Analiza evakuacije putničkog broda pomoću pojednostavljene metode

Abdulaj, Filip

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:656645

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Filip Abdulaj

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori: Student:

Izv. prof. dr. sc. Vedran Slapničar Filip Abdulaj

Zagreb, siječanj 2021.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem svom mentoru izv. prof. dr. sc. Vedranu Slapničaru na iskazanom povjerenju i pruženoj potpori tokom izrade ovog diplomskog rada, te svim profesorima koji su mi godinama prenosili svoje znanje. Također zahvaljujem obitelji i prijateljima na potpori tijekom cijelog studiranja.

Filip Abdulaj

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija brodogradnje

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa: **602 - 04 / 21 - 6 / 1**	
Ur. broj:**15 - 1703 - 20 -**	

DIPLOMSKIZADATAK

Student: **Filip Abdulaj** Mat. br.:0035201754

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza evakuacije putničkog broda pomoću pojednostavljene metode**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Passenger ship evacuation analysis using a simplified method**

Opis zadatka:

Za putnički brod čija je dokumentacija zadana potrebno je napraviti sljedeće:

1. Sastaviti uvod o putničkim brodovima uz kratku analiza nesreća putničkih brodova s naglaskom na problematiku puteva bježanja.
2. Analizirati važeća pravila za evakuaciju te opisati principe proračuna plana bijega i opreme za spašavanje.
3. Za zadani brod izraditi proračun evakuacije pomoću pojednostavljene metode.
4. Pronaći kritične točke zastoja te izvršiti korekcije plana bijega.
5. Proračunati potrebnu opremu za spašavanje te odrediti njihov položaj.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan: 12. studenoga 2020.

Datum predaje rada: 14. siječnja 2021.

Predviđeni datumi obrane: 18. – 22. siječnja 2021.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Vedran Slapničar

Predsjednik Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Ivan Ćatipović

SADRŽAJ

1. UVOD ... 1
1.1. Ro-Ro putnički brodovi ... 2
1.2. Povijest Ro-Ro brodova ... 4
2. Sigurnost Ro-Ro putničkih brodova ... 6
2.1. Pomorske nesreće Ro-Ro putničkih brodova ... 6
2.2. Problemi pri evakuaciji putničkih brodova ... 7
3. Odabrani brod - Ro-Pax ferry ... 9
4. Evakuacija Ro-Ro putničkih brodova ... 10
4.1. Plan bijega sa putničkog broda ... 11
4.1.1. Princip proračun plana bijega ... 15
4.1.2. Raspored putnika i posade na brodu ... 19
4.1.3. Proračun širine stubišta na putu bijega ... 19
4.2. Provođenje analize evakuacije ... 26
4.2.1. Scenariji evakuacije broda koji se uzimaju u obzir ... 29
4.2.2. Standardi ... 30
4.2.3. Pojednostavljena metoda ... 31
4.2.4. Postupak za izračunavanje trajanja putovanja u idealnim uvjetima ... 34
4.3. Analiza evakuacije ... 36
4.3.1. Pedestrian Dynamics ... 37
4.3.2. Ulazni podatci analize ... 37
4.3.3. Rezultati simulacije - Slučaj 1 - noć ... 41
4.3.4. Rezultati simulacije - Slučaj 2- dan ... 48
4.3.5. Usporedba simulacije s rezultatima analize prema MSC/ Circ. 1533 Revidirane smjernice o analizama evakuacije novih i postojećih putničkih brodova ... 56
5. Oprema za spašavanje ... 62
5.1. Plovila za preživljavanje i brodice za prikupljanje ... 62
5.1.1. Plovila za preživljavanje ... 62
5.1.2. Brodice za prikupljanje ... 63
5.1.3. Prikupljanje splavi za spašavanje ... 63
5.1.4. Sustavi za brzo napuštanje broda ... 63
5.1.5. Proračun plovila za preživljavanje i brodica za prikupljanje: ... 64
5.2. Osobna sredstva za spašavanje ... 66
5.2.1. Koluti za spašavanje ... 66
5.2.2. Prsluci za spašavanje ... 67
6. ZAKLJUČAK ... 69

POPIS SLIKA

Slika 1. Vanjska rampa Ro-Ro broda ... 3
Slika 2. Unutrašnja rampa Ro-Ro broda ... 3
Slika 3. MS Color Magic ... 4
Slika 4. HMS Boxer ... 5
Slika 5. MS Estonia ... 7
Slika 6. Postupak evakuacije broda ... 10
Slika 7. Dijagram izrade puteva bježanja na brodu ... 11
Slika 8. Minimalna širina stubišta ... 17
Slika 9. Proračun površine stubišta ... 18
Slika 10. Izračun ukupnog vremena za evakuaciju ... 31
Slika 11. Profil putnika ... 38
Slika 12. Model broda ... 39
Slika 13. Polazna točka ... 39
Slika 14. Mjesto okupljanja ... 39
Slika 15. Naziv stubišta i palube koje povezuje ... 40
Slika 16. Postotak brzine ovisan o gustoći toka ... 40
Slika 17. Specifikacija rukohvata ... 41
Slika 18. Skala gustoće toka ... 41
Slika 19. Vrata C ... 43
Slika 20. Hodnik 1 i vrata 1 ... 44
Slika 21. Hodnik 2 i vrata 2 ... 44
Slika 22. Vrata N ... 46
Slika 23. Hodnik 5 ... 49
Slika 24. Hodnik 5 s pogledom na stubište C ... 49
Slika 25. Stubište A1 i A2 ... 51
Slika 26. Vrata N ... 52
Slika 27. Spoj grupa na putanji 11 ... 52
Slika 28. Vrata D i stubište A4 ... 53
Slika 29. Spoj puteva bježanja ... 53
Slika 30. Osobni prostor agenta u simulaciji ... 61
Slika 31. Sustav za brzo napuštanje broda ... 64
Slika 32. Brodica za prikupljanje ... 65
Slika 33. Kolut za spašavanje ... 66
Slika 34. Prsluk čiji uzgon ovisi o krutoj tvari ... 68

POPIS TABLICA

Tablica 1. Tablica većih pomorskih nesreća Ro-Ro brodova od 1987 godine 6
Tablica 2. Stubište A-krma 19
Tablica 3. Stubište C-krma 20
Tablica 4. Stubište B-krma 20
Tablica 5. Stubište B1-pramac 20
Tablica 6. Stubište B,B2 - pramac 21
Tablica 7. Stubište C-pramac 22
Tablica 8. Stubište D-pramac 23
Tablica 9. Stubište E- pramac 24
Tablica 10. Vrijednost početnog specifičnog protoka i početne brzine kao funkcija gustoće . 33
Tablica 11. Vrijednost maksimalnog specifičnog protoka 33
Tablica 12. Vrijednost specifičnih protoka i brzine 33
Tablica 13. Stubište C- Glavna protupožarna zona 1 - noć 42
Tablica 14. Stubište A1- Glavna protupožarna zona 2 - noć 43
Tablica 15. Stubište A2- Glavna protupožarna zona 2 - noć 44
Tablica 16. Stubište A4- Glavna protupožarna zona 2 - noć 45
Tablica 17. PALUBA 6 krma - Glavna protupožarna zona 2 - noć 45
Tablica 18. PALUBA 5 pramac - Glavna protupožarna zona 1 - noć 46
Tablica 19. STUBIŠTE A krma - Glavna protupožarna zona 1 - noć 47
Tablica 20. STUBIŠTE C - Glavna protupožarna zona 1 - dan 48
Tablica 21. STUBIŠTE A1 - Glavna protupožarna zona 3 - dan 50
Tablica 22. STUBIŠTE A2 - Glavna protupožarna zona 3- dan 50
Tablica 23. PALUBA 6 krma - Glavna protupožarna zona 2 dan 51
Tablica 24. STUBIŠTE A4 prama - Glavna protupožarna zona 2 - dan 53
Tablica 25. PALUBA 5 pramac - Glavna protupožarna zona 1 - dan 54
Tablica 26. STUBIŠTE A krma - Glavna protupožarna zona 1 - dan 55
Tablica 27. Usporedba - Slučaj 1 57
Tablica 28. Usporedba - Slučaj 2 59
Tablica 29. Proračun kapaciteta plovila za spašavanje 64
Tablica 30. Koluti za spašavanje 66
Tablica 31. Proračun broja prsluka na brodu 67

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
R	[s]	vrijeme prilagodbe
T	[s]	vrijeme koje je potrebno da putnik prijeđe put bježanja
E	[s]	vrijeme ukrcaja
L	[s]	vrijeme pokretanja
N	[s]	ukupno vrijeme evakuacije
W	[mm]	širina stubišta
N		ukupan broj osoba koji će koristiti stubište na palubi
N_i		broj osoba na palubi
S	[m^2]	površina za okupljanje umanjena za površinu za otvaranje vrata i umanjena za površinu potrebnu za priključivanje na put bijega na stubištu
P		broj putnika koji privremeno zbog bijega borave na površini za okupljanje
Z		ukupan broj putnika za evakuaciju na palubi
γ		faktor sigurnosti
δ		faktor obratnog toka
t_1	[s]	najdulje trajanje putovanja
W_C	[mm]	širina među rukohvatima u hodnicima i na stubištima
D	[p/m^2]	početna gustoća putnika na putu bijega
S	[m/s^2]	brzina putnika
Fs	[p/ms]	specifični protok osoba
Fc	[p/s]	izračunati protok osoba
t_f	[s]	vrijeme protoka
D_i	[p/m^2]	trenutna gustoća toka
D_{fact}		koeficijent gustoće
D_{jam}	[p/m^2]	gustoća zastoja
v		brzina putnika

POPIS SKRAĆENICA

SOLAS	The International Convention for the Safety of Life at Sea
IMO	International Maritime Organization
MARPOL	The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
STCW	International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers
FTP	Fire Test Procedures
MVZ	Main vertical zone
MFZ	Main fire zone
LSA	Life saving appliances

SAŽETAK

U ovom diplomskom radu će se, uz pomoć priložene literature, dati uvod o Ro-Ro putničkim brodovima, njihov razvoj i analize nesreća. Prilikom nesreće javlja se problematika puteva bježanja na brodu, stoga IMO kroz konvenciju SOLAS donosi pravila evakuacije kojima je cilj spašavanje putnika. Ta pravila obuhvaćaju proračun plana bijega i opreme za spašavanje koju je brod obavezan imati.

Za zadani brod provedena je usporedbu pravila po kojima je projektiran i pravila koja su stupila na snagu 1. siječnja 2020. godine. Analiza evakuacije dodatno je provedena pomoću softverske simulacije gdje se dobiva bolji uvid u rezultate, u radu su opisani principi po kojima softver radi u usporedbi s pojednostavljenom metodom.

Ključne riječi: *put bježanja, analiza evakuacije, oprema za spašavanje, Ro-Ro putnički brod.*

SUMMARY

In this masters work, with the help of the attached literature, an introduction to Ro-Ro passenger ships will be given, as well as their development and accident analysis. In the event of accidents, there is a problem with escape routes on board, so the IMO, through the SOLAS Convention, determines evacuation rules aimed at rescuing passengers. These rules include the financial aspect of the escape plan and rescue equipment the ship is required to have.

For the given ship, a comparison was made of the rules under which it was designed and the rules that came into force on 1 January 2020. The evacuation analysis was additionally performed using a software simulation where a better insight into the results is obtained as the paper also describes the principles according to which the software works in comparison with a simplified method.

Key words: *escape route, evacuation analysis, rescue equipment, Ro-Ro passenger ship.*

1. UVOD

Putnički brod je, prema SOLAS konvenciji iz 1974. godine, brod pogonjen motornim pogonom i ovlašten je prevoziti više od dvanaest putnika. U studenom 1995. godine spomenuta se SOLAS konvencija izmjenjuje i dopunjuje te se i Ro-Ro putnički brod određuje kao putnički brod s Ro-Ro teretnim prostorima ili prostorima posebne kategorije.

IMO [1] je specijalizirana agencija Ujedinjenih naroda odgovorna za sigurnost brodova i plovidbe te sprečavanje morskog i atmosferskog zagađenja brodova. Može se reći da je najveća briga IMO-e sigurnost osoblja i sprečavanje zagađenja mora pri prijevozu tereta ili putnika na otvorenom moru. Da bi IMO to postigla oslanja se na svoja dva vrlo važna stupa konvencije: SOLAS i MARPOL.

SOLAS je međunarodna konvencija o sigurnosti života na moru koja uspostavlja sigurnosne mjere tijekom gradnje, opremanja i rada brodova. IMO SOLAS 74 posljednja je usvojena revidirana konvencija je stupila na snagu 2020. godine koja uključuje niz propisa koji se bave sigurnosnim mjerama predostrožnosti i sigurnosnim postupcima počevši od gradnje pa sve do slučajeva poput napuštanja broda. Konvencija se redovno ažurira s ciljem zadovoljenja sigurnosnih normi u modernoj brodskoj industriji.

Drugi važan stup je MARPOL. To je glavna međunarodna konvencija koja se bavi sprječavanjem onečišćenja morskog okoliša brodovima. Smatra se da se zagađenje može dogoditi u radu samog broda ili može biti izazvano slučajnim događajem odnosno nesrećom. Konvencija uključuje propise usmjerene na sprječavanje i minimiziranje onečišćenja brodovima, a trenutno se sastoji od šest tehničkih priloga.

Putnički brodovi koji se danas nalaze u službi podliježu nizu propisa i standarda koji pokrivaju sve aspekte tijekom gradnje i plovidbe broda. Incidenti koji su se događali prijašnjih godina doveli su do poboljšanja sigurnosnih zahtjeva poput evakuacijskih puteva, opreme i sustava za spašavanje. Od 1995. godine STCW konvencija, putem koje je IMO 1978. uvela standarde obrazovanja pomoraca na globalnoj razini , uključuje posebne zahtjeve za osposobljavanje posade na putničkim brodovima poput obuke za upravljanje velikom količinom ljudi u hitnoj situaciji. Razvoj novih propisa primarno je usmjeren na sprečavanje nesreće i poboljšanje preživljavanja tako da u slučaju nesreće brod može sigurno stići do luke bez da putnici napuštaju brod.

Neki od osnovnih tipova putničkih brodova smatraju se:

- prekooceanski brodovi
- brodovi za krstarenje
- trajekti
- obalni brodovi

Jednim od najbitnijih oblika putničkih brodova smatraju se Ro-Ro putnički brodovi, a kao idealan primjer takvog putničkog broda su trajekti odnosno brodovi koji su najčešće predviđeni za kratke međunarodne rute.

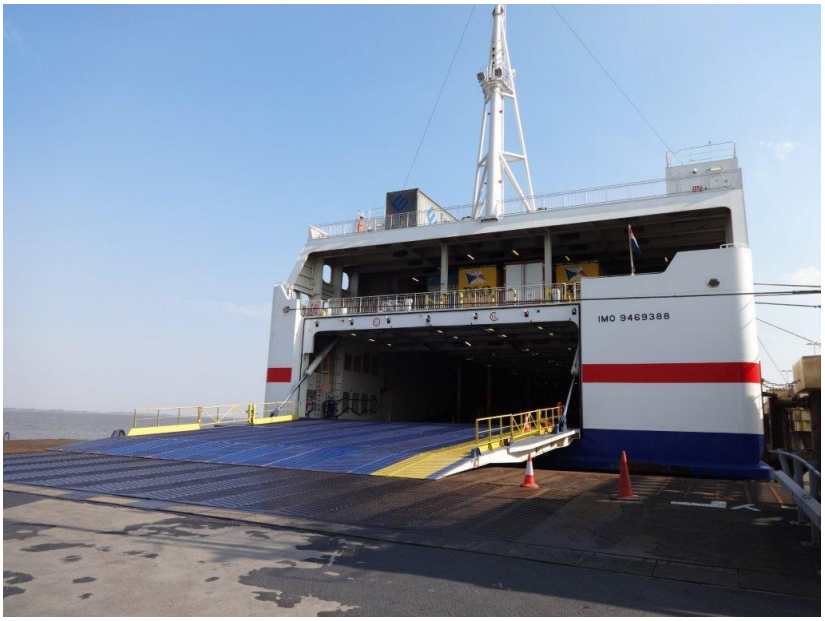
Za ovaj rad odabran je brod Ro-Pax ferry prikazan u poglavlju 3, pravila i propisi koji su navedeni u daljnjem tekstu odnose se na putničke i na Ro-Ro putničke brodove.

1.1. Ro-Ro putnički brodovi

Roll-on/Roll-off putnički brodovi [2] plovila su koja, osim za prijevoz putnika, služe i za prijevoz tereta na kotačima kao što su: automobili, kamioni, prikolice i željeznički vagoni, odnosno za sav teret koji se na brodu i izvan njega vozi pomoću vlastitih kotača. Ti su brodovi projektirani i za različite vrste tereta koji se na brod dopremaju pomoću transportnih vozila. Ro-Ro teret spada u najjeftiniji način otpreme u usporedbi s različitim načinima zbog svoje jednostavnosti utovara i istovara tereta. Ro-Ro brodovi često se miješaju sa car carrier-ima, no car carrier-i smiju prevoziti najviše dvanaest putnika, dok su Ro-Ro brodovi, kako je već ranije spomenuto, ovlašteni za prijevoz više od dvanaest putnika.

Ukrcaj i iskrcaj tereta na brodu vrši se preko vanjskih rampi (Slika 1) koje mogu biti već ugrađene u samu konstrukciju broda ili se mogu nalaziti na kopnu. Rampe na brodu uvrštavaju se pod opremu broda te kao takve moraju zadovoljiti određene kriterije. Rampe omogućuju efikasno kotrljanje tereta na brod i sa njega dok se on nalazi u luci. One se mogu nalaziti na krmi, pramcu, bokovima ili u bilo kojoj kombinaciji od navedenih. Rampe na brodu mogu biti i unutarnje (Slika 2)koje se izvode kao pomične i nepomične, a povezuju više paluba te zatvaraju palubne otvore. Ove rampe služe za premještaj vozila i tereta unutar broda. Nagib Ro-Ro rampi s jedne strane mora biti dovoljno blag radi jednostavnosti vožnje, a s druge strane treba biti razumno velik kako rampa ne bi bila predugačka. Danas je uobičajeno koristiti rampe s nagibom 1:10. Uračunava se i trim (čak do 1°) što povećava nagib rampe na 1:8. Kod vanjskih

je rampi važno da zadovolje promjene u gazu broda, ali i promjene u vodostaju (plima/oseka) na način da razlika razine između palube vozila i obale bude u dozvoljenim granicama.



Slika 1. Vanjska rampa Ro-Ro broda

https://sms-sme.com/cpt_product/external-ro-ro-system/ (29.11.2020)

Slika 2. Unutrašnja rampa Ro-Ro broda

https://smssme.com/cpt_product/internal-ro-ro-system/ (29.11.2020)

Za razliku od ostalih tereta koji se mjere u metričkim tonama, jedinica za mjeru na Ro-Ro brodovima je trakmetar (eng. *Lanemeter, - lm*) i osobni automobil, a može biti i kombinacija navedenih [3]. *lm* se izračunava množenjem duljine tereta u metrima s brojem paluba i njegovom širinom u trakama. Širina se traka razlikuje od broda do broda, a postoje različiti industrijski standardi.

Trenutno najveći Ro-Ro putnički brod je MS Color Magic (Slika 3). Težak je 75100 BT (bruto tona). U službu je stupio u rujnu 2007. godine za Color Line, a izgradila ga je tvrtka Aker Finnyards u Finskoj. Trajekt je dugačak 223,70 m, širok 35 m i može prevesti 550 automobila odnosno 1270 trakmetar tereta.

Slika 3. MS Color Magic

http://www.faktaomfartyg.se/color_magic_2007_b_1.htm (29.11.2020)

1.2. Povijest Ro-Ro brodova

Iako se danas Ro-Ro brodovi [4] najčešće vezuju uz prijevoz automobila i teretnih vozila, prvi Ro-Ro brodovi prevozili su vlakove.

30-ih i 40-ih godina 19. stoljeća izgrađivala se željeznička mreža Velike Britanije pri čemu su neke rijeke bile preširoke da bi se izgradili željeznički mostovi. Kao rješenje su se nudili riječni brodovi pri čemu bi vlakovi s jedne strane ulazili na palubu broda, a s druge strane bi silazili s nje. Iako su ti brodovi služili kao pokretni mostovi, oni zapravo čine bazu današnjeg automobilskog prijevoza preko vode.

Iako su se već u Prvom svjetskom ratu koristili trajekti za vlakove u svrhu prijevoza topništva, vojnih vozila i tenkova, tek su u Drugom svjetskom ratu napravljeni prvi brodovi koji su bili posebno projektirani za prijevoz cestovnih vozila. Prvi takav brod bio je HMS Boxer (Slika 4) koji je pušten u promet 1941. godine, a mogao je podnijeti teret od 13 tenkova, 27 manjih vozila i 200 vojnika.

Slika 4. HMS Boxer

https://www.autoshippers.co.uk/blog/the-history-of-roll-on-roll-off-shipping (29.11.2020)

Danas se Ro-Ro brodova koriste diljem svijeta kao standardni brod, a značajna je prekretnica koja se dogodila 2008. godine kada je zaplovio Auriga Leader, prvi svjetski car carrier s djelomičnim solarnim pogonom.

2. Sigurnost Ro-Ro putničkih brodova

Ro-Ro putnički brodovi [1] jedni su od najuspješnijih oblika brodova koji se danas koriste. Njihova odlika sastoji se u velikoj fleksibilnosti, sposobnosti integracije s drugim transportnim sustavima i brzini rada što je ovu vrstu brodova učinilo izuzetno popularnom na mnogim brodskim rutama. Prema dostupnim podatcima iz ShipPax-a, 2004. godine je na 5,9 milijuna plovidbi prevezeno više od 1,3 milijarde putnika, 188 milijuna automobila, 856 000 autobusa i 28,7 milijuna prikolica.

2.1. Pomorske nesreće Ro-Ro putničkih brodova

Unatoč svom komercijalnom uspjehu, zabilježene su uznemirujuće nesreće koje su uključivale različite vrste Ro-Ro brodova. Jedna od najgorih pomorskih nesreća su prevrtanje trajekta Herald of Free Enterprise 1987. godine pri čemu su poginule 193 osobe i još tragičnija nesreća Estonije 1994. godine u kojoj su poginule 852 osobe. Kao odgovor na te nesreće [1], IMO je usvojio niz izmjena i dopuna unutar konvencije SOLAS kojima je cilj osigurati da se nesreće te vrste ne ponove. Tablica 1 prikazuje neke od najvećih pomorskih nesreća Ro-Ro putničkih brodova.

Tablica 1. Tablica većih pomorskih nesreća Ro-Ro brodova od 1987 godine

Datum nesreće	Brod	Godina	Uzrok nesreće	Broj žrtava
06.03.1987.	MS Herald of Free Enterprise	1980	prevrtanje	193
07.04.1990.	MS Scandinavian Star	1971	požar	159
14/15.12.1991.	MV Salem Express	1965	naplavljivanje	464
14.01.1993.	MS Jan Heweliusz	1977	prevrtanje	55
28.09.1994.	MS Estonia	1980	naplavljivanje	852
18.09.1998.	Princess of the Orient	1974	naplavljivanje	94
25.11.1999.	Dashum	1983	požar	282
23.12.1999.	Asia South Korea	1972	požar	56
26.09.2000.	MS Express Samina	1966	nasukavanje	94
26.09.2002.	Ms Le Joola	1990	prevrtanje	1863
03.02.2006.	MS al-Salam Boccaccio 98	1968	požar	1031

16.04.2014.	MV Sewol	1994	prevrtanje	304
20.09.2018.	MV Nyerere	2004	prevrtanje	228

Pomorska nesreća broda Estonia (Slika 5) dovela je do najbrže nadopune SOLAS konvencije unutar koje je usvojen niz izmjena i dopuna propisa koji se primjenjuju na nove i postojeće Ro-Ro putničke brodove.

Slika 5. MS Estonia

https://www.maritimecyprus.com/2016/10/01/flashback-in-history-ms-estonia-sinking-on-28-september-1994-claiming-852-lives-2/ (29.11.2020)

2.2. Problemi pri evakuaciji putničkih brodova

Kada govorimo o evakuaciji, važno je napomenuti da se evakuacija broda neće odvijati u svim slučajevima nesreća. Najčešća situacija koja se događa jest ta da brod sa sigurnošću pokuša doći do najbliže luke kako bi posada i putnici sa sigurnošću mogli sići s broda. Pomorske nesreće se događaju jer je nemoguće ukloniti sve opasnosti koje prijete ljudskom zdravlju i životu. Valja istaknuti najopasnije nesreće koje se mogu dogoditi, a koje predstavljaju opasnost za ljudske živote [5]:

- gubljenje stabiliteta
- vatra

- sudar
- nasukavanje
- teški vremenski uvjeti

Pri spomenutim oblicima nesreća evakuacija je putnika često neizbježna. Nesreće povezane s požarima su jedne od najopasnijih koje se mogu dogoditi jer se požar kao takav brzo širi, a dimovi nastali požarom smanjuju vidljivost i otežavaju disanje. Iz toga razloga SOLAS konvencija unutar poglavlja II-2 izdvaja poseban odjeljak koji je posvećen zaštiti od požara, otkrivanju i gašenju požara.

Prilikom evakuacije broda javljaju se različiti problemi koji se, nažalost, identificiraju tek nakon velikih nesreća koje su odnijele ljudske živote. Neki od najčešće ustanovljenih problema prilikom evakuacije, a koji su vezani za putnike su:

- svaki putnik je jedinstven, pa tako i reagira
- putnici ne prate označene puteve bijega već se kreću njima poznatim putevima
- putnici pokušavaju ponijeti što više stvari
- putnici teško prate puteve bijega u slučaju prisutnosti vatre i dima
- fizička i psihička stanja putnika
- putnici se kreću uz svoje obitelji ili poznanike koji nužno ne prate puteve bijega
- putnici tragaju za svojim obiteljima
- brod u nagnutom ili nestabilnom položaju otežava kretanje putnika
- različita kultura i nacionalnost putnika dovode do potencijalnog međusobnog nerazumijevanja

Kako bi se izbjeglo što više navedenih problema prilikom evakuacije potrebno je pobrinuti se da se plan evakuacije može izvesti s lakoćom, bez križanja i preklapanja grupa. Puteve bježanja i opremu za spašavanje potrebno je redovito održavati, a posada broda mora biti uvježbana za takve situacije.

3. Odabrani brod - Ro-Pax ferry

Radi analize i usporedbe rezultata odabran je brod Ro-Pax ferry koji je korišten i u literaturi [6]. Ro-Pax ferry putnički je brod namijenjen za kratka međunarodna putovanja. Brod omogućuje prijevoz putnika i vozila, a s obzirom na to da je predviđen za kratka putovanja omogućuje i brzi ukrcaj i iskrcaj vozila i tereta, a putnici se, uz to, osjećaju ugodno za vrijeme plovidbe.

Glavne dimenzije:

Duljina preko svega	172,0	m
Duljina između okomica	160,2	m
Širina	27,3	m
Projektni gaz	5,60	m
Visina od osn. do gl. palube	8.10	m

Nosivost:

Nosivost	4500	t
Masa praznog opremljenog broda	10000	t
Bruto tonaža	2500	gt

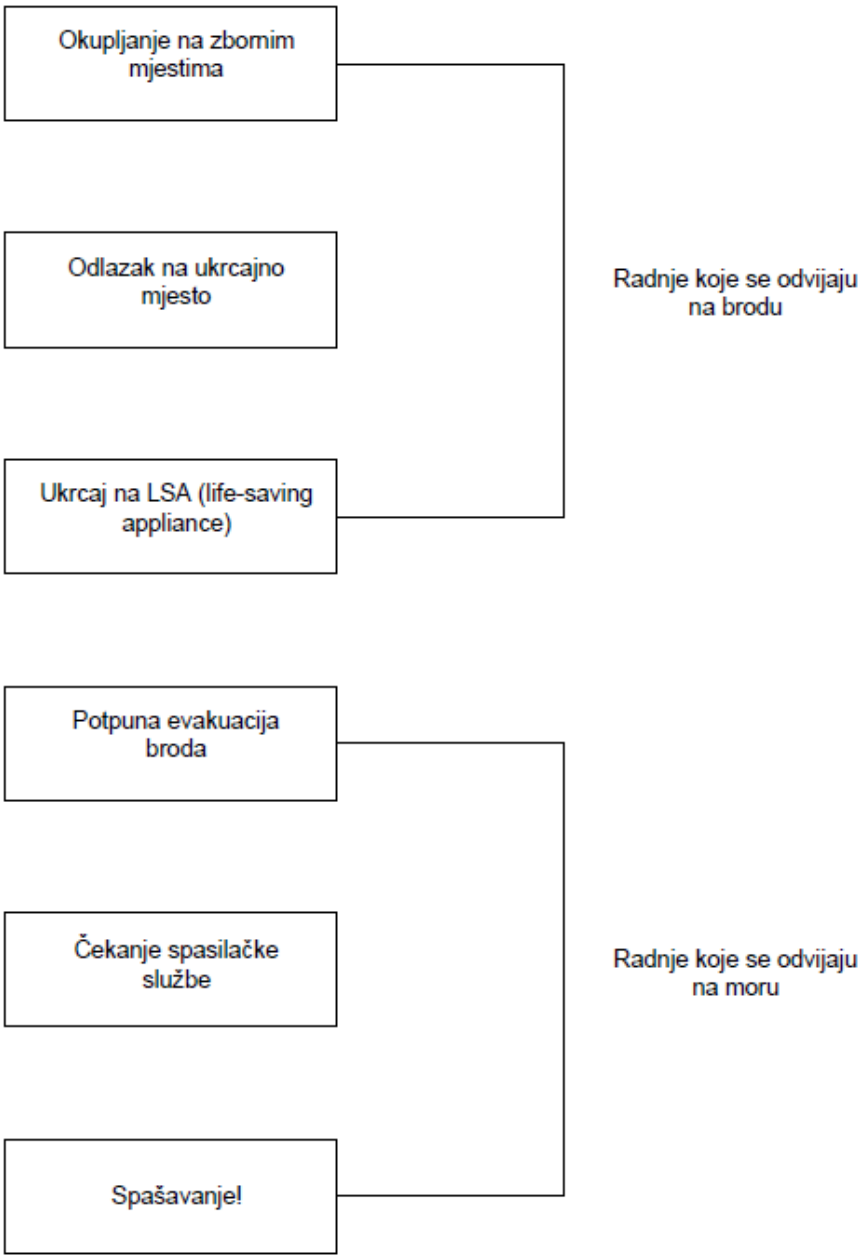
Brzina, snaga i doplov:

Projektna brzina	23,0	čv
Ugrađena snaga (MCR)	24000	kW
Doplov	5000	nm

Ostali podatci o brodu skupa s nacrtima broda i putevima bježanja mogu se pronaći u prilozima.

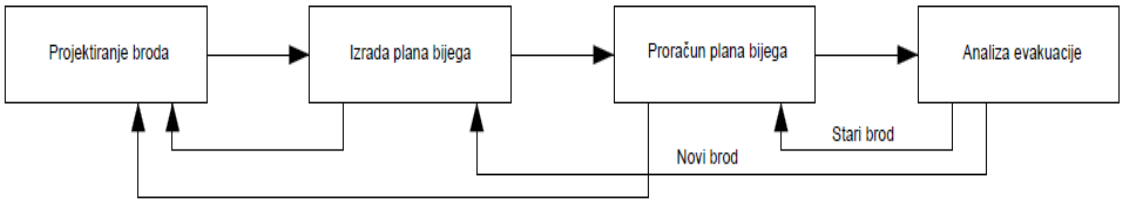
4. Evakuacija Ro-Ro putničkih brodova

Evakuacijom putničkog broda [3] smatra se skup radnji i postupaka koje je potrebno provesti u skladu s pravilima u slučaju iznenadnog događaja koji može ugroziti zdravlje i život putnika. Na (Slika 6) je prikazan postupak evakuacije broda:



Slika 6. Postupak evakuacije broda

Kako bi se bolje shvatio tok izrade puta bijega i analiza evakuacije u projektnim fazama broda prikazan je sljedeći dijagram (Slika 7):



Slika 7. Dijagram izrade puteva bježanja na brodu

4.1. Plan bijega sa putničkog broda

Plan bijega na Ro-Ro putničkim brodovima propisan je tehničkim zahtjevima koji su povezani sa protupožarnom zaštitom. Plan sadrži odredbe koje su u skladu s konvencijom SOLAS 74, poglavlje II-2, sa zadnjim izmjenama Rezolucije MSC.392(95), Međunarodnim kodeksom za način protupožarnog ispitivanja (FTP Kodeks), usvojenim Rezolucijom MSC.307(88) i Međunarodnim kodeksom za protupožarne sigurnosne sustave (FSS Kodeks), usvojenim Rezolucijom MSC.98(73). Na temelju tih propisa Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture donijelo je „Pravila za statutarnu certifikaciju pomorskih brodova, protupožarna zaštita“ [7]. Plan bijega je u navedenim pravilima propisan prilogom 12 i 13. U nastavku rada izdvojit ću bitne stavke iz priloga Pravilnika te pravila za izradu plana bijega s broda.

12.1.1 Svrha priloga 12 je obavještavanje posade i putnika o požaru, za sigurnu evakuaciju. U tu svrhu, moraju se predvidjeti sustav opće uzbune u nuždi i sustav javnog razglasa

12.3.1 Sustav javnog razglasa ili drugog učinkovitog sredstva komunikacije koja udovoljava zahtjevima drugih dijelova Pravila moraju biti raspoloživi širom nastambi, službenih prostora, upravljačkih postaja i otvorenih paluba.

13.1.1 Svrha priloga 12 je predvidjeti puteve bijega tako da putnici na brodu mogu sigurno i brzo pobjeći na palubu za ukrcaj u brodice i splavi za spašavanje. U tu svrhu, potrebno je udovoljiti sljedećim funkcionalnim zahtjevima:

.1 mora se predvidjeti sigurni putevi bijega;

.2 putevi bijega moraju se održavati u sigurnom stanju, slobodni od prepreka; i

.3 dodatna sredstva za bijeg se moraju predvidjeti koliko je potrebno da se osigura pristupačnost, jasno označavanje i odgovarajuća izvedba za situaciju u nuždi.

13.2.1 Iz svih prostora ili grupa prostora se moraju predvidjeti najmanje dva široka razdvojena spremna puta bijega.

13.3.1.1 Stubišta i ljestve moraju biti tako smješteni da omoguće spreman bijeg do palube za ukrcaj u brodice i splavi za spašavanje iz nastambi putnika i posade i iz prostorija u kojima posada normalno radi, osim prostorija strojeva.

13.3.1.5 Vrata na putevima bijega se moraju, općenito, otvarati u smjeru bijega, osim što se:

.1 vrata pojedinačnih kabina mogu otvarati u kabinu, da se izbjegne ozljeđivanje putnika u hodniku kada se vrata otvaraju; i

.2 vrata u vertikalnim grotlima za bijeg u nuždi mogu otvarati izvan grotla, da bi se omogućilo korištenje grotla za bijeg i za pristup.

13.3.2.1.1 Ispod pregradne palube, iz svakog vodonepropusnog odjeljka ili slično ograničene prostorije ili grupe prostorija, moraju se predvidjeti najmanje dva puta bijega, od kojih najmanje jedan mora biti neovisan o vodonepropusnim vratima.

13.3.2.1.2 Put bijega mora omogućiti siguran bijeg. Međutim, stubište ne smije imati svijetlu širinu manju od 800 mm, a rukohvati moraju biti s obje strane.

13.3.2.2 Bijeg iz prostorija iznad pregradne palube.

Iznad pregradne palube se mora predvidjeti najmanje dva puta bijega iz svake glavne vertikalne zone ili slično ograđenih prostorija ili grupa prostorija, s tim da najmanje jedan od tih puteva bijega omogućava pristup do stubišta koje čini vertikalni put bijega.

13.3.2.3 Izravan pristup u rovove stubišta

Rovovi stubišta u nastambama i službenim prostorijama moraju imati izravan pristup iz hodnika i biti dovoljne površine da se spriječi zakrčenost, imajući u vidu broj putnika koje će ih vjerojatno koristiti u nuždi. U području protezanja ovih rovova stubišta dopušta se postavljanje samo javnih sanitarnih prostorija, ormarića od negorivog materijala namijenjenih za smještaj neopasne sigurnosne opreme i otvorenih informacijskih stolova. Izravan pristup u ove rovove stubišta smije biti samo iz hodnika, dizala, javnih sanitarnih prostorija, prostorija posebne kategorije i otvorenih Ro-Ro prostorija u koje može doći svaki putnik, drugih stubišta za bijeg i s otvorenih paluba. Mali hodnici ili predvorja koji služe za odvajanje rova stubišta od kuhinja ili glavnih praonica mogu imati izravan pristup u stubište ako imaju površinu palube od najmanje 4,5 m^2 i širinu ne manju od 900 mm i ako se u njima nalazi ormarić s protupožarnim ventilom i cijevi s mlaznicom.

13.3.2.5.1 Putevi bijega, uključivo stubišta i izlazi, moraju biti označeni rasvjetom ili fotoluminiscentnim pokaznim trakama postavljenim na visini ne većoj od 300 mm iznad palube, na svim mjestima puteva bijega uključivo zavoje i križanja. Označavanje mora omogućiti putnicima da brzo pronađu puteve i izlaze za bijeg. Ako se koristi električna rasvjeta, ona se mora napajati iz izvora energije u nuždi i mora se tako izvesti da kvar pojedinačne svjetiljke ili prekid rasvjetne trake ne može uzrokovati nedjelotvorno označavanje. Dodatno, svi znakovi puteva bijega i oznake mjesta smještaja protupožarne opreme moraju biti od fotoluminiscentnog materijala ili označeni rasvjetom.

13.3.2.6.1 Za vrata kabina i slična vrata ne smije biti potreban ključ za otključavanje iz prostorije. Za sva vrata na putevima bijega ne smije biti potreban ključ za otključavanje pri kretanju u smjeru bijega.

13.3.2.6.2 Vrata za bijeg iz društvenih prostorija koja su normalno zakvačena moraju se opremiti sredstvom za brzo otpuštanje, koje se mora sastojati od mehanizma za otpuštanje vrata uz primjenu sile u smjeru bijega.

13.6.1 U Ro-Ro prostorima u kojima je posada normalno zaposlena moraju se predvidjeti najmanje dva puta bijega. Putevi bijega moraju omogućiti siguran bijeg do paluba za ukrcaj u brodice i splavi za spašavanje i moraju se nalaziti na prednjem i stražnjem kraju prostorije.

13.7.1.1 Iz svakog prostora u kojem se normalno boravi na brodu moraju se predvidjeti putevi bijega do postaje za prikupljanje. Ti putevi bijega moraju biti tako smješteni da omoguće najizravniji mogući put do postaje za prikupljanje (vidi MSC/Circ.777) i moraju se označiti simbolima u skladu sa smjernicama razvijenim od IMO-a (vidi rezoluciju A.760(18), kako je izmijenjeno i dopunjeno s rezolucijom MSC.82(70)).

13.7.1.2 Putevi bijega iz kabina u rovove stubišta moraju biti što je moguće izravniji, s brojem promjena smjera svedenim na najmanju mjeru. Ne smije biti potrebno prelaziti s jedne strane broda na drugu da bi se stiglo na put bijega. Ne smije biti potrebno popeti se ili spustiti više od dvije palube da bi se iz bilo kojeg prostora za putnike stiglo do postaje za prikupljanje ili na otvorenu palubu.

13.7.2.1 Palube moraju biti slijedno numerirane, počevši s »1« na pokrovu tankova ili najdonjoj palubi. Broj palube mora biti istaknuto prikazan na odmorištima stubišta i u predvorjima dizala. Palube se mogu također imenovati, ali broj palube mora uvijek biti prikazan s imenom.

13.7.3.1 U hodnicima duž čitavog puta bijega se moraju predvidjeti rukohvati ili drugi držači na način da je čvrsto držanje omogućeno na svakom koraku puta, gdje je to moguće, do postaja za prikupljanje i postaja za ukrcaj. Takovi rukohvati se moraju predvidjeti s obje strane uzdužnih hodnika širine veće od 1,8 m i poprečnih hodnika širine veće od 1 m. Posebna pozornost se mora posvetiti potrebi da se mora moći prijeći kroz predvorja, atrije i druge velike prostorije duž puteva bijega. Rukohvati i drugi držači moraju biti dovoljno čvrsti da izdrže jednoliko horizontalno opterećenje od 750 N/m koje djeluje u smjeru središta hodnika ili prostorije i jednoliko vertikalno opterećenje od 750 N/m koje djeluje prema dolje. Ova dva opterećenje se ne moraju primijeniti istovremeno.

Prema izdvojenim propisima može se zaključiti kako pri izradi plana bijega, potrebno je uzeti u obzir :

1. Broj posade i putnika u svim prostorima u kojima inače borave tijekom plovidbe,
2. Broj posade i putnika koji će bježati stepeništem, kroz vrata, hodnike i okupljališta,
3. Položaj mjesta za okupljanje i mjesta za ukrcaj na čamce za spašavanje,
4. Glavne i sporedne puteve bijega
5. Širinu stubišta, vrata, hodnika i površinu mjesta za okupljanje.

4.1.1. Princip proračun plana bijega

Širina stubišta ne smije biti manja od 900 mm, a minimalna svijetla širina stubišta povećava se za 10 mm za svaku osobu koja premašuje 90 osoba [8] . Pri razmatranju projekta širina stubišta za pojedine situacije, a s ciljem omogućavanja pravovremenog protoka osoba koje se evakuiraju na zborna mjesta sa susjednih paluba, provodi se proračun za dnevni i noćni slučaj evakuacije. Slika 8 prikazuje proračun maksimalne širine stubišta:

- pri spajanju dvije palube

$$W = (N_1 + N_2) \times 10\ mm \quad \textbf{(1)}$$

- pri spajanju tri palube

$$W = (N_1 + N_2 + 0{,}5N_3) \times 10\ mm \quad \textbf{(2)}$$

- pri spajanju četiri palube

$$W = (N_1 + N_2 + 0{,}5N_3 + 0{,}25N_4) \times 10\ mm \quad \textbf{(3)}$$

- Pri spajanju pet ili više paluba, širina stubišta se određuje prema jednadžbi za četiri palube. Slika 8 prikazuje određivanje minimalne širine stubišta, a Slika 9 površinu za okupljanje (*S*).
- Proračunata vrijednost *W* smije se reducirati ako je predviđena površina za okupljanje definirana jednadžbom (4) (pri čemu se uzima manja vrijednost),

  gdje je u jednadžbama (1), (2) i (3):

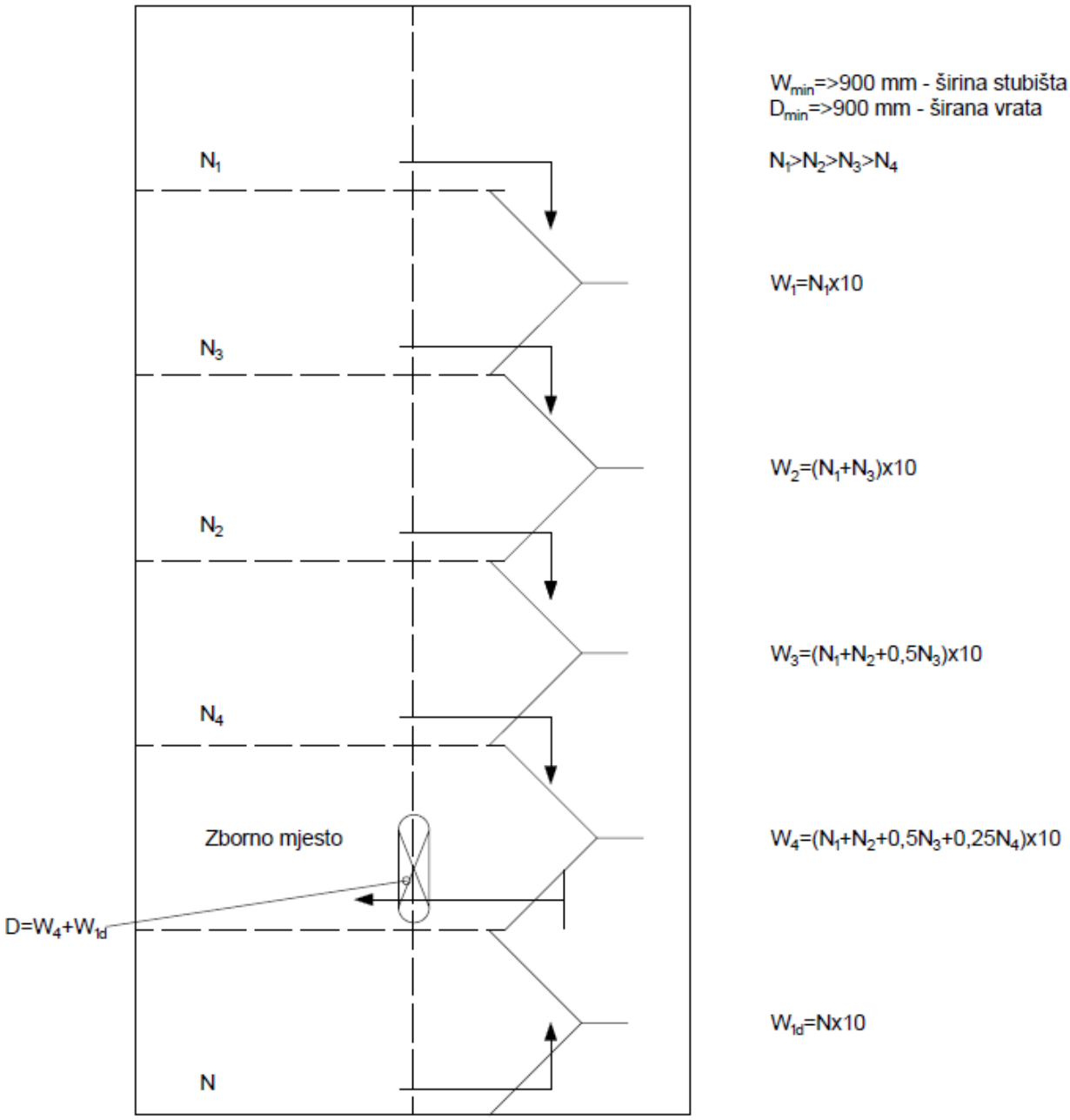
  W = traženi razmak između rukohvata stubišta

  N = ukupan broj putnika za koje se očekuje da koriste stubište sa svake uzastopne palube koja se razmatra; N_1 je za palubu s najvećim brojem putnika koje koriste to stubište; N_2 se uzima za palubu sa sljedećim najvećim brojem putnika koje izravno ulaze u tok stubišta.

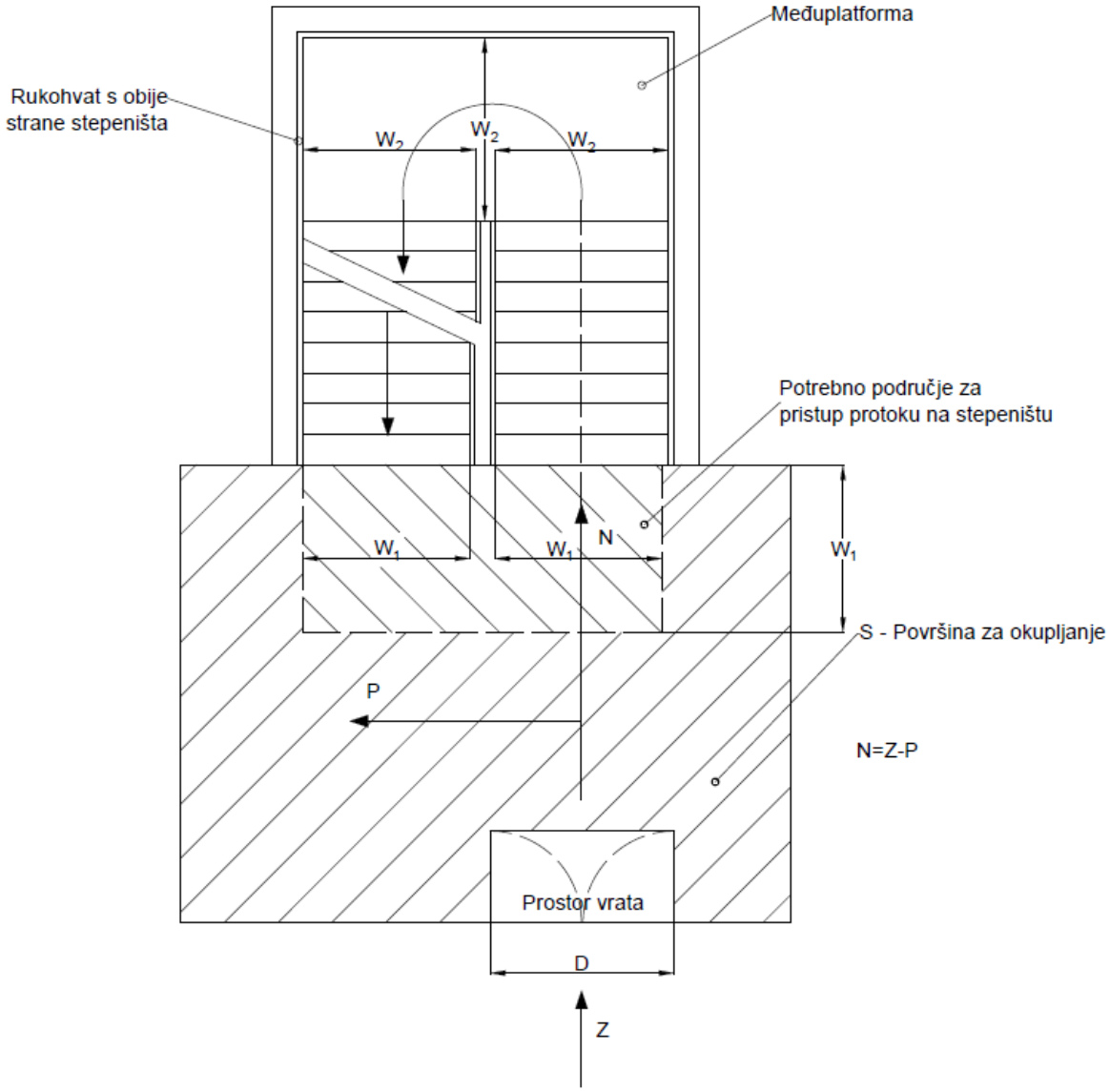
- Kada se dimenzionira širina stubišta kao svaka razina palube, onda slijedi: $N_1 > N_2 > N_3 > N_4$ (Slika 8)
- Kako bi se provela redukcija stubišta potrebna je jednadžba (4):

$$P = S \cdot 3{,}0 \frac{osobe}{m^2};\ P_{max} = 0{,}25Z \qquad \textbf{(4)}$$

- gdje je:
- Z = ukupan broj putnika za koje se očekuje da će biti evakuirane na palubi koja se razmatra;
- P = broj putnika koje se privremeno sklonio na stubište, a koje se mogu oduzeti od vrijednosti Z do maksimalne vrijednosti $P = 0{,}25Z$ koji treba zaokružiti na najbliži cijeli broj;
- S = površina za okupljanje umanjena za površinu za otvaranje vrata i umanjena za površinu potrebnu za priključivanje na put bijega na stubištu.



Slika 8. Minimalna širina stubišta



Slika 9. Proračun površine stubišta

Prilikom proračunavanja širine stubišta smatra se da maksimalan broj putnika smješten u glavnoj vertikalnoj zoni (uključujući osobe koje ulaze na stubišta iz druge vertikalne zone) ne premašuje ukupni broj putnika na brodu. Širina stubišta ne smije se smanjivati u smjeru evakuacije do zbornog mjesta.

4.1.2. Raspored putnika i posade na brodu

Kako bi se proračun plana bijega proveo vjerodostojno potrebno je uvesti pretpostavke o rasporedu putnika i posade na brodu. Prema protoku osoba određivat će se veličine osnovnih elemenata kod bijega. Proračun se radi za dnevni i noćni slučaj bijega.

Noćni slučaj:

- svi putnici se nalaze u svojim putničkim kabinama
- 2/3 posade se nalazi u svojim kabinama
- 1/3 posade se nalazi u službi

Dnevni slučaj:

- maksimalan broj putnika na javnim prostorima je 3/4
- 1/3 posade se nalazi na javnim prostorima
- 1/3 posade se nalazi u službi
- 1/3 posade se nalazi u svojim kabinama

4.1.3. Proračun širine stubišta na putu bijega

Podatci za proračun plana bijega preuzeti su iz literature [6] gdje je proračun plana bijega detaljno izveden prema tadašnjim važećim propisima. Kako bismo vidjeli zadovoljava li brod još uvijek potrebne propise provest će se proračun plana bijega, a u napomeni su navedene izmjene koje je bilo potrebno provesti. Unutar tablica pod stupcima „Broj ljudi [*N*]“ prikazana je količina putnika koja s određene palube koristi stubište da bi stigli na mjesto okupljanja „MO“.

Tablica 2. Stubište A-krma

	Broj putnika [*N*]:		*W* [mm]
Paluba:	Slučaj 1 (noć):	Slučaj 2 (dan):	
1	4	4	900
2			900
3			900
4			900
5			900
6 (MO)			900

Ukupan broj putnika koji koriste ovo stubište kao put bježanja jest manji od 90 zbog čega se kao širina stubišta uzima minimalna vrijednost, 900 mm.

Tablica 3. Stubište C-krma

	Broj putnika [*N*]:		*W* [mm]
Paluba:	Slučaj 1 (noć):	Slučaj 2 (dan):	
2			900
3			900
4			900
5			900

Prema rasporedu kretanja putnika prilikom evakuacije stubište C- krma ne služi kao put bijega putnika pa mu je iz tog razloga dodijeljena minimalna širina stubišta, 900 mm.

Tablica 4. Stubište B-krma

	Broj putnika [*N*]:		*W* [mm]
Paluba:	Slučaj 1 (noć):	Slučaj 2 (dan):	
6 (MO)			900

Prema rasporedu kretanja putnika prilikom evakuacije stubište B- krma ne služi kao put bijega putnika pa mu je iz tog razloga dodijeljena minimalna širina stubišta, 900 mm.

Tablica 5. Stubište B1-pramac

	Broj putnika [*N*]:		*W* [mm]
Paluba:	Slučaj 1 (noć):	Slučaj 2 (dan):	
4			900
5	75	100	900

Potrebni razmak stubišta uzima se prema situaciji u kojoj veći broj putnika koristi taj put bježanja (slučaj 2):

$$W = N \cdot 10 = 100 \cdot 10 = 1000\ mm \quad \textbf{(5)}$$

Budući da paluba 5 ima predviđen prostor za okupljanje (*S*=7,5 m2) moguće je provesti redukciju širine stubišta:

$$P = S \cdot 3 = 7{,}5 \cdot 3 \approx 23 \quad \textbf{(6)}$$

$$P_{max} = 0{,}25 \cdot N = 0{,}25 \cdot 100 = 25 \quad \textbf{(7)}$$

Kao odabrani *P* iz jednadžbi (6) i (7) uzimamo manju vrijednost.

$$N = Z$$

$$N_r = Z - P = 100 - 23 = 77 \quad \textbf{(8)}$$

$$W_r = N_r \cdot 10 = 77 \cdot 10 = 770\ mm \quad \textbf{(9)}$$

Imajući na umu raspodjelu putnika, u slučaju 2 evakuacijski put koristi više od 90 putnika zbog čega je potrebno izračunati širinu stubišta te redukciju ako je ona moguća. Kako W_r (9) ne premašuje minimalnu dozvoljenu širinu, vrijednost koja se uzima za širinu stubišta je 900 mm.

Tablica 6. Stubište B,B2 - pramac

	Broj putnika [*N*]:		*W* [mm]
Paluba:	Slučaj 1 (noć):	Slučaj 2 (dan):	
2			900
3			900
4			900
5	75	100	900
6 (MO)			900
7			900

Potrebni razmak stubišta uzima se prema slučaju u kojem više putnika koristi taj put bježanja (slučaj 2):

$$W = N \cdot 10 = 100 \cdot 10 = 1000\ mm \quad \textbf{(10)}$$

Budući da paluba 5 ima predviđen prostor za okupljanje (S=17,64 m^2) moguće je provesti redukciju širine stubišta:

$$P = S \cdot 3 = 17{,}64 \cdot 3 \approx 53 \quad \textbf{(11)}$$

$$P_{max} = 0{,}25 \cdot N = 0{,}25 \cdot 100 = 25 \quad \textbf{(12)}$$

Kao odabrani P iz jednadžbi (11) i (12) uzimamo manju vrijednost.

$$N = Z$$
$$N_r = Z - P_{max} = 100 - 25 = 75 \quad \textbf{(13)}$$

$$W_r = N_r \cdot 10 = 77 \cdot 10 = 750\, mm \quad \textbf{(14)}$$

Imajući na umu raspodjelu putnika, u slučaju 2 evakuacijski put koristi više od 90 putnika zbog čega je potrebno izračunati širinu stubišta te redukciju ako je ona moguća. Kako W_r (14) ne premašuje minimalnu dozvoljenu širinu, vrijednost koja se uzima za širinu stubišta je 900 mm.

Tablica 7. Stubište C-pramac

	Broj putnika [*N*]:		*W* [mm]
Paluba:	Slučaj 1 (noć):	Slučaj 2 (dan):	
4	16	1	900
5	89		960
6			960
7 (MO)			960
8	9	15	900

Potrebni razmak stubišta uzima se prema slučaju u kojem više ljudi koristi taj put bježanja (slučaj 1):

$$N_1 = 89$$
$$N_2 = 16$$
$$W = (N_1 + N_2) \cdot 10 = 105 \cdot 10 = 1050\, mm \quad \textbf{(15)}$$

Budući da palube 4 i 5 imaju predviđen prostor za okupljanje (S_4=9,4 m2, S_5=1,75 m2), moguće je provesti redukciju širine stubišta:

$$P_4 = S \cdot 3 = 9{,}4 \cdot 3 \approx 28 \quad \textbf{(16)}$$

$$P_{4,max} = 0{,}25 \cdot N_2 = 0{,}25 \cdot 16 = 4 \quad \textbf{(17)}$$

$$P_5 = S \cdot 3 = 1{,}75 \cdot 3 \approx 5 \quad \textbf{(18)}$$

$$P_{5,max} = 0{,}25 \cdot N_1 = 0{,}25 \cdot 89 = 22 \quad \textbf{(19)}$$

Kao odabrani *P* iz jednadžbi (16) (17) (18) i (19) uzimamo najmanje vrijednosti za svaku palubu:

$$N_2 = Z_2$$
$$N_{2,r} = Z_2 - P_5 = 89 - 5 = 84 \quad \textbf{(20)}$$

$$N_1 = Z_1$$
$$N_{1,r} = Z_1 - P_{4,max} = 16 - 4 = 12 \quad \textbf{(21)}$$

$$W_r = \left(N_{1,r} + N_{2,r}\right) \cdot 10 = (12 + 84) \cdot 10 = 960\ mm \quad \textbf{(22)}$$

Imajući na umu raspodjelu putnika, u slučaju 1 evakuacijski put koristi više od 90 putnika zbog čega je potrebno izračunati širinu stubišta te redukciju ako je ona moguća. Kako W_r (22) premašuje minimalnu dozvoljenu širinu, vrijednost koja se uzima za širinu stubišta je 960 mm, od palube 5 pa sve do zbornog mjesta jer se put bježanja ne smije sužavati.

Tablica 8. Stubište D-pramac

	Broj putnika [*N*]:		*W* [mm]
Paluba:	Slučaj 1 (noć):	Slučaj 2 (dan):	
3			900
4			900
5			900
6			900

Prema rasporedu putnika prilikom evakuacije stubište D-pramac ne služi kao put bijega putnika pa mu je, iz tog razloga, dodijeljena minimalna širina stubišta, 900 mm.

Tablica 9. Stubište E- pramac

	Broj putnika [*N*]:		*W* [mm]
Paluba:	Slučaj 1 (noć):	Slučaj 2 (dan):	
3			900
4			900
5			900
6			900

Prema rasporedu putnika prilikom evakuacije stubište E-pramac ne služi kao put bijega putnika pa mu je, iz tog razloga, dodijeljena minimalna širina stubišta, 900 mm.

STUBIŠTE A1-pramac

Stubištem A1 putnici se spuštaju s palube 7 na palubu 6 gdje započinju ukrcaj na splavi za spašavanje:

$$N = 126$$
$$W = N \cdot 10 = 126 \cdot 10 = 1260\ mm \quad \textbf{(23)}$$

Budući da paluba 7 ima predviđen prostor za okupljanje (S=45,5 m^2) moguće je provesti redukciju širine stubišta:

$$P = S \cdot 3 = 45{,}5 \cdot 3 \approx 136 \quad \textbf{(24)}$$

$$P_{max} = 0{,}25 \cdot N = 0{,}25 \cdot 126 = 31 \quad \textbf{(25)}$$

Kao odabrani P iz jednadžbi (24) i (25) uzimamo manju vrijednost.

$$N = Z$$
$$N_r = Z - P_{max} = 126 - 31 = 95 \quad \textbf{(26)}$$

$$W_r = N_r \cdot 10 = 95 \cdot 10 = 950\ mm \quad \textbf{(27)}$$

Imajući na umu raspodjelu putnika evakuacijski put koristi više od 90 putnika zbog čega je potrebno izračunati širinu stubišta te redukciju ako je ona moguća. Kako W_r (27) premašuje minimalnu dozvoljenu širinu, vrijednost koja se uzima za širinu stubišta je 950 mm.

STUBIŠTE A2-pramac

Sukladno stubištu A1-pramac, putnici se spuštaju s palube 7 na palubu 6 gdje započinju ukrcaj na splavi za spašavanje:

$$N = 133$$
$$W = N \cdot 10 = 126 \cdot 10 = 1260\ mm \quad \textbf{(28)}$$

Budući da paluba 7 ima predviđen prostor za okupljanje (*S*=45,4 m2) moguće je provesti redukciju širine stubišta:

$$P = S \cdot 3 = 45{,}4 \cdot 3 \approx 136 \quad \textbf{(29)}$$

$$P_{max} = 0{,}25 \cdot N = 0{,}25 \cdot 133 = 33 \quad \textbf{(30)}$$

Kao odabrani *P* iz jednadžbi (29) i (30) uzimamo manju vrijednost.

$$N = Z$$
$$N_r = Z - P_{max} = 133 - 33 = 100$$
$$W_r = N_r \cdot 10 = 100 \cdot 10 = 1000\ mm \quad \textbf{(31)}$$

Imajući na umu raspodjelu putnika evakuacijski put koristi više od 90 putnika zbog čega je potrebno izračunati širinu stubišta te redukciju ako je ona moguća. Kako W_r (31) premašuje minimalnu dozvoljenu širinu, vrijednost koja se uzima za širinu stubišta je 1000 mm.

<u>STUBIŠTE A3-pramac</u>

Sukladno stubištu A1-pramac, putnici se spuštaju s palube 7 na palubu 6 gdje započinju ukrcaj na splavi za spašavanje:

$$N = 128$$
$$W = N \cdot 10 = 128 \cdot 10 = 1280\ mm \quad \textbf{(32)}$$

Budući da paluba 7 ima predviđen prostor za okupljanje (*S*=41,2 m^2) moguće je provesti redukciju širine stubišta:

$$P = S \cdot 3 = 41{,}2 \cdot 3 \approx 124 \quad \textbf{(33)}$$

$$P_{max} = 0{,}25 \cdot N = 0{,}25 \cdot 128 = 32 \quad \textbf{(34)}$$

Kao odabrani *P* iz jednadžbi (33) i (34) uzimamo manju vrijednost.

$$N = Z$$
$$N_r = Z - P_{max} = 128 - 32 = 96 \quad \textbf{(35)}$$
$$W_r = N_r \cdot 10 = 96 \cdot 10 = 960\ mm \quad \textbf{(36)}$$

Imajući na umu raspodjelu putnika evakuacijski put koristi više od 90 putnika zbog čega je potrebno izračunati širinu stubišta te redukciju ako je ona moguća. Kako *Wr* (36) premašuje minimalnu dozvoljenu širinu, vrijednost koja se uzima za širinu stubišta je 960 mm.

STUBIŠTE A4-pramac

Sukladno stubištu A1-pramac, putnici se spuštaju s palube 7 na palubu 6 gdje započinju ukrcaj na splavi za spašavanje:

$$N = 167$$
$$W = N \cdot 10 = 167 \cdot 10 = 1670\ mm \quad \textbf{(37)}$$

Budući da paluba 7 ima predviđen prostor za okupljanje (S=44,7 m^2) moguće je provesti redukciju širine stubišta:

$$P = S \cdot 3 = 44{,}7 \cdot 3 \approx 134 \quad \textbf{(38)}$$

$$P_{max} = 0{,}25 \cdot N = 0{,}25 \cdot 167 = 42 \quad \textbf{(39)}$$

Kao odabrani P iz jednadžbi (38) i (39) uzimamo manju vrijednost.

$$N = Z$$
$$N_r = Z - P_{max} = 167 - 42 = 125 \quad \textbf{(40)}$$

$$W_r = N_r \cdot 10 = 125 \cdot 10 = 1250\ mm \quad \textbf{(41)}$$

Imajući na umu raspodjelu putnika evakuacijski put koristi više od 90 putnika zbog čega je potrebno izračunati širinu stubišta te redukciju ako je ona moguća. Kako W_r (41) premašuje minimalnu dozvoljenu širinu, vrijednost koja se uzima za širinu stubišta je 1250 mm.

4.2. Provođenje analize evakuacije

MSC 1999. godine donosi [9] „Privremeni vodič za pojednostavljenu analizu evakuacije na Ro-Ro putničkim brodovima“ (Interim guidelines for a simplified evacuation analysis of ro-ro passenger ships) odnosno smjernice za provedbu propisa SOLAS II2/28-1.3. U svibnju 2016. godine MSC održava 96. sjednicu na kojoj su odobrene „Revidirane smjernice o analizama evakuacije novih i postojećih putničkih brodova“ (Revised Guidelines on evacuation analyses for new and existing passenger ships) te su sve prethodne odredbe po tom pitanju zamijenjene. Izmjenama i dopunama SOLAS regulativa II-2/13 zahtjevi se za analizom proširuju na sve putničke brodove, a ne samo Ro-Ro putničke brodove kako je bilo do tada. Spomenuti skup važnih izmjena i dopuna SOLAS-a stupio je na snagu 1. siječnja 2020. godine te kao takav vrijedi za sve nove putničke brodove.

Glavna svrha gore spomenutih propisa jest način identifikacije mjesta zagušenja ili kritičnih područja na kojima se mogu usvojiti odgovarajuće operativne mjere. Te bi mjere

služile s ciljem smanjenja vremena evakuacije te se ne bi prekoračilo maksimalno dopušteno vrijeme evakuacije. Kao i prethodni propisi, i ovaj omogućava procjenu vremena evakuacije pojednostavljenom ili naprednom metodom.

Glavne izmjene uvedene u dokumentu MSC.1 / Circ. 1533 su:

- izričite preporuke za provođenje analize evakuacije već u ranoj fazi projektiranja,
- usklađivanje izračuna vremena evakuacije izvedeno pojednostavljenom i naprednom metodom,
- dokumentacija područja križanja, sumiranja ili dijeljenja protoka grupa ljudi kako bi se posadi omogućilo da poduzme odgovarajuće mjere u rješavanju ovih kritičnih područja,
- uvođenje dodatnog dnevnog slučaja evakuacije koji predviđa gužvu na velikim otvorenim palubnim prostorima,
- uvođenje dodatnog slučaja u vezi s ukrcajem kako bi se dokazalo da se takva operacija može postići u roku od 30 min.

Trajanje koje se smatra prihvatljivim u ovim smjernicama temelji se na analizi rizika od požara.

U članku „Revised Guidelines on evacuation analyses for new and existing passenger ships“ [9] je kroz nekoliko smjernica predstavljena metodologija za provođenje analize evakuacije pri čemu posebno treba obratiti pažnju na sljedeće:

- sve standardne izvedbe evakuacije utvrđene ovim smjernicama moraju se moći ispuniti,
- identificirati i eliminirati koliko je to moguće zagušenja duljinom puteva bježanja koja se mogu razviti tijekom napuštanja radi normalnog kretanja putnika i posade uzimajući u obzir mogućnost da će se posada morati kretati u suprotnom smjeru od kretanja putnika,
- pokazati kako su rasporedi za bijeg dovoljno fleksibilni i pružaju dodatnu mogućnost u slučaju da određeni putevi za bijeg, stanice za okupljanje, stanice za ukrcaj ili spasilačka plovila budu onemogućeni u slučaju nesreće,
- prepoznati područja mimoilaženja i križanja protoka putnika,
- pružiti operaterima informacije dobivene analizom evakuacije.

Prilikom izrade analize evakuacije u obzir se uzimaju sljedeći parametri:

- *opterećenje putnicima* - predstavlja broj osoba koji se uzima u obzir u proračunu načina bijega,
- *vrijeme odziva (R)* - predstavlja vrijeme potrebno da ljudi reagiraju na situaciju. To vrijeme započinje početnom obaviješću (npr. alarma) o opasnosti i završava kada putnik prihvati situaciju i počne se kretati prema sabirnom mjestu,
- *pojedinačno trajanje putovanja* - trajanje koje je potrebno pojedincu za kretanje od početnog (mjesto gdje se nalazi u trenutku oglašavanja alarma) do sabirnog mjesta,
- *pojedinačno trajanje okupljanja* - predstavlja zbroj vremena odziva (R) i pojedinačnog trajanja putovanja,
- *ukupno vrijeme okupljanja* (t_A) - maksimalno trajanje pojedinačnog okupljanja,
- *ukupno trajanje putovanja (T)* - trajanje koje obuhvaća vrijeme potrebno da sve osobe na brodu krenu s mjesta na kojem se nalaze u trenutku oglašavanja alarma prema mjestu okupljanja i dalje prema prostoru za ukrcaj na brodice za spašavanje,
- *vrijeme ukrcaja (E) i vrijeme pokretanja (L)* - suma koja određuje vrijeme za potpuno napuštanje broda.

Revidirane smjernice pružaju mogućnost korištenja dvije različite metode za analizu evakuacije:

1. pojednostavljena analiza evakuacije,
2. napredna analiza evakuacije,

Analiza evakuacije sustava prati određene korake, a da bismo o tomu mogli govoriti, potrebno je najprije opisati sustav i iznijeti pretpostavke prilikom evakuacije. Sustav opisujemo na način da:

- identificiramo mjesta za okupljanje posade i putnika,
- identifikacijom putova bježanja

Ova metoda procjene trajanja evakuacije temelji se na nekoliko idealiziranih referentnih scenarija koji prate sljedeće pretpostavke:

- putnici i posada evakuirat će se glavnim putem za bijeg prema dodijeljenom mjestu okupljanja (prema pravilu SOLAS II-2/13),

- opterećenost putnicima i početna raspodjela temelje se na 13.poglavlju kodeksa FSS,
- uzima se u obzir potpuna dostupnost puteva za bijeg, ako drugačije nije navedeno,
- posada za pomoć odmah će biti na mjestima dežurnih službi za evakuaciju spremna za pomoć putnicima,
- smatra se da vatra, dim i toplina ne utječu na sposobnosti putnika/posade,
- ponašanje obiteljskih grupa ne uzima se u obzir,
- kretanje, nagib i trim broda ne uzimaju se u obzir.

Dokumentacija koja se prilaže uz analizu trebala bi sadržavati sljedeće stavke:

1. osnovne pretpostavke za analizu,
2. shematski prikaz rasporeda zona podvrgnutih analizi,
3. početna raspodjela osoba za svaki razmatrani scenarij,
4. metodologiju koja se koristi za analizu, a razlikuje se od smjernica
5. pojedinosti o proračunu
6. ukupno trajanje evakuacije
7. identificiranje točke zagušenja
8. identificiranje područja suprotnih i prijelaznih tokova.

Prilikom analize potrebno je provoditi korekcije. Ako je za nove brodove izračunato da je ukupno vrijeme trajanja evakuacije veće od dopuštenog prema propisu, korektivne je mjere potrebno razmotriti još u fazi projektiranja odgovarajućom izmjenom aranžmana koji utječe na evakuacijski sustav čime bi se postiglo prihvatljivo trajanje evakuacije. Ako je za već postojeće brodove izračunato da je ukupno vrijeme evakuacije veće od dopuštenog prema propisu, postupci na brodu trebaju se preispitati s ciljem poduzimanja odgovarajućih radnji koje bi smanjile zagušenja na mjestima kao što i prikazuje analiza.

4.2.1. Scenariji evakuacije broda koji se uzimaju u obzir

Kao minimum za analizu treba razmotriti četiri scenarija, a također se mogu koristiti i dostupni detaljniji podatci o raspodjeli posade.

- **slučaj 1** (primarni slučaj evakuacije noću) i **slučaj 2** (primarni slučaj evakuacije danju) u skladu s 13.poglavljem kodeksa FSS
- **slučaj 3** (sekundarni slučaj evakuacije noću) i **slučaj 4** (sekundarni slučaj evakuacije danju). U tim se slučajevima istražuje samo glavna okomita zona (MVZ) po kojoj je najdulje vrijeme okupljanja. Ovi slučajevi koriste istu demografsku sliku populacije kao i primarni slučajevi. Dvije bi alternative trebalo uzeti u obzir za slučajeve 3 i 4.
    1. stubište s najvećim kapacitetom prethodno korišteno unutar identifikacije glavne okomite zone smatra se nedostupnim za simulaciju,
    2. 50% stubišta određene glavne vertikalne zone osposobljeno je za provođenje evakuacije i 50% osoba potrebno je preusmjeriti iz jedne vertikalne zone u drugu pri čemu je potrebno odabrati zonu s najvećim brojem osoba.

4.2.2. Standardi

Analiza evakuacije postavlja jednostavne standarde koje je potrebno zadovoljiti. Standardi su prikazani na slici (Slika 10), a predstavljaju ukupno vrijeme evakuacije (*n*).

$$1.25\ (R+T)+\frac{2}{3}(E+L)\leq n \qquad \textbf{(42)}$$

$$(E+L)\leq 30\ min \qquad \textbf{(43)}$$

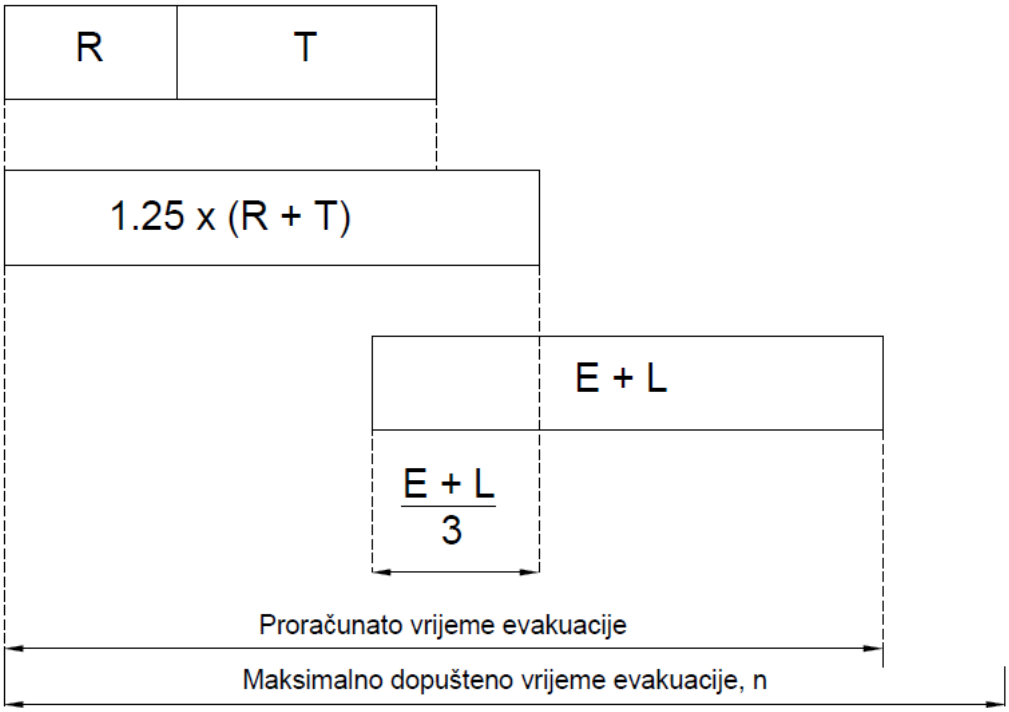
Za vrijednosti unutar (42) vrijedi:

- *n=60 min*, za Ro-Ro putničke brodove,
- *n=60 min*, za putničke brodove koji nisu Ro-Ro putnički brodovi i nemaju više od 3 MVZ,
- *n=80 min*, za putničke brodove koji nisu Ro-Ro putnički brodovi i imaju više od 3 MVZ.
- *R* - određuje se prema detaljnoj specifikaciji analize metode,
- *T* - računa se prema dodatcima u smjernicama analize,

dok na slici (Slika 10) 1/3(E + L) predstavlja vrijeme preklapanja.

Vrijeme za potpuno napuštanje broda sukladno je pravilu koje proizlazi iz SOLAS III/31.1.3. Jednadžbu (42) računamo odvojeno na temelju rezultata opsežnih ispitivanja na sličnim brodovima i evakuacijskim sustavima te na rezultatima simulacijske analize ukrcaja ili

podacima koje su dostavili proizvođači (u ovom slučaju treba uzeti u obzir njihov koeficijent korekcije). Važnost jasnog dokumentiranja trajanja ukrcaja i lansiranja ($E + L$) sastoji se u tome kako bi bilo dostupno u slučaju promjene LSA. U slučaju da se ne može koristiti ni jedna od navedenih metoda ($E+L$) potrebno je pretpostaviti da ono iznosi 30 minuta.



Slika 10. Izračun ukupnog vremena za evakuaciju

4.2.3. Pojednostavljena metoda

Pojednostavljena metoda [10] temelji se na "fluidno-dinamičkoj sličnosti" u kojoj su hodnici i stepenice cijevi, dok su putnici tekućina koja prolazi kroz njih. Za analizu je potrebno slijediti određeni postupak. Pretpostavke koje su svojstvene pojednostavljenoj metodi [5] po prirodi su ograničavajuće. Kako se složenost brodova povećava (kombinacijom vrsta putnika, smještaja broja paluba, stepeništa, itd.) te pretpostavke postaju manje reprezentativne za stvarnost. U takvim bi slučajevima bila poželjna uporaba napredne metode. U ranim iteracijama projekta broda pojednostavljena metoda izražava svoje prednosti zbog relativne lakoće uporabe i svoje sposobnosti da pruži približne podatke o očekivanim izvedbama evakuacije.

Za pojednostavljenu metodu SOLAS u svojim smjernicama predlaže niz pretpostavki koje je potrebno uzeti u obzir, a one su:

1. svi putnici i posada započet će evakuaciju u isto vrijeme i neće se međusobno ometati,
2. početna brzina hodanja ovisi o broju, odnosno gustoći putnika (pod pretpostavkom da je tok samo u smjeru puta za bijeg i da nema pretjecanja),
3. putnika se mogu nesmetano kretati,
4. u slučaju suprotnih tokova u obzir se uzima faktor korelacije suprotnih tokova,
5. pojednostavljenja se uzimaju unutar korekcijskog faktora i faktora sigurnosti koji ima vrijednost 1,25.

Pri izračunavanju trajanja evakuacije u obzir se uzimaju komponente: vrijeme odziva (R) koje treba biti 10 minuta za noćne i 5 minuta za dnevne scenarije, trajanje putovanja (T) i trajanje ukrcaja i lansiranja ($E+L$). Zagušenja koja se događaju prilikom evakuacije možemo identificirati na dva načina. Prvi način uzima u obzir ako je početna gustoća jednaka ili veća od 3,5 osobe/m^2, a drugi način ako je razlika između ulaza i izlaza izračunatih protoka (F_C) veća od 1,5 osobe/s.

SOLAS-ove smjernice za pojednostavljenu metodu analize evakuacije ističu niz parametara koje treba uzeti u obzir:

1. *Čista širina (W_C)* - širina među rukohvatima na stubištima i stvarna širina prolaza potpuno otvorenih vrata,
2. *Početna gustoća (D)* - početna gustoća putnika na putu bježanja jednaka je omjeru broja putnika i površine prostora početnog položaja tih osoba (p/m^2 - osoba/m^2),
3. *Brzina osobe (S)* - brzina putnika (m/s) dužinom puta bježanja ovisi o specifičnom protoku osoba i o vrsti objekta za bijeg. Tablica 10 i Tablica 12 prikazuju brzine osoba.,
4. *Specifični protok osoba (F_S)* - broj osoba koje su prošle put bježanja u jedinici vremena po jedinici čiste širine (p/m/s). Tablica 11 i Tablica 12 prikazuju vrijednosti F_S.

Tablica 10. Vrijednost početnog specifičnog protoka i početne brzine kao funkcija gustoće

Tip prostora	Početna gustoća *D* (p/m^2)	Početni specifični protok F_S (p/m/s)	Početna brzina osobe *S* (m/s)
Hodnici	0.00	0.00	1.20
	0.50	0.65	1.20
	1.90	1.30	0.67
	3.20	0.65	0.20
	≥3.50	0.32	0.10

Tablica 11. Vrijednost maksimalnog specifičnog protoka

Tip prostora	Maksimalni specifični protok F_S (p/m/s)
Stubišta (dolje)	1.10
Stubišta (gore)	0.88
Hodnici	1.30
Vrata	1.30

Tablica 12. Vrijednost specifičnih protoka i brzine

Tip prostora	Specifični protok F_S (p/m/s)	Brzina osobe *S* (m/s)
Stubišta (dolje)	0.00	1.00
	0.54	1.00
	1.10	0.55
Stubišta (gore)	0.00	0.80
	0.43	0.80
	0.88	0.44
Hodnici	0.00	1.20
	0.65	1.20
	1.30	0.67

5. *Protok osoba (F_C)* - izračunati protok osoba (p/s) je predviđeni broj osoba koje prolaze određenom točkom na putu bježanja po jedinici vremena; dobiva se iz jednadžbe (44):

$$F_C = F_S \cdot W_C \quad \textbf{(44)}$$

6. *Vrijeme protoka (t_F)* - vrijeme (s) potrebno da broj osoba (N) prođe točku na izlazu iz sustava; izračunava se pomoću jednadžbe (45):

$$t_F = \frac{N}{F_C} \quad \textbf{(45)}$$

7. *Prijelazi* - one točke u izlaznom sustavu u kojima se mijenja vrsta (npr. iz hodnika u stubište), dimenzija rute, spajanje ruta ili grananje ruta. U prijelazu zbroj svih protoka izračunatih na izlazu jednak je zbroju svih protoka izračunatih na ulazu; jednadžba (46):

$$\sum F_C(in)_i = \sum F_C(out)_j \quad \textbf{(46)}$$

gdje u jednadžbi (46):

- $F_C(in)_i$= izračunati protok rute (*i*) koja dolazi na prijelaznu točku,
- $F_C(out)_j$= izračun protoka rute (*j*) koja polazi od prijelazne točke.

8. *Trajanje putovanja (T), faktor korekcije i faktor korekcije protutoka* - trajanje putovanja *T* prikazano je u jednadžbi (47):

$$T = (\gamma + \delta)t_I \quad \textbf{(47)}$$

gdje je:

- γ = korekcijski faktor koji iznosi 2 za slučajeve 1 i 2, i 1.3 za slučajeve 3 i 4,
- δ = korekcijski faktor koji je potrebno uzeti 0,3,
- t_I = najveće trajanje putovanja (s) u idealnim uvjetima.

4.2.4. Postupak za izračunavanje trajanja putovanja u idealnim uvjetima

Kako bi se uspješno ilustrirao postupak koriste se sljedeći zapisi:

- t_{stair} - trajanje putovanja stepenicama (s) na ruti bježanja do točke okupljanja,
- t_{deck}- trajanje putovanja (s) od najudaljenije točke palube do stubišta,
- $t_{assembly}$ - trajanje putovanja (s) od kraja stubišta do dolaska na dodijeljenu točku okupljanja.

Osnovni koraci za izračunavanje trajanja putovanja u idealnim uvjetima:

1. Shematizacija putova za bijeg poput hidrauličke mreže gdje cijevi predstavljaju hodnike i stubišta, ventili predstavljaju vrata i ograničenja, a spremnici javni prostor.
2. Proračunavanje gustoće D na glavnim izlaznim putevima svake palube. U slučaju redova kabina okrenutih prema hodniku pretpostavlja se da putnici u kabinama istodobno izlaze u hodnik pri čemu je gustoća hodnika ekvivalentna broju putnika u kabini po površini jedinice hodnika izračunatog s obzirom na čistu širinu. Za sve javne površine pretpostavlja se da sve osobