

Dr. sc. **Damir Zec**, redoviti profesor
Pomorski fakultet
Studentska 2, 51000 Rijeka

OPTIMALNA VELIČINA RO-RO PUTNIČKOG BRODA U OBALNOJ PLOVIDBI

Sažetak

U radu se razmatraju obilježja obalnog ro-ro putničkog prometa te se na temelju svojstava brodova i pruga koje oni održavaju predlaže način izračuna optimalnog prijevoznog kapaciteta za zadanu prometnu potražnju i način rada. Kao metoda izračuna predlaže se diskretna računalna simulacija, a kao kriterij procjena jediničnih troškova prijevoza po jednom vozilu – ispravljena za prosječno vrijeme prijevoza. Na temelju rezultata simulacije predlaže se davanje prednosti većem broju manjih ro-ro putničkih brodova – nasuprot jednom većem, posebice na kraćim prugama. Također, s obzirom na godišnje promjene prometne potražnje, predlaže se cjelogodišnje održavanje ro-ro putničkih pruga brodovima različitog prijevoznog kapaciteta.

Ključne riječi: ro-ro promet, optimalna veličina broda, simulacija, jedinični troškovi

1. Uvod

Ro-ro putnički promet obuhvaća promet brodova čije je temeljno obilježje mogućnost istodobnog prijevoza putnika i cestovnih vozila. Zbog navedenih obilježja ro-ro putnički brodovi u pravilu se upošljavaju na stalnim brodskim prugama koje su po svojoj prometnoj funkciji prirodni nastavak cestovne prometne mreže u pojedinoj državi ili, rjeđe, između dviju država. U odnosu na cestovnu prometnu mrežu temeljna zadaća ro-ro putničkog prometa je, u najvećem dijelu, povezivanje kopna i otoka, odnosno u znatno manjoj mjeri povezivanje kopna s drugim kopnom do kojeg je izgradnja prikladne cestovne mreže otežana ili neprikladna. Iznimno, ro-ro putnički promet može poslužiti i kao nadopuna cestovnoj

mreži kada je povećanje njezine propusne moći ograničeno¹ ili financijski neisplativo².

Zbog navedenih razloga ro-ro putnički brodovi u pravilu se upošljavaju na stalnim prugama na kojima, ovisno o prometnoj potražnji, plovi jedan ili više brodova. Ovisno o obimu prometne potražnje i uvjetima koji vladaju na području kojim se proteže pojedina pruga nije rijetkost da se brodovi namjenski grade za pojedinu prugu pri čemu se maritimna obilježja broda (visine voznih paluba, gaz, broj i svojstva porivnika, putnički prostori, itd.) prilagođavaju toj pruzi. Pritom, ovisno o svojstvima prometne potražnje to mogu biti brodovi jednakih ili sličnih svojstava, no to mogu biti i brodovi bitno različitih veličina i prometno-tehničkih svojstava koja se međusobno nadopunjuju u zavisnosti od trenutne potražnje. U tom slučaju – i sa stajališta brodarar koji održava takvu prugu i sa stajališta korisnika, odnosno nadležnih javnih službi promet svih brodova na pojedinoj pruzi promatra se kao cjelovit prometni sustav koji mora zadovoljiti stanovitu prometnu potražnju, nasuprot uobičajenom stajalištu u pomorstvu prema kojem se jedan brod u pravilu promatra kao jedinstvena cjelina u prometno-tehničkom i komercijalnom smislu.

U skladu s navedenim obilježjima ro-ro putničkog prometa osnovni cilj ovog rada je predložiti način određivanja optimalne veličine, odnosno prometnog kapaciteta jednog ili više ro-ro putničkih brodova koji će, na "najbolji" način, zadovoljiti prometnu potražnju koja se tijekom vremena mijenja na način uobičajen za obalni ro-ro putnički promet.

2. Prometno -tehnološke značajke ro-ro putničkih brodova

Ro-ro putnički brodovi koriste se za prijevoz putnika i vozila te manjih količina tereta. Postojeći ro-ro putnički brodovi mogu se podijeliti u tri osnovne skupine, ovisno o duljini pruge koju trebaju održavati i na temelju koje se određuju njihova osnovna obilježja. To su:

- manji ro-ro putnički brodovi namijenjeni plovidbi unutar bliskih luka, između tjesnaca i općenito između luka udaljenih međusobno do najviše nekoliko nautičkih milja,
- ro-ro putnički brodovi za srednje udaljenosti namijenjeni za održavanje pruga između luka udaljenih i do 50 M,

¹ Takav pristup predložen je prvi put od strane Europske zajednice 1992. godine u okviru "Short Sea Shipping" inicijative [1]. Isti pristup prihvaćen je i od nadležnih vlasti Sjedinjenih američkih država.

² Primjer takve namjene ro-ro putničkog povezivanja je dužobalna pruga od Rijeke do Dubrovnika koju održava brodar "Jadrolinija" iz Rijeke.

- veći ro-ro putnički brodovi namijenjeni povezivanju luka na udaljenostima većim od 50 M.

Manji ro-ro putnički brodovi koriste se ponajprije na kraćim brodskim prugama između kopna i otoka, odnosno otoka međusobno i na taj način predstavljaju prometni produžetak cestovnih kopnenih prometnica. Ti brodovi u pravilu imaju najmanje dva porivnika koji im omogućuju bolja manevarska svojstva, odnosno kraće vrijeme ukupne plovidbe te vrlo nizak odnos ukupne nosivosti i istisnine broda (između 0,16 i 0,25). Da bi se osigurala što veća površina za smještaj vozila i potrebna stabilnost, ti su brodovi u pravilu znatno širi od brodova sličnih veličina, ali drugih namjena. Zbog toga što se u pravilu koriste u dobro zaštićenim područjima uobičajeno imaju otvorenu (nezaštićenu) palubu za vozila koja se proteže od boka do boka broda. Gaz im je razmjerno mali da bi se omogućilo pristajanje na što većem broju različitih pristaništa. Prosječni prijevozni kapacitet (zbog približno pravokutne vozne palube) približno je jednak umnošku širine i dužine vozne palube podijeljen sa 16 (prosječna tlocrtna površina evropskog putničkog automobila iznosi oko 10 m² s obveznim razmakom od 0.4 metara između pojedinih vozila). Visina broda iznad mora kao i njegova dužina nerijetko se prilagođavaju pristaništima u koje brod pristaje tako da su izvedbe nadgrađa i putničkih prostora u pravilu vrlo raznolike. Dužine ro-ro putničkih brodova iz ove skupine kreću se od 25 do 40 m i rijetko su veće od navedenih dok im se prijevozni kapacitet kreće u rasponu od 25 do 40 vozila, ovisno o osnovnim dimenzijama i konstruktivnim svojstvima.

Za razliku od brodova prethodne skupine ro-ro putnički brodovi koji plovo na dužim prugama (do 50 M) su znatno raznolikijih izvedbi. Osnovni uvjet koji utječe na svojstva ovih brodova jesu očekivana oceanografska i meteorološka obilježja područja plovidbe. Primjerice, ako se očekuje da će brod ploviti u razmjerno zaštićenim vodama, tada vozna paluba u pravilu ostaje slabije zaštićena kako bi se u što je većoj mjeri povećao prostor za ukrcaj vozila. Nasuprot tome, ako se očekuju nepovoljniji oceanografski i meteorološki uvjeti, izvedbom se mora osigurati veća zaštita vozila i putnika zbog čega se smanjuje slobodni prostor na voznoj palubi i smanjuje prijevozni kapacitet broda.

Na svojstva ovih ro-ro putničkih brodova bitno utječu i dužina pruge koju brod treba održavati te struktura putnika. Primjerice, duže pruge pretpostavljaju prostore za kraći boravak i smještaj putnika tijekom plovidbe što bitno utječe na konstrukciju nadgrađa (može iziskivati smanjenje prostora za vozila) te u pravilu zahtijevaju snažnije strojeve kako bi se na takav način povećao prijevozni kapacitet broda u jedinici vremena.

Važan čimbenik je i očekivani način manevriranja broda pri pristajanju i odlasku broda. Ako je manevarski prostor u pojedinoj luci ili lukama ograničen, tada je presudno da brod može sigurno, u razumnom vremenu i bez vanjske pomoći, pristati ili isploviti. Ovaj čimbenik ponajprije ograničava veličinu broda zato što je manjim

brodom u pravilu jednostavnije i sigurnije manevriranje (manji utjecaj vjetera i morskih struja). Brodovi koji često manevriraju odlikuju se najčešće s dva upravljačka mjesta, jednakim mogućnostima plovidbe u oba smjera te protočnim ukrcajem. Zbog navedenih razloga, osim u izuzetnim slučajevima, ro-ro putnički brodovi ove skupine su u pravilu opremljeni većim brojem porivnika.

U najvećim izvedbama ro-ro putnički brodovi iz ove skupine mogu biti i duži od 60 metara i širi od 20 metara. U tom slučaju imaju samo jedan zapovjednički most. Prijevozni kapacitet im doseže i više od 80 vozila i 600 putnika. Namijenjeni su, plovidbi na većim udaljenostima gdje vrijeme plovidbe iznosi u pravilu do jednog sata. Nerijetko održavaju više pruga istovremeno, a mogu biti opremljeni i dvostrukim voznim palubama koje u pravilu koriste samo kada prometna potražnja postiže vršne vrijednosti. Od brodova namijenjenih putovanjima dužim od 50 M razlikuju se ponajprije skromnijim putničkim prostorima.

Ro-ro putnički brodovi namijenjeni putovanjima dužim od 50 M bitno ovise o prugama koje održavaju. U pravilu se grade za unaprijed poznate pruge tako da im svojstva bitno ovise o strukturi očekivanog prometa na predviđenim prugama. Pored osnovne prijevozne funkcije nerijetko im se dodaju i drugi sadržaji, ovisno o obilježjima određene pruge. U pravilu su opremljeni razmjerno bogato uređenim putničkim prostorima, a upotrebljavaju se samo na prugama na kojima postoji određeni promet cestovnih vozila koji ne može biti zamijenjen nekim drugim načinom prometa. Općenito, brodovi ove vrste svojim prometno-tehnološkim svojstvima, sadržajima i strukturom putnika približavaju se uobičajenim putničkim brodovima i, osim u rijetkim slučajevima, održavaju prugu samostalno, na način da se njihova svojstva i način poslovanja ne prilagođavaju drugim brodovima koji dijelom ili u cjelini održavaju istu prugu. U tom pogledu način poslovanja ovih brodova sličan je uobičajenom načinu poslovanja trgovačkih brodova pri kojem između brodova koji održavaju istu prugu postoji konkurentski odnos. Stoga se ova skupina ro-ro putničkih brodova u nastavku ovog rada neće razmatrati.

3. Prometne značajke obalnog ro-ro putničkog prometa

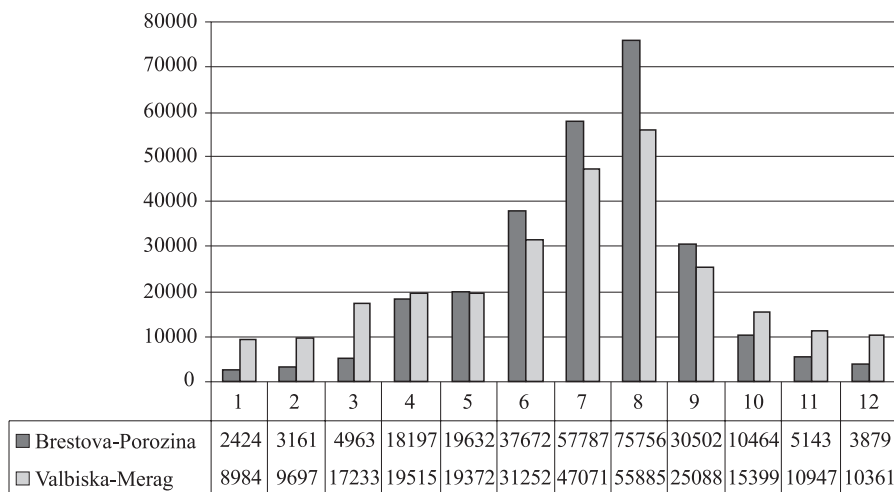
Osnovno prometno obilježje obalnog ro-ro putničkog prometa je izrazita vremenska promjenjivost prometne potražnje, odnosno oscilacije potražnje tijekom promatranog razdoblja. Ovo obilježje posljedica je činjenice da su ro-ro putničke pruge sastavni dio prometnica koje povezuju otoke s njihovim administrativnim, gospodarskim i prometnim središtima pa su stoga izrazito podložne općoj promjenjivosti cestovnog prometa na tim prometnicama. Prema vremenu pojavljivanja razlikuju se dnevne, tjedne i godišnje oscilacije prometne potražnje.

Dnevne oscilacije prometne potražnje ovise ponajprije o gospodarskoj snazi povezanih područja i u pravilu su obilježene dvama vršnim razdobljima od kojih je

jedno u ranijim jutarnjim, a drugo u ranim popodnevnim satima. Ovisno o prometnim navikama u pojedinim područjima moguće je uočiti i treće, znatno slabije vršno opterećenje i to u kasnijim večernjim satima.

Sa stajališta tjednih oscilacija valja istaknuti dva odvojena razdoblja tijekom tjedna i to razdoblje radnih dana (od ponedjeljka do petka), odnosno razdoblje neradnih dana (od petka popodne do nedjelje navečer). Ove tjedne promjene uočavaju se tijekom cijele godine, a izražene su naročito na prugama prema otocima s razvijenim gospodarstvom i brojnijim stanovništvom.

Godišnje oscilacije prometne potražnje jesu promjene najvećeg intenziteta. Javljaju se na svim prugama, a posebice na prugama u kojima je turistička djelatnost izrazito naglašena u odnosu na druge grane otočkog gospodarstva. Izrazit primjer godišnjih promjena prometne potražnje očit je na prugama prema jadranskim otocima na kojima prometna potražnja tijekom ljetnih mjeseci višestruko nadmašuje promet koji se ostvaruje tijekom preostalih mjeseci. Primjer godišnje oscilacije prometne potražnje na prugama prema otoku Cresu u 2001. godini prikazan je na slici 1. Promet je izražen brojem vozila.



Slika 1.: Promet vozila na ro-ro putničkim prugama prema otoku Cresu po mjesecima u 2001. godini

Posljedica izrazite promjenjivosti prometne potražnje je nemogućnost brodara da jednim brodom pruži zadovoljavajuću razinu prometne usluge tijekom cijele godine. U slučaju izbora broda većeg prijevoznog kapaciteta tijekom većeg dijela godine ostvarivat će se gubici zbog malog stupnja iskorištenosti. Nasuprot tome, brod manjeg prijevoznog kapaciteta će veći dio godine ostvarivati prihod, no tijekom mjeseci s vršnom potražnjom neće biti u stanju zadovoljiti potrebe do te mjere koja

može ugroziti gospodarski život na otocima ili čak i ugroziti redovno održavanje prometa na pristupnoj cestovnoj mreži.

Poteškoće koje su posljedica promjene prometne potražnje mogu se u stanovitoj mjeri umanjiti i to promjenama u plovidbenom redu i promjenama brzine prijevoza. Promjene u plovidbenom redu obuhvaćaju potpune izmjene plovidbenog reda prilagođenog novonastaloj prometnoj potražnji i uvođenje izvanrednih putovanja tijekom dana. Postojanje dvaju ili više plovidbenih redova, s različitim brojem putovanja na dan, prikladno je u slučaju očekivanih godišnjih, odnosno tjednih oscilacija prometne potražnje dok je uvođenje izvanrednih putovanja primjereno u slučaju dnevnih (odnosno kratkotrajnih) vršnih opterećenja. Nasuprot navedenim promjenama plovidbenog reda koje su se dokazale u primjeni, povećanje prijevoznog kapaciteta broda promjenom njegove putne brzine nema takvog utjecaja na zadovoljavanje prometne potražnje i osim u pojedinim slučajevima nije našlo širu primjenu, ponajviše zbog niza tehničkih poteškoća povezanih s porivnim sustavom broda.

U slučaju kada je prometna potražnja izrazito visoka jedino moguće rješenje je dodavanje još jednog broda u prugu, ako to dopušta izvedba pristaništa.

Pored izrazite promjenjivosti prometne potražnje postoji i čitav niz drugih obilježja koja u pojedinom slučaju mogu utjecati na djelotvornost obalnog ro-ro putničkog prometa kao što su obilježja vozila, struktura i odnos broja putnika i vozila, obilježja pristaništa i luka i sl. Valja istaknuti da ova obilježja imaju znatno manji utjecaj na veličinu broda, odnosno njegov prijevozni kapacitet u odnosu na promjenjivost potražnje pa se stoga u nastavku neće razmatrati.

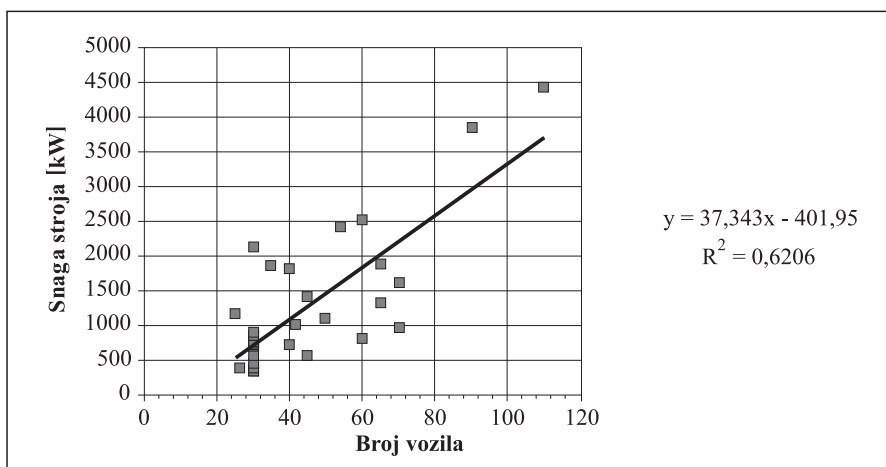
4. Pojam optimalne veličine ro-ro putničkog broda

Optimalna veličina, odnosno prijevozni kapacitet obalnog ro-ro putničkog broda je onaj kojim se ostvaruje najveći iznos dobiti, najveći iznos prihoda ili najmanji troškovi prijevoza uz zadovoljavajući prijevozni učinak pri zadatim uvjetima prometne potražnje. Dobit, odnosno prihod, kao mjeru djelotvornosti prikladno je koristiti kada količina prometa u najvećem dijelu obračunskog razdoblja osigurava pozitivan prihod brodaru. U stvarnosti, kada ro-ro putnički brodovi povezuju slabo razvijene ili slabo naseljene otoke brodar u pravilu ostvaruje gubitke. Kako se u tom slučaju povezivanje otoka s obalom smatra djelatnošću od općeg društvenog značenja, gubitke brodaru u pravilu nadoknađuje država. S obzirom da zbog izrazite godišnje promjenjivosti prometne potražnje, čak i na prugama koje na cjelogodišnjoj razini ostvaruju pozitivan prihod, uvijek postoji dio godine u kojem brodar ostvaruje gubitke, kao znatno prikladniju mjeru uspješnosti poslovanja ro-ro putničkog broda na zadanoj pruzi i prometnim uvjetima valja smatrati kriterij najmanjih troškova.

Poslovanje brodaru opterećuju brojni troškovi među kojima su najvažniji troškovi goriva, troškovi posade, troškovi održavanja i amortizacije, lučki troškovi

i naknade te drugi troškovi. Valja istaknuti da, osim troškova goriva, troškovi obalnog ro-ro putničkog prometa u značajnoj mjeri ovise ne samo o prijevoznom kapacitetu nego i o općim društvenim odnosima u pojedinoj državi pa ih je stoga vrlo teško procijeniti. Primjerice, troškovi posade ovise i o prosječnoj cijeni rada u pojedinoj državi, organizaciji i uobičajenoj brojnosti posade, primijenjenoj tehnologiji, snazi sindikata, itd.

Stoga su, kao prihvatljiva mjera ukupnih troškova broda, izabrani troškovi goriva i to ponajprije zato što oni uobičajeno čine pojedinačno najveću stavku pri pomorskom prijevozu te zato što u odnosu na druge troškove u najvećoj mjeri prate prijevozni kapacitet broda. Funkcionalna veza između prijevoznog kapaciteta i snage stroja, odnosno troškova goriva za zadanu tehnologiju može se odrediti na temelju postojećih brodova sličnih brzina plovidbe. Takvim pristupom, za postojeće brodove koji obavljaju ro-ro putnički promet na istočnoj obali Jadrana [2], najveći stupanj korelacije postignut je primjenom linearnog modela, što nije u skladu s općim pravilom³ koje vrijedi za veće trgovačke brodove prema kojem povećanje porivne snage slijedi povećanje veličine pa tako i prijevoznog kapaciteta na potenciju od 2/3. Navedeno odstupanje objašnjava se ponajprije razmjerno malim rasponom snaga promatranih brodova te činjenicom da povećanje prijevoznog kapaciteta ro-ro putničkih brodova raste s korisnom površinom, a ne volumenom broda.



Slika 2.: Funkcionalna veza između prijevoznog kapaciteta i porivne snage za 33 postojeća manja ro-ro putnička broda Jadrolinije iz Rijeke

³ Odnos između troškova goriva najčešće se prikazuje uz pomoć tzv. admiralitetske formule prema kojoj su troškovi goriva razmjerni specifičnoj potrošnji goriva, cijeni goriva, vremenu plovidbe, brzini broda na treću potenciju i istisnini na potenciju od 2/3 [vidi 3].

Ukupan potrošak goriva (FS) u dužem vremenskom razdoblju određen je umnoškom snage stroja i ukupnog trajanja plovidbe uz pretpostavku stalne brzine prijevoza, odnosno

$$FS = TVT \cdot P$$

gdje je TVT ukupno trajanje plovidbe u satima, a P instalirana snaga stroja u kW. Na taj način on je razmjerni troškovima goriva za brodove različitih veličina, ali sličnih tehnološko-prijevoznih svojstava.

Jedinični ispravljeni prijevozni trošak (TE_{PC}) određen je kao umnožak potroška goriva i prosječnog trajanja prijevoza po prevezenom vozilu, odnosno:

$$TE_{PC} = \frac{FS \cdot AWS}{TCT}$$

gdje je AWS prosječno vrijeme trajanja prijevoza jednog vozila (zbroj vremena plovidbe i vremena čekanja na prijevoz), a TCT ukupan broj prevezenih vozila u promatranom razdoblju i zadatim uvjetima. Jedinični ispravljeni prijevozni trošak može se opisati kao mjera utrošenog goriva po prevezenom vozilu ispravljena za vrijeme čekanja na prijevoz pri čemu njegova stvarna vrijednost nije bitna. Ispravak za vrijeme čekanja nužan je stoga što bi, u protivnom, brod optimalnog prijevoznog kapaciteta bio uvijek onaj koji kreće u plovidbu potpuno ispunjenog kapaciteta što sa stajališta prometne povezanosti dviju luka nije prihvatljivo.

Sukladno iznijetom, brodom optimalnog prijevoznog kapaciteta valja smatrati brod koji pri jednakoj brzini i zadatim uvjetima prometne potražnje ostvaruje najmanji jedinični prijevozni trošak po prevezenom vozilu uz razumno vrijeme čekanja na prijevoz.

5. Određivanje optimalne veličine ro-ro putničkog broda

Za određivanje optimalne veličine broda pri zadatim uvjetima prometne potražnje i sukladno navedenim postavkama nije moguće primijeniti metode koje se uobičajeno primjenjuju za rješavanje sličnih problema izračuna optimalnih veličina. Razlozi su brojni, a među najvažnije valja ubrojiti sljedeće:

- u stvarnosti broj izvanrednih vožnji, potpuno napuštanje objavljenog plovidbenog reda kao i prestanak plovidbe zbog noćenja ovise o trenutnoj prometnoj potražnji i broju brodova odnosno njihovoj veličini,
- prugu može održavati više brodova koji se uključuju sukladno dogovoru zapovjednika,

- dolazak vozila uvjetovan je objavljenim plovidbenim redom i ne može se opisati uobičajenim statističkim razdiobama.

Zbog navedenih razloga za određivanje optimalne veličine korištena je diskretna računalna simulacija. U tom cilju, a na temelju izloženih postavki razvijen je simulacijski model korištenjem namjenskog programa. Važna prednost diskretne računalne simulacije je i mogućnost praćenja brojnih drugih brojčanih parametara, ovisno o obilježjima pojedine ro-ro putničke pruge te jednostavna izmjena bitnih obilježja modela (broj brodova, broj pristaništa, broj vožnji, vrijeme plovidbe i dr.).

Model polazi od sljedećih pretpostavki:

- promet između dviju luka s jednim ili više pristaništa održava se prema voznom redu (pet vožnji dnevno) pri čemu je razmak vremena između uzastopnih polazaka jednak; redovno vrijeme vožnje je od 07:00 do 22:00 sata za prvu luku i od 09:00 do 24:00 sata za drugu luku,
- brodovi isplovljavaju prema redu vožnje; ako tijekom boravka broda u luci broj vozila u ukrcajnoj ili iskrcajnoj luci postane veći od prijevoznog kapaciteta broda, prvi brod na čekanju kreće na putovanje; provjera broja vozila na čekanju obavlja se u slučajnim razmacima svakih 3 – 5 minuta,
- u slučaju zauzetosti jedinog pristaništa drugi brod prisiljen je čekati na njegovo oslobađanje,
- nakon posljednje vožnje brod ili brodovi, ako ih je više, održavaju prugu dok ne prevezu sva vozila koja čekaju na prijevoz, a zatim odlaze na noćenje,
- ako nakon ukrcaja vozila na brod na obali i dalje za ukrcaj čeka stanoviti broj vozila, u prugu se uključuje pričuvni brod (ako postoji) koji kreće u izvanrednu vožnju; nakon što su sva vozila prebačena i nema vozila koji čekaju na prijevoz, prvi brod koji pristiže u luku vraća se na pričuvni vez, sve dok ne ostane samo jedan ili više brodova koji održavaju redovnu prugu prema redu vožnje,
- trajanje manevra isplovljenja i uplovljavanja određen je u minutama kao funkcija prijevoznog kapaciteta, odnosno prema izrazu

$$t_m = \frac{1}{20} \cdot C + U(1,1)$$

gdje je C prijevozni kapacitet broda u vozilima, a U uniformna razdioba sa srednjom vrijednošću 1 i rasponom 1,

- plovidba traje

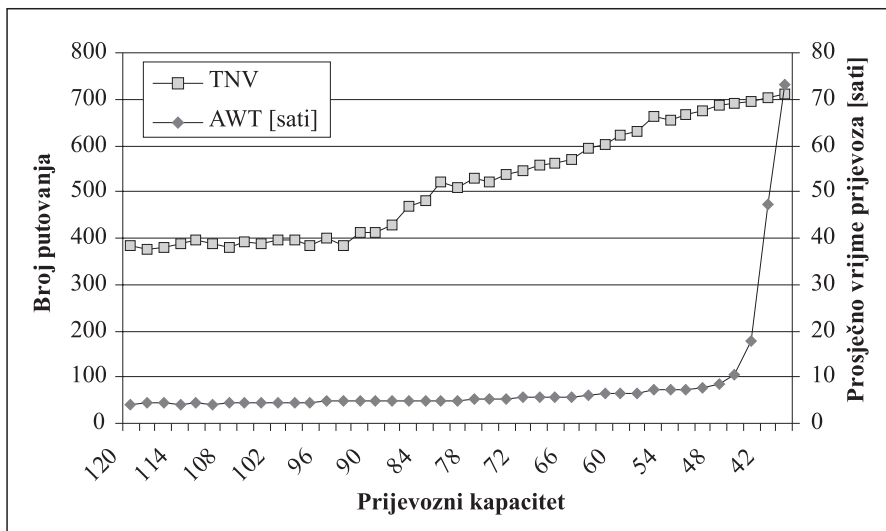
$$t_s = x + U(y, z)$$

gdje je x prosječno trajanje plovidbe a U uniformna razdioba sa srednjom vrijednošću y i rasponom z minuta,

- ukrcaj jednog vozila traje prosječno 1/4 minute; iskrcaj jednog vozila traje prosječno 10 sekundi; svako vozilo po dolasku treba 1/2 minute za kupovinu putne karte nakon čega može biti ukrcano (ako ima slobodnih mjesta na brodu),
- dolazak vozila na ukrcaj raspoređen je prema iskustvenoj razdiobi i to na način da vozila počinju dolaziti jedan sat prije prve plovidbe; u sljedeća 4 sata dolazi 10% ud ukupnog dnevnog broja, u sljedeća 4 sata 40%, u trećem 4-satnom razdoblju sljedećih 15%, te u četvrtom 25%; od tog trenutka do 15 minuta prije posljednje vožnje dolazi preostalih 10% vozila; vrijeme između dolazaka unutar jednog razdoblja raspoređuje se prema pravokutnoj razdiobi.

Model je izveden na način da se simulira promet brodova pri istom prijevoznom kapacitetu brodova u razdoblju od četiri tjedna. Nakon isteka ovog razdoblja, u sljedećoj replikaciji smanjuje se prijevozni kapacitet brodova za dva vozila. Raspon prijevoznog kapaciteta mijenja se od 120 do 40 vozila. Na taj način simulacijsko razdoblje od četiri tjedna ponovljeno je 40 puta. Ovaj raspon određen je imajući u vidu da je kapacitet od 120 vozila najveći koji se u zadatim tehnološkim uvjetima može primijeniti dok se kapacitet manji od 40 vozila u današnjim uvjetima teško može očekivati (izgradnja takvog broda je preskupa u odnosu na ostvareni kapacitet). Promjena prijevoznog kapaciteta na manje primijenjena je kako bi se osigurao blagi prijelaz na manji prijevozni kapacitet pri sljedećoj replikaciji – pretpostavlja se da brodovi većeg prijevoznog kapaciteta neće ostavljati neprevezena vozila u ukrcajnoj luci brodovima manjeg prijevoznog kapaciteta. Na taj način osigurano je da u svakoj replikaciji brodovi prevezu sva vozila koja pristižu na ukrcaj, odnosno da u slučaju nemogućnosti prijevoza svih vozila to ne poremeti održavanje simulacije.

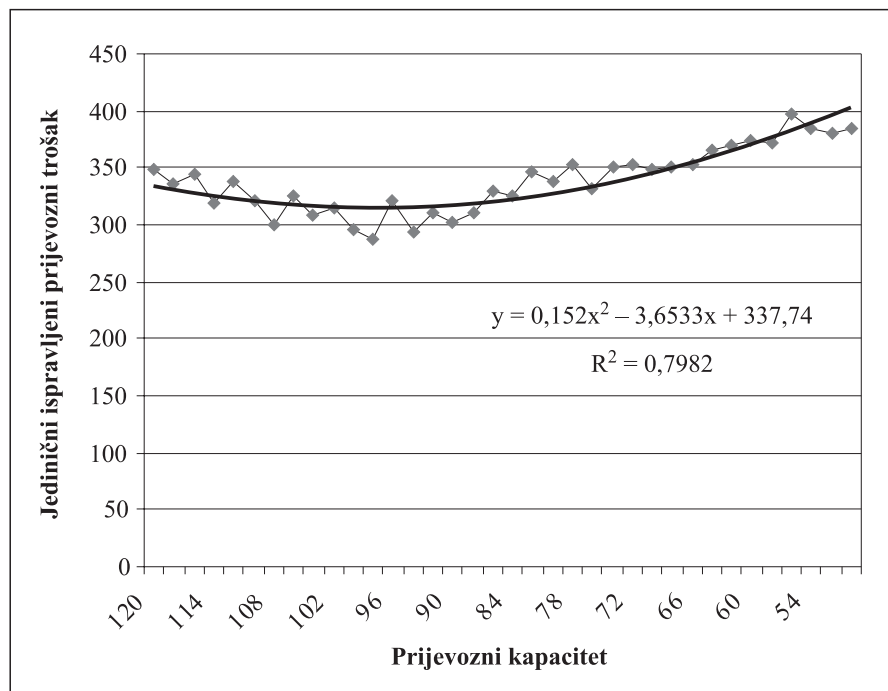
U cilju ispitivanja modela, odnosno određenja optimalne veličine provedene su simulacije s različitim uvjetima plovidbe, brodovima i prometnim opterećenjima. U nastavku su prikazani rezultati simulacije pri dnevnom prometu od 550 vozila na svakom pravcu, s po jednim pristaništem, s dva, odnosno tri broda brzine 15 čvorova te dužinom pruge od 15 nautičkih milja.



Slika 3.: Broj putovanja (TNV) i prosječno vrijeme prijevoza (AWT) za izabrane uvjete i dva broda na pruzi

Iz priložene slike lako se uočava da se broj putovanja ne mijenja bitno za brodove čiji je prijevozni kapacitet veći od 90 vozila pri čemu se prosječna popunjenost kapaciteta kreće oko 50%. Prijevozni kapacitet očito zadovoljava potrebe. Broj dodatnih putovanja za brodove manjeg prijevoznog kapaciteta uglavnom se linearno povećava sa smanjivanjem prometnog kapaciteta. No, za brodove prijevoznog kapaciteta manjeg od 50 vozila očito je da ni 24-satnom vožnjom ne mogu zadovoljiti potražnju te je to najmanja prihvatljiva veličina broda koji može opsluživati zadanu prugu. Pritom vrijeme zauzetosti pristana je oko 18%.

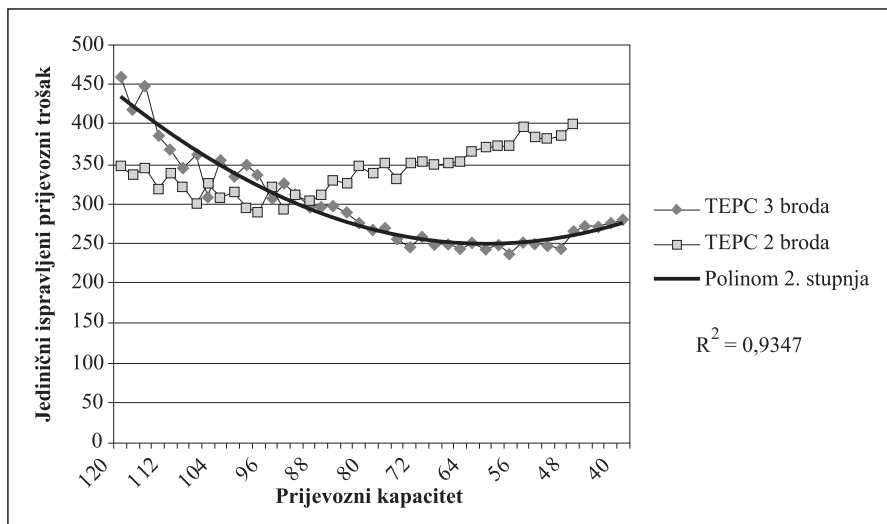
Najmanji jedinični prijevozni trošak izračunat je tako što je na temelju rezultata simulacije izračunat trend (polinom 2. stupnja) i određen njegov minimum. Na taj način za navedenu prugu i prometnu potražnju optimalni prijevozni kapacitet svakog broda je približno 94 vozila. Iz priloženih slika očito je da pri navedenom prijevoznom kapacitetu brodovi održavaju prugu uz vrlo mali broj izvanrednih vožnji. U stvarnosti imalo bi opravdanja za navedene uvjete izabrati brod nešto manjeg kapaciteta (približno 10 do 20%) jer se troškovi, posebice goriva, i razina usluge (vrijeme čekanja) ne bi bitno povećali, dok bi se stupanj popunjenosti prijevoznog kapaciteta znatno povećao, a time i ukupni prihodi brodaru, bez obzira na sveukupnost načina financiranja njegove djelatnosti.



Slika 4.: Jedinični prijevozni trošak (TE_{PC})

Zanimljiva je usporedba optimalne veličine kada, uz iste uvjete prometne potražnje prugu drže tri broda istog prijevoznog kapaciteta odnosno kada su u svakoj luci najmanje dva pristana. U tom slučaju dva broda održavaju prugu do trenutka kada više nisu u stanju zadovoljiti prometnu potražnju nakon čega se u promet uključuje sljedeći (pričuvni) brod.

Priložena slika jasno pokazuje da se povećanjem broja brodova, uz iste uvjete prijevoza i logiku, znatno smanjuje prosječno vrijeme čekanja te optimalni prijevozni kapacitet. Optimalni prijevozni kapacitet izračunat na temelju trenda daje vrijednost od 62 vozila. I u ovom slučaju ukupni potrebni prijevozni kapacitet je 186 vozila raspoređen ravnomjerno na tri broda dok je u prethodnom slučaju bio 188 vozila raspoređen na dva broda, na svaki 94. Razlika između ovih dviju vrijednosti može se pripisati numeričkoj grešci simulacije, a kako je dovoljno mala može se zanemariti. Na taj način pokazuje se da je za ukupni prijevozni učinak presudno imati na raspolaganju dovoljan broj brodova čiji je zajednički prijevozni kapacitet blizu optimalnog.



Slika 5.: Usporedba jediničnog prijevoznog troška za dva (TEPC 2B) odnosno 3 broda (TEPC 3B) u pruzi

Sa stajališta cjelogodišnjeg pružanja prijevozne usluge, odnosno imajući u vidu izraženu promjenjivost prometne potražnje tijekom godine može se zaključiti da je za optimalno pružanje usluge prometnog povezivanja pri zadatoj potražnji potrebno raspolagati s brodovima različitog prijevoznog kapaciteta pri čemu bi se brod najmanjeg kapaciteta koristio tijekom razdoblja najmanje potražnje, veći brod tijekom prijelaznog razdoblja, a oba tijekom razdoblja vršne prometne potražnje. Na sličan način valjalo bi organizirati održavanje pruge i u slučaju tri broda različitih prometnih kapaciteta.

Sa stajališta ovog rada zanimljivo je i zapažanje o kretanju optimalnog prijevoznog kapaciteta ro-ro putničkog broda na znatno kraćim prugama pri istoj prometnoj potražnji. U tom slučaju prednost uvijek valja dati brodovima manjeg kapaciteta (ali ne manjeg od 40-tak vozila) koji ostvaruju znatno bolje prometne rezultate, posebice u pogledu vremena prijevoza od većih brodova. U ovom slučaju rezultati simulacije potvrđuju uobičajeni izbor veličine obalnog ro-ro putničkog broda od iskusnih brodara.

I na kraju, valja istaknuti da rezultate simulacije valja tumačiti s posebnim oprezom imajući u vidu da temeljne postavke počivaju na pretpostavkama i odnosima koji su procijenjeni te stoga mogu sadržavati grešku čija se vrijednost teško može procijeniti sa zadovoljavajućom točnošću.

6. Zaključak

Na temelju prikazanog moguće je zaključiti sljedeće:

1. Temeljno obilježje obalnog ro-ro putničkog prometa je izrazita promjenjivost prometne potražnje i to na godišnjoj, tjednoj i dnevnoj razini.
2. Optimalnu veličinu, odnosno prijevozni kapacitet broda valja temeljiti na jediničnim troškovima prijevoza jednog vozila ispravljenog za vrijeme čekanja.
3. Optimalnu razinu usluge pružaju brodovi čiji je zajednički prijevozni kapacitet nešto manji od vrijednosti dobivene prikazanim simulacijskim modelom.
4. Na kraćim prugama, uz iste uvjete plovidbe i prometnu potražnju, bolju uslugu pružaju više brodova manjeg prijevoznog kapaciteta u odnosu na manji broj većih brodova.
5. Utjecaj godišnjih oscilacija prometne potražnje na ukupni i jedinični trošak prijevoza može se smanjiti primjenom više brodova različitih kapaciteta na istoj pruzi.

Literatura i pozivne bilješke:

1. *White Paper on the future development of the common transport policy*, DG TREN, Europska zajednica, 1992.
2. Bijela flota hrvatskog Jadrana, Jadrolinija, Rijeka, 1997.
3. Pomorska enciklopedija I-519, natuknica "Brod, ekonomika"

Damir Zec

OPTIMUM SIZE OF RO-RO PASSENGER SHIP IN COASTAL SERVICE

Summary

The paper discusses features of the RO-RO passenger shipping in coastal service, using the usual features of the vessels and routes maintained as the basis for the proposed method of computation of the optimum carriage capacity for a given demand, as well as for the method of operation. The proposed method of computation is the discrete computer simulation, which is being corrected for an average carriage duration where used as the criterion for the assessment of unit costs per vehicle.

Based on simulation results, the proposed method suggests preference to more small-sized RO-RO passenger ferries over one large-sized ship, specifically where short routes are concerned. In addition, and in consideration of oscillations in demand throughout the year, it results recommendable for the RO-RO passenger service to be maintained by means of vessels of various carriage capacities throughout the whole year.

Key words: RO-RO shipping, optimum vessel size, simulation, unit costs

DIMENSIONE OTTIMALE DELLA NAVE PASSEGGERI DI TIPO RO-RO PER LA NAVIGAZIONE COSTIERA

Sommario

Il saggio esamina i tratti distintivi del trasporto passeggeri su navi RO-RO adibite al traffico costiero e secondo le loro caratteristiche tipiche e relative linee viene proposto un metodo di calcolo per stabilire la capacità ottimale di trasporto ponendo a base la domanda di trasporto e modalità di operazione. Il metodo di calcolo impiegato è la simulazione discreta elaborata col computer e come criterio viene fatta la stima dei costi unitari e la durata media di trasporto.

Dai risultati di simulazione così ottenuti si prospetta una preferenza di trasporto con l'impiego di un maggior numero di navi di piccole dimensioni invece di una singola nave di grande dimensioni, specialmente in caso di linee brevi. In merito alle annuali fluttuazioni della domanda di trasporto si propone il mantenimento delle linee di navi passeggeri RO-RO per tutto l'arco dell'anno con unità di capacità di trasporto diversificata.

Parole chiave: trasporto RO-RO, capacità di trasporto ottimale, simulazione, costi unitari

