden je parametar na osnovu kojeg može da se oceni upotrebna vrednost jednog potiskivanog sklopa/sastava

$$P = \frac{\text{ost var eni transportni rad}}{\text{utrošena energija}}$$
. Ukupno utrošena energija, koja se izražava

pomoću količine pogonskog goriva (P_{pg}) potrošenog pri realizaciji transportnog rada zavisi, u prvom redu, od specifične (tj. časovne) potrošnje goriva (p_{pg}), efektivne (stvarne) snage pogonskih uređaja (N_e) i vremena plovidbe sklopa/sastava sa teretom (t_t) potrebnog za realizaciju zadatog transporta. Ukupna količina pogonskog goriva (P_{pg}) potrošenog pri realizaciji transportnog rada, specifična potrošnja goriva (p_{pg}) i efektivna (stvarna) snaga pogonskih uređaja (N_e) utvrđuju se eksperimentima tokom ispitivanja brodova-potiskivača u realnim uslovima plovidbe.

Međutim, budući da je snimanje potrošnje goriva na brodovima-potiskivačima naših brodarskih preduzeća obavljeno na toliko malom uzorku da, u tom smislu, nema praktičnu vrednost niti može da posluži u svrhu proračuna upotrebne vrednosti brodova i sklopova/sastava niti u obliku posebnih preporuka.

6. Svi podaci koji se odnose na izračunate vrednosti tehničko-eksploatacionih pokazatelja, kao što su prevozni učinak (PU), rezultativni pokazatelj (P_r), kvalitet tonaže (k_T) i specifični otpor po jedinici deplasmana (r_D) i nosivosti (r_Q) odnose se samo na vreme neposrednog rada – potiskivanja pojedinih sastava različitih po tipu teretnjaka, obliku i nosivosti. Pažljivom analizom potpoglavlja 5.6 konstatovano je da *rezultativni pokazatelj* (P_r) zavisi od veoma velikog broja činilaca koji su neizostavni pratioci eksploatacije, kao što su: ukupna (stvarna) količina tereta utovarena u potiskivane teretnjake jednog potiskivanog sastava (ΣQ_e); ukupna efektivna snaga pogonskih motora broda-potiskivača (ΣN_e); tehnička brzina plovidbe potiskivanog sklopa/sastava (v_i) koja, opet, zavisi od brzine plovidbe u odnosu na vodu (v) i brzine rečnog toka (v_{rt}); brzina plovidbe potiskivanog sklopa/sastava, sa svoje strane, zavisi od ukupnog broja teretnjaka u sastavu (n) i njihovog međusobnog razmeštaja; koeficijenta iskorišćenja ukupne nosivosti teretnjaka u sastavu (ε_{sast}); dužine prevoženja tereta (L_t); vremena plovidbe sklopa/sastava sa teretom (t_t); koeficijenta iskorišćenja vremena za plovidbu sa teretom u jednom putovanju (α_0) čija veličina zavisi od ostalih elemenata koji čine jedan transportni ciklus (trajanje utovara/istovara, plovidba bez tereta, zadržavanja u putu i mestima utovara/istovara, itd.). Kada se u izraz za proračun rezultativnog pokazatelja (P_r) umesto izraza za efektivnu snagu (N_e) uvrsti izraz $N_e = N_i \cdot \eta_m = A \cdot F_k \cdot S \cdot z_{cil} \cdot p_i \cdot n_m \cdot \eta_m$, pri čemu su N_i – stvarna, ugrađena snaga pogonskih motora, F_k – korisna površina klipa motora, S – hod klipa, z_{cil} – broj cilindara u motoru (pri čemu je proizvod $A \cdot F_k \cdot S \cdot z_{cil} = const$), p_i – srednji indikatorski (indicirani) pritisak u cilindrima, n_m – broj obrtaja vratila motora, η_m – mehanički koeficijent korisnog delovanja motora, jasno je da veličina rezultativnog pokazatelja (P_r), osim svega navedenog, direktno zavisi još i od stepena tehničkog stanja pogonskih motora (p_i, n_m, η_m) ugrađenih u brod-potiskivač.

Drugi vrlo važan pokazatelj koji se koristi prilikom ocenjivanja podobnosti rada brodova i sklopova/sastava je pokazatelj *kvaliteta tonaže* (k_T). Najznačajniji elementi koji utiču na njegovu vrednost, u prvom redu, su (potpoglavlje 5.4): ukupna (stvarna) količina tereta utovarena u potiskivane teretnjake jednog potiskivanog sastava (ΣQ_e) i redukovani otpor potiskivanog sklopa (\bar{R}_{skl}). Redukovani otpor potiskivanog sklopa, sa svoje strane, zavisi od veličine ukupnog otpora sklopa koja se javlja u plovidbi (R_{skl}) i brzine plovidbe u odnosu na vodu (v). Ukupni otpor potiskivanog sklopa zavisi od vrednosti otpora svakog teretnjaka u sastavu (R_{ter}) i njihovog broja (n) u sastavu. Razmeštaj potiskivanih teretnjaka u sastavu definiše veličinu ukupnog otpora sklopa/sastava na osnovu koeficijenta oblika sklopa/sastava (k_{skl}, k_{sast}). Otpor jednog potiskivanog teretnjaka (R_{ter}) zavisi od njegovih glavnih dimenzija (L, B, T) i tipa teretnjaka, tj. oblika, što se definiše veličinom deplasmana

(D) i koeficijentata punoće (α , β i δ). Osim toga, ukupni otpor sklopa/sastava zavisi od stanja u plovnom putu, odnosno, dubine vode na sektoru ili podsektoru (h), što se izražava na osnovu podataka o relativnoj dubini (h/T).

Evidentno je da se rad brodova-potiskivača i potiskivanih sastava u realnim uslovima plovidbe odvija pod uticajem velikog broja promenljivih veličina, kao što su: tip i dimenzije potiskivanog teretnjaka, ukupan broj potisnica u sastavu, količina tereta u njima-čime se definiše trenutni gaz svake od njih, oblik sastava, stanje u kojem se nalazi plovni put (promena dubine i brzine rečnog toka), ukupna snaga pogonskih uređaja ugrađenih u brodove i njihovo tehničko stanje, brzina kretanja i dr. Polazeći od saznanja o neprekidnoj promenljivosti uočenih parametara pokazalo se, tokom rada na tezi, da nije moguće definisati jedan oblik analitičkog izraza za proračun rezultativnog pokazatelja ili prevoznog učinka kojim bi bila obuhvaćena sva stanja u kojima mogu da se nađu, na primer, svi tipovi potisnica, svi tipovi postojećih brodova-potiskivača u svim uslovima eksploatacije, pri različitim uslovima plovidbe. Činjeni su napor da se pristupi objedinjavanju podataka o radu, na primer, grupe potisnica identičnih oblika i glavnih dimenzija, ili istog tipa brodova-potiskivača, sve u cilju mogućeg definisanja jedinstvenog analitičkog izraza kojim bi se proračunavali eksploatacioni pokazatelji. Od ovakvog pristupa odustalo se zbog malih uzoraka na osnovu kojih bi trebalo da se definišu računski izrazi čijom primenom bi se, istovremeno, dobile male verovatnoće tačnosti izračunatih parametara rada. Iz tog razloga, predložena grafička metoda rešavanja praktičnih zadataka prevoženja pokazala se kao celishodna uz, istovremeno, postizanje rezultata vrlo visoke tačnosti.

Na osnovu iznetih činjenica koje utiču na pravilnu eksploataciju brodova-potiskivača i potiskivanih sastava za donošenje tačnih zaključaka neophodno je obaviti detaljno snimanje tehnoloških procesa prevoženja u celini, u sklopu svih elemenata koji čine jedan tehnološki ciklus po relacima prevoženja (sektorima, podsektorima), vrsti tereta, kapacitetima utovara i istovara, trajanju plovidbe u oba smera, zadržavanja u mestima utovara i istovara i sl. Tek kada se detaljno sprovedenoj analizi tehnoloških procesa pridodaju troškovi prevoza po pojedinim pravcima, teretima, vrsti brodova i teretnjaka i drugim parametrima može da se smatra da je razmatranje potpuno, kompletno i prihvatljivo sa stanovišta savremene eksploatacije. U tom smislu ispitivanja brodova sprovedena u realnim uslovima plovidbe mogu da budu veoma dobra osnova na temelju koje se usmeravaju pravci daljih istraživanja.

Na kraju predlaže se, da se na osnovu precizno utvrđenog dogovora o ispitivanjima brodova-potiskivača pri radu sa sastavima potiskivanih teretnjaka različitih dimenzija, oblika i nosivosti, koji se zaključuje između broderskog preduzeća i naučno-istraživačke institucije koja će izvoditi eksperimente, pristupi izradi rezultata istraživanja, nalaza i zaključaka prema sledećoj šemi:

1. **Opšti uslovi eksperimenta** obuhvataju: tehničku dokumentaciju o osnovnim konstruktivnim i podacima koji se odnose na brod-potiskivač i potiskivane

teretnjake (tehnički opis, generalni plan, plan vodnih linija, plan rebara); utvrđivanje stvarne vrednosti gaza svakog od potiskivanih teretnjaka koji učestvuju u procesu istraživanja (preciznim očitavanjem marki gaza i/ili postupkom proračuna); definisanje oblika potiskivanih sastava koji će učestvovati u eksperimentima u zavisnosti ukupno raspoložive snage pogonskih motora broda-potiskivača; precizno definisanje dela plovnog puta (položaj i karaktersitike merne staze) na kojem će se eksperimenti obaviti, sa utvrđivanjem najvažnijih osobenosti (dubina, širina, brzina rečnog toka).

2. **Postupak eksperimenta** obuhvata: istovremeno sa merenjem efektivne snage na propelerskim vratilima (N_e), broja obrtaja propelerskih vrtila (n) i brzine plovidbe u odnosu na vodu (v) svakog od potiskivanih sklopova pristupiti merenju termotehničkih parametara rada motora (pritisci, temperature, potrošnja goriva) za različite režime rada motora.
3. **Prikaz rezultata eksperimenata** obuhvata tabelarno i grafičko iskazivanje rezultata merenja za usvojene oblike sklopova. Na isti dijagram, na kojem se prikazuju rezultati o snazi i brojevima obrtaja utvrđeni eksperimentima, nanosi se i dijagram promene režima rada pogonskih motora dobijen na osnovu merenja na probnom stolu opitne stanice proizvođača. Ovako konstruisani dijagrami, za svaki od sklopova, precizno prikazuju stanje pogonskih motora i u kojoj meri postoji saglasnost rada između motora i apsorpcije snage od strane propelera. Tabelarno i odgovarajućim dijagramima prikazuju se izmerene brzine plovidbe za svaki od režima rada pogonskih motora i za svaki od ispitivanih oblika sklopova. Računaju se i prikazuju odgovarajući eksploatacioni pokazatelji rada broda-potiskivača i, potom, upoređuju sa istim pokazateljima sličnih brodova ili oblika sastava. Proračunava se ukupna i specifična potrošnja goriva za svaki od pogonskih motora i prikazuje u funkciji snage, broja obrtaja vrtila i brzine plovidbe za sve režime rada pogonskih motora i za svaki od ispitivanih sastava.
4. **Zaključna razmatranja** obuhvataju: na osnovu matematičkog definisanja oblika merenih parametara i to: statičkog opterećenja pogonskih motora, prevoznog učinka, rezultativnog pokazatelja, pokazatelja kvaliteta tonaže, specifičnih otpora po jedinici deplasmata i po jedinici nosivosti sastava, potrebno je proračunati tačke maksimuma tih funkcija, zatim, utvrditi rešenja koja brodu-potiskivaču, u datom tehničkom stanju, obezbeđuju postizanje najboljih (optimalnih) rezultata.

Prilikom opisivanja opštih uslova koje je potrebno ispuniti pre nego se pristupi ispitivanjima u realnim uslovima plovidbe na mernoj stazi navedeno je, da je naučno-istraživačkoj ustanovi koja će obaviti eksperimente, potrebno dostaviti dokumentaciju koja se odnosi na osnovne konstruktivne i eksploatacione karakteristike broda-potiskivača i potiskivanih teretnjaka i to: tehnički opis, generalni plan, plan vodnih linija i plan rebara. Na

osnovu projektne dokumentacije o propulzivnom kompleksu broda mogu da se utvrde osnovne konstruktivne karakteristike propelera i dizne (sapnice). Zahvaljujući izmerenim vrednostima snage i brojevima obrtaja na propelerskim vratilima i eksperimentima ustanovljenim brzinama u odnosu na vodu za svaki od sklopova, a na temelju iz dokumentacije utvrđenih parametara, potrebno je proračunati potisnu silu (silu propulzije) svakog od propelera, te ukupnu silu koju razvija brod potiskivač u datom tehničkom stanju, pri radu sa sklopom usvojenog oblika na mernoj stazi poznatih karaktersitika. Ukupna potisna sila, koju razvijaju svi propeleri na brodu, prikazuje se tabelarno i dijagramom u funkciji brzine plovidbe. Na kraju, na temelju ukupne potisne sile konstruiše se odgovarajući dijagram učinka (rada) potisne sile u funkciji brzine plovide koji, takođe, ima svoju tačku maksimuma. Parametre tačke maksimuma sa dijagrama učinka potisne sile potrebno je uporediti sa tačkama maksimuma konstruisanog dijagrama promene rezultativnog pokazatelja i pokazatelja kvaliteta tonaže, koje je brod ostvario tokom sprovedenih eksperimenata.

12 PRAVCI DALJIH ISTRAŽIVANJA

Evidentno je da uzorak od ukupno ostvarenih 69 ispitivanja različitih oblika potiskivanih sklopova, a budući da, u praktičnim i teorijskim razmatranjima nisu sva pogodna za razmatranje u punom obimu zbog nedovoljnog broja promena režima rada pogonskih motora, nije dovoljan za postizanje definicije u opštem obliku za bilo koju od primenjenih veličina. Iz tog razloga nužno je, u saradnji sa brodarskim kompanijama iz Srbije nastaviti sa istovetnim eksperimentima u realnim uslovima plovidbe dovoljne dubine i dovoljne širine i to tako, da budu istovremeno ispunjeni uslovi plovidbe i po dubini i po brzini.

U dosadašnjem toku istraživanja uočeno je da svega dva eksperimenta (brod „Kadinjača“ i brod „Bor“) na neki način mogu da se smatraju da su sprovedena u uslovima plitke vode. U saradnji sa našim brodarskim kompanijama, neophodno je da se sprovedu eksperimenti sa istim brodovima i identičnim tipovima potiskivanih teretnjaka pri uslovima kada je ograničena dubina u plovnom putu, odnosno na mernoj stazi. Rezultati dobijeni ovakvim eksperimentima dovode do takvih saznanja čiji cilj je poboljšanje projektovanja tehnoloških postupaka transporta na bilo kom od sektora na Dunavu i pri bilo kom vodostaju.

Tokom izrade teze konstatovano je da su svi eksperimenti u realnim uslovima plovidbe sa brodovima potiskivačima i potiskivanim sklopovima/sastavima obavljani na Dunavu. Iz tog razloga jedan od važnih pravaca daljih istraživanja koji se odnosi na ispitivanje potiskivanih sklopova/sastava u realnim uslovima plovidbe je, svakako, utvrđivanje stvarnih vrednosti tehničkih i eksploatacionih parametara pri njihovom radu na reci Savi. U periodu od 1960. godine do danas na reci Savi obavljena su svega četiri eksperimenta sa brodovima-tegljačima i tegljenim sastavima. Cilj eksperimenata bio je utvrđivanje propulzivnih i vučnih karakteristika brodova-tegljača u funkciji brzine plovidbe. Poznato je da se reka Sava po svojim plovbenim karakteristikama (krivine malog poluprečnika, plićaci, male dubine i širine u plovnom putu) znatno razlikuje od Dunava. I pored svih preduzetih radova i intervencija uslovi za plovidbu nisu u potpunosti rešeni na celom njenom toku, pa se plovidba, u pojedinim periodima godine i na pojedinim sektorima, i dalje otežano odvija i uslovljena je visinom vodostaja. Utvrđivanjem tehničkih i eksploatacionih karakteristika brodova potiskivača i potiskivanih sklopova/sastava sprovedenim eksperimentima na ovoj reci na način kako je to opisano u tezi dobili bi se takvi parametri (glavne dimenzije, nosivost, snaga pogonskih uređaja, brzina plovidbe, broj jedinica u sastavima) koji bi bili od nesumnjive koristi kako u procesu projektovanja brodova, tako i u rešavanju tehnoloških problema transporta.

Mreža plovnih puteva Srbije raspolaže značajnom dužinom plovnih kanala različitih karakteristika koji pripadaju hidrosisemu Dunav-Tisa-Dunav. Plovni kanali se, u odnosu na prirodne plovne puteve, razlikuju po tačno utvrđenim dimenzijama, kao što su širina u dnu, širina na vodnom ogledalu, dubina i poluprečnici krivina. U periodu od 1960. godine do danas

na jednom delu ovih kanala obavljena su svega dva eksperimenata sa brodovima-tegljačima i tegljenim sastavima. Cilj eksperimenata bio je utvrđivanje propulzivnih i vučnih karakteristika brodova-tegljača, kao i merenje ukupnog otpora tegljenica u kanalu u funkciji brzine plovidbe. Budući da je tehnologija transporta tereta tegljenim sastavima prevaziđena, jedan od pravaca daljih istraživanja odnosi se na, eksperimentima zasnovanom, utvrđivanju veličina tehničkih i eksploatacionih karakteristika brodova potiskivača i potiskivanih sklopova/sastava pri plovidbi u kanalima koji pripadaju sistemu Dunav-Tisa-Dunav, a prema postupku koji je opisan u tezi. Tokom ovakvih ispitivanja posebna pažnja morala bi da bude usmerena na: (1) merenje veličine ukupnog otpora potiskivanog sklopa i, potom, upoređivanje sa istom veličinom pri plovidbi u vodi dovoljne dubine i širine, kao i u plovnom putu koji se odlikuje dovoljnom širinom i malom dubinom; (2) definisanje brzine plovidbe pri kojoj se pojavljuje tzv. „zgrnuti val“⁴; (3) precizno utvrđivanje takve brzine plovidbe potiskivanih sklopova koja ne izaziva rušenje obala kanala. Eksperimentalna ispitivanja potiskivanih sklopova na ovakvom plovnom putu ispitala bi se svojstva sistema potiskivanja pri plovidbi u kanalima. Takođe, utvrđivanjem tehničkih i eksploatacionih karakteristika brodova potiskivača i potiskivanih sklopova/sastava eksperimentima na kanalima na način kako je to opisano u tezi dobili bi se parametri (glavne dimenzije, nosivost, snaga pogonskih uređaja, brzina plovidbe, broj jedinica u sastavima) koji bi bili osnova kako u procesu projektovanja brodova, tako i u rešavanju tehnoloških problema transporta na mreži kanala.

Pre oko 50 godina broderske kompanije u Evropi i Srbiji uvele su novo tehnološko rešenje u procesu transporta tereta – motorne teretnjake, koji osim što primaju teret u svoj skladišni prostor projektovani su i građeni tako da mogu da potiskuju jednu ili više potisnica. U periodu od 1960. godine do danas na Dunavu obavljena su svega tri eksperimenta sa ovim tipom brodova koji pripadaju našim broderskim kompanijama, od toga dva eksperimenta u cilju utvrđivanja veličine ukupnog otpora, dok su trećim eksperimentom utvrđivane brzinske i potisne karakteristike broda. Jedan od pravaca daljih istraživanja trebalo bi da se odnosi na ispitivanje brzinskih i potisnih karakteristika motornih teretnjaka kada plove samostalno (bez potiskivanih teretnjaka) i kada plove u sklopu potiskujući jedan ili više potisnica. Potrebno je planirati tako da ova ispitivanja budu sprovedena u svim realnim uslovima koji vladaju u plovnom putu, na Dunavu, Savi i kanalima sistema Dunav-Tisa-Dunav.

⁴ zgrnuti val – veliki talas koji se formira ispred pramca broda prilikom njegove plovidbe u plovnom putu kojeg karakterišu mala dubina i mala širina.

13 OSNOVNA LITERATURA

- [1] Baxter B. (1976) *“Naval architecture”*, Hodder and Stoughton, London,
- [2] Brodarski institut Zagreb (1968) Ispitivanje otpora i propulzije modela broda M-450;
- [3] Brodarski Institut Zagreb (1971) Rezultati merenja na pokusnoj plovidbi m.g. „Kumanovo“ i m.g. „Kragujevac“, Oznaka 1901-B;
- [4] Brodarski institut Zagreb (1972) Ispitivanje gurača „MP-14“, model M-672;
- [5] Brodarski Institut Zagreb (1985) Rezultati merenja na pokusnoj plovidbi m.g. „Leningrad“, Novogradnja 253, Brodogradilište Novi Sad. Izveštaj br. 4204-B;
- [6] Brodarski Institut Zagreb (1986) Rezultati merenja na pokusnoj plovidbi MG-40 „Karadorđe“, Izveštaj br. 4355-B;
- [7] Brodarski institut Zagreb (1987 a) Rezultat ispitivanja propulzionog sklopa gurača MG-40;
- [8] Brodarski Institut Zagreb (1987 b), Rezultati ispitivanja propulzivnog sklopa gurača MG-40, „ Izveštaj br. 4563-K;
- [9] Čolić S., Kreculj D., Čolić V., Škiljaica V., Bačkalić T. (2008) *„Plovna prevozna sredstva vodnog saobraćaja“*, monografija, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu;
- [10] Čolić V. (1993) *„Eksperimentalna ispitivanja veličine otpora pri plovidbi savremenih brodova dunavske plovne mreže i određivanje najpovoljnijih računskih metoda na osnovu rezultata ispitivanja“*, monografija, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu;
- [11] Čolić V. (1998) *„Prevozni učinci brodova dunavske plovne mreže“*, Monografija, Univerzitet u Beogradu;
- [12] Čolić V., Hrle Z., Vukadinović K., Radonjić A., Pjevčević D. (2012) *„Računska metoda za proračunavanje veličine otpora broda u plitkoj vodi na otpor broda u dubokij vodi“*, TEHNIKA, 2012 broj 2, Savez inženjera i tehničara srbije, Beograd;
- [13] Čolić, V. (1986) *„Naučna analiza eksperimentalnih ispitivanja veličine otpora pri plovidbi savremenih brodova dunavske plovne mreže“*, Saobraćajni fakultet Univrziteta u Beogradu, Beograd;
- [14] Čolić, V. (1996) *„Organizacija, eksploatacija i tehnologija vodnog prevoženja na unutrašnjim plovnim putevima Jugoslavije“*, Saobraćajni fakultet Univrziteta u Beogradu, Beograd;
- [15] Čolić, V. (2005) *„Istraživanje propulzionih, vučnih i energetskih osobnosti dunavskih brodova tegljača“*, Saobraćajni fakultet Univrziteta u Beogradu, Beograd;
- [16] Čolić, V. (2006), *„Istraživanje plovidbenih, prevoznih, energetskih i propulzionopotisnih osobnosti dunavskih brodova potiskivača“*, Saobraćajni fakultet Univrziteta u Beogradu, Beograd,
- [17] Čolić, V. (2010) *“Eksperimentalna istraživanja tehničko-eksploatacionih osobnosti putničkih i samohodnih teretnih brodova na Dunavskoj plovnoj mreži”*, Saobraćajni fakultet Univrziteta u Beogradu, Beograd;

- [18] Čolić, V., Hrle, Z., Vukadinović, K., Radonjić, A., Pjevčević, D., Vukićević, I. (2014) „*Tehničko-tehnološke karakteristike vodnog saobraćaja na delu dunavske plovne mreže kroz Srbiju*“, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Odsek za vodni saobraćaj i transport Beograd;
- [19] Čolić, V., Radmilović, Z., Škiljaica, V., (2005) „*Vodni saobraćaj*“, Saobraćajni fakultet Univrziteta u Beogradu, Beograd;
- [20] Čolić, V., Vukadinović, K., (2004) „*Istraživanje veličine otpora pri plovidbu dunavskih teretnih brodova*“, Saobraćajni fakultet Univrziteta u Beogradu, Beograd;
- [21] Commission du Danube (1990 a) „*Indicateur kilométrique du Danube*“, Budapest;
- [22] Commission du Danube (1990 b), „*Carte de pilotage du Danube*“, Budapest
- [23] Economic Commision for Europe, (2006) „*Recomendations on Harmonized Europe-Wide Technical Requirements for Inland Navigation Vessels. Inland Transport Committee*“, New York and Geneva;
- [24] Grubor, M., (1983) „*Plovidba potiskivanih sastava*“, Grubor S. Milan, Beograd;
- [25] Hrle Z., Škiljaica V., Kreculj D. (2002) „*Brodaska energetika*“, Saobraćajni fakultet Beograd;
- [26] IHB-Zagreb (1966) „*Institut za brodsku hidromehaniku*“, monografija, Zagreb
- [27] International Tow Tank Conference ITTC (2002) „*Full Scale Measurements Speed and Power trials-Trial Conduct*“, The Specialist committee of 23rd ITTC on Speed and Powering, br. 7.5-0.4-01-01.6;
- [28] Jovanović M. (1973) „*M/P „Sloga“ dve godine eksploatacije najvećeg dunavskog dvopropelerskog potiskivača*“, Brodogradnja br. 24
- [29] Jovanović M. (1981) „*Određivanje glavnih dimenzija i otpora potiskivačkih sastava*“, Plovni putevi brodogradnja brodarstvo, Jugoslovensko udruženje „Nauka i društvo“, Beograd;
- [30] Jovanović, M. (2002) „*Projektovanje broda*“, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd;
- [31] Jović, S. (1970) „*Organizacija i eksploatacija flote*“, Građevinska knjiga, Beograd;
- [32] Jugoslavenski registar brodova (1981), „*Registar brodova 1981-82*“, Jugoslavenski registar brodova, Split;
- [33] Jugoslovenski leksikografski zavod Miroslav Krleža (1989) „*Pomorska enciklopedija*“, Knjiga 8, Zagreb;
- [34] Kreculj D., Čolić V. (1982) „*Naučna istraživanja i metode eksperimentalnih određivanja tehničko eksploatacionih osobenosti brodova dunavske plovne mreže – deo: otpori brodova*“, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu;
- [35] Lalošević Đ., Panoš L., Jelić V. (1960) „*Brod „Kosmaj“ – prvi gurač u našem brodarstvu*“, Brodarstvo god III, br. 8-9, Beograd;
- [36] Molland, A.F., Turnock, S.R., Hudson, D.A. (2013) „*Ship resistance and propulsion*“, Cambrige university press, New York;

- [37] Nikolić Z., Martinović Ž., Milanović N. (2006) “*Novo rešenje pogona Dunavskih brodova potiskivača*”, Tehnika – Saobraćaj, vol. 53, br. 2, str. 13-20;
- [38] Radmilović Z. (2007), „*Transport na unutrašnjim plovnim putevima*“, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd;
- [39] Radonjić A. (2014) „*Prilog istraživanju analitičkih metoda za proračun tehničko-eksploatacionih pokazatelja brodova dunavske plovne mreže u cilju poboljšanja plovidbe*“, doktorska disertacija, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu;
- [40] Radonjić, A., Čolić, V., Škiljaica, V., Hrle, Z. (2010) „*Postupak za proračun snage pogonskog motora broda potiskivača u zavisnosti od brzine plovidbe potiskivačkog sastava i eksploatacione nosivosti potiskivanih teretnjaka u sastavau na dunavskoj plovnoj mreži*“, nova metoda-tehničko rešenje, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Odsek za vodni saobraćaj
- [41] Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu (1986) „*Naučna analiza eksperimentalnih ispitivanja veličine otpora pri plovidbi savremenih brodova dunavske plovne mreže*“, monografija, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu;
- [42] Saobraćajni fakultet, Beograd (1972) „*Studija o novim uslovima plovidbe tegljenih i potiskivanih brodskih sastava na Djerdapskom jezeru*“ I deo, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu
- [43] Schneekluth, H., Bertram, V. (1998) „*Ship Design For Efficiency And Economy*“, second eddition, Butterworth Heinman, Oxford;
- [44] Škiljaica, I. (2009) „*Preliminarno određivanje glavnih karakteristika broda primenom metode varijantnog projektovanja u cilju optimizacije mogućih rešenja*“, diplomski-master rad, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad;
- [45] Škiljaica, I., Škiljaica, V. (2014a) “*Determining Optimal carrying capacity of convoys with efficiency of push boat propelling force*”, Suvremeni promet vol. 34, br. 3-4, Hrvatsko znanstveno društvo za promet, Zagreb;
- [46] Škiljaica, I., Škiljaica, V. (2014b) “*Tonnage quality as a criterion for choosing the carrying capacity of barge convoy*”, 9-th International Scientific Conference on Ports and Waterways - POWA 2014, University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences, Sisak;
- [47] Škiljaica, I., Škiljaica, V. (2014c) „*Parameter of transport efficiency as a criterion for choosing the optimal size of barge convoy for the work of the pushboat*“, European Inland Waterway Navigation Conference - EIWN 2014, Hungary, Budapest;
- [48] Škiljaica, I., Škiljaica, V. (2015) “*Procedure for comparison of synchronisation of work of propelling engines of ships-pushboats and their propellers*”, Suvremeni promet vol. 35, br. 3-4, Hrvatsko znanstveno društvo za promet, Zagreb;
- [49] Škiljaica, I., Škiljaica, V. (2016a) “*Comparison of the shape coefficients of pushed convoys composed of barges with different displacements*” Suvremeni promet vol. 36, br. 3-4, Hrvatsko znanstveno društvo za promet, Zagreb, UDC 629.124.2/.3:532.58:65.012.12

- [50] Škiljaica, I., Škiljaica, V. (2016b) “*Ship squat whitin Mohovo chanel*”, International symposium on electronics in traffic ISEP (24; Ljubljana; 2016), Electrotechnical association of Slovenia, Ljubljana;
- [51] Škiljaica, I., Škiljaica, V. Radonjić A. (2013a) “*Ispitivanje uticaja dimenzija plovnog puta na oblik i glavne dimenzije potiskivanih sastava*”, TEHNIKA, Godina 22-2013 broj 3. 505-511, Savez inženjera i tehničara srbije, Beograd;
- [52] Škiljaica, I., Tanackov, I., Maras, V. (2015) “*The procedure for calculation of the optimal carrying capacity of pushed convoy based on parameters obtained by experiments in actual navigating conditions*”, Brodogradnja/Shipbuilding, Volume 66 Number 2, pp 15-28, eISSN 1845-5859, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture of the University of Zagreb, UDC 629.55:629.561.2:629.5.013.4
- [53] Škiljaica, V. (1991) „*Metode za utvrđivanje efikasnosti rada pojedinih vidova flote na unutrašnjim plovnim putevima*“, Magistarski rad, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu;
- [54] Škiljaica, V. (1996) „*Prilog određivanju eksploatacionih pokazatelja rada flote na dunavskoj plovnoj mreži*“, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu;
- [55] Škiljaica, V., Bačkalić, T. (2009) „*Tehnologija vodnog saobraćaja-Plovna prevozna sredstva*“, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad;
- [56] Škiljaica, V., Bačkalić, T., Škiljaica, I., (2010) „*Navigational characteristics of the river Danube from the mouth of river Sava to the Black sea*“, European Inland Waterway Navigation Conference - EIWN 2010, Hungary, Baja;
- [57] Škiljaica, V., Hrle, Z., (1999) „*Eksploatacija brodskih dizel motora*“, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Saobraćajni odsek, Novi Sad;
- [58] Škiljaica, V., Škiljaica, I. (2012a) “*The Danube River – Serbia’s Possibility Of Exiting To Sea*”, 7-th International Scientific Conference on Ports and Waterways - POWA 2012, University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences;
- [59] Škiljaica, V., Škiljaica, I. (2012b) „*Tehnologija vodnog saobraćaja-Tehnološki procesi rada brodova*“, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad;
- [60] Škiljaica, V., Škiljaica, I. (2013) “*One of the ways to determine optimal carrying capacity and optimal speed of pushed convoys*”, International Conference Life Cycle Engineering and Management - ICDQM (4; Beograd; 2013), Research Center of Dependability and Quality Management DQM, Prijevor;
- [61] Službeni glasnik (2012) „*Pravilnik o načinu obavljanja probne vožnje brodova i zonama plovidbe*“ Službeni glasnik RS, 99/12, 16.10.2012. god.
- [62] Sokolić, D. (1979) „*Rečno brodarstvo*“, Tribina, Beograd;
- [63] Van Den Boom, H.J.J., Mennen, G.G.J., Vrkuyl, J.B. (2006) „*SEA TRIAL ANALYSIS JIP – Recommended practice for speed trials*“, MARIN, Holandija, www.marin.nl

- [64] Van Hassel E. (2011) „*Developing a Small Barge Convoy System to reactivate the use of small inland waterway network*“, Doctoral thesis, University of Antwerpen;
- [65] Van Lammeren, W.P.A. (1952) „*Otpor i propulzija broda*“, Brodarski institut, Zagreb;
- [66] Živanić, S. (1988) „*Rečna navigacija*“, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva Beograd i Zavod za izdavanje udžbenika Novi Sad;
- [67] Антоненко С.В. (2007) "Судовые движители", Дальневосточный государственный технический университет, Владивосток;
- [68] Анфимов, В.Н., Ваганов, Г.И., Павленко, В.Г. (1978) "Судовые тяговые расчеты", Транспорт, Москва;
- [69] Баракин, А. (1980) "Совешенствовать показатели использования флота", Речной Транспорт, 9/1980, Москва
- [70] Бибииков, М.Ю., (2013) "Эффективность движения теплоходов на пониженной скорости", Речной Транспорт, 4/2013, Москва
- [71] Бутов, А.С., Легостаев, В.А. (1988) "Планирование работы флота и портов", Транспорт, Москва, 1988
- [72] В. Г. Павленко (1979) "Маневренные качества речных судов", Транспорт, Москва;
- [73] Ваганов, Г. (1984) "Новая сетка типов судов: достоинства и недостатки", Речной Транспорт, 7/1984, Москва
- [74] Ваганов, Г. (1986) "О толкаче для Волги", Речной Транспорт, 6/1986, Москва
- [75] Ваганов, Г., Воронин, В. (1980) "Возможности эксплуатации толкаемых составов на Лене", Речной Транспорт, 8/1980, Москва
- [76] Ваганов, Г., Сазнов, А. (1983) "Об оптимальной мощности толкачей", Речной Транспорт, 8/1983, Москва
- [77] Ваганов, Г.И., Воронин, В.Ф., Шанчурова, В.К. (1986) "Тяга судов", Транспорт, Москва;
- [78] Веледницкий, И.О. (1965) "Сопротивление воды движению толкаемых составов", Транспорт, Москва, 1965
- [79] Воронин, В., Генералов, Е. (1980) "Толкание составов на Сухоне", Речной Транспорт, 7/1980, Москва
- [80] Воронов, Ю. (1989) "Новый показатель использования флота", Речной Транспорт, 7/1989, Москва
- [81] Гаринов, К., Калиновская, М., Макарова, Л., Мельанкова, Н. (1988) "О показателях использования флота", Речной Транспорт, 1/1988, Москва
- [82] Гаринов, К.А. (1979) "Планирование и анализ работы флота", Транспорт, Москва, 1979
- [83] Головников, В.И., Суколенов, А.Е., Шанчурова, В.К. (1976) "Основы организации работы флота и портов", Транспорт, Москва;

- [84] Захаров, Ю., Селезнев, Ю., Захаров, В. (1985) *"Выбор режима двигателя"*, Речной Транспорт, 9/1985, Москва
- [85] Земляновский, Д., Подгорный, А. (1985) *"Технико-экономическое обоснование типов речных судов"*, Речной Транспорт, 6/1985, Москва
- [86] Коваленко, К., Прилепко, А. (1982) *"Оптимальные режимы движения составов"*, Речной Транспорт, 11/1982, Москва
- [87] Лесюков, В.А. (1982) *"Теория и устройство судов внутреннего плавания"*, Транспорт, Москва, 1982
- [88] Никулина, А.Ю. (2012) *"Оптимизация движения судов"*, Речной Транспорт, 4/2012, Москва
- [89] Пашин, В.М. (1983) *"Оптимизация судов"*, Судостроение, Ленинград;
- [90] Платов, А.Ю., Платов, Ю.И., Молькин, В.Н. (2015) *"О целисобразности использования на речном транспорте отрасле-вой методики нормирования энергоэффективности (ЭЭ)"*, Речной Транспорт, 5/2015, Москва
- [91] Поачев Ю.А. (2014) *"Резервы эффективности транспортных перевозок"*, Речной Транспорт, 4/2014, Москва
- [92] Сахаров, В.В., Кузьмин, А.А., Черков, А.А., Тормашев, Д.С. (2014) *"Слайн-метод экономичного управленя расходом топлива на речных судах"*, Речной Транспорт, 3/2014, Москва
- [93] Скобелева, И., Селезнева, Н. (1981) *"О выворе показателей эффективности перевозок"*, Речной Транспорт, 12/1981, Москва
- [94] Суханов, В. (1990) *"Показатель эффективности - критерий оценки работы флота"*, Речной Транспорт, 6/1990, Москва
- [95] Тумаринсон, Е. (1988) *"Теплотехнишке испытания судов"*, Речной Транспорт, 10/1988, Москва
- [96] Филатов, С. (1988) *"Совершенствование паспортных характеристик судов"*, Речной Транспорт, 9/1988, Москва
- [97] Фомин, В.Г., Карабутов, П.Н. (2011) *"Методика оптимизации эксплуатационных показателей флота судоход-ной компании"*, Речной Транспорт, 4/2011, Москва
- [98] Цельковский П.Ф., Скобелева, И.П., Слезнева, Н.Н. (1988) *"Эффетивность речных перевозок и пути ее повышения"*, Транспорт, Москва, 1988
- [99] ЦНИИЭВТ (1987) *"Совершенствование эксплуатационной работы на речом транспорте"*, Сборник научных трудов, Транспорт, Москва, 1987
- [100] Цурбан, А.И. (1977) *"Определение маневренных элементов судна"*, Транспорт, Москва;
- [101] Шур, С., Расторгуев, В. (1986) *"Какой же толкч нужен Волге?"*, Речной Транспорт, 8/1986, Москва

Ostali izvori:

- [102] Predavanja i vežbe iz predmeta “Otpor i propulzija broda” školska godina 2004/2005, 7. i 8. semestar, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
- [103] VNF, Voies navigables de France, direction de la communication et de la promotion de la voie d'eau, Edition 2004;
- [104] „Dunavbrod“, Bussines association of Yugoslav shipbuilding industry, Beograd;
- [105] Elaborat snimanja profila Dunava i pritoka, Direkcija za unutrašnje plovne puteve "Plovput", za naručioca Privredno društvo "Hidroelektrane Đerdap" d.o.o. Kladovo, 2010.;
- [106] Tehnička dokumentacija Uprave za utvrđivanje sposobnosti brodova za plovidbu-generalni planovi brodova potiskivača, potisnica i tegljenica i crteži propelera i sapnica
- [107] <http://www.wagnerinstruments.com>
- [108] www.km.kongsberg.com
- [109] <http://www.akim.com.tr>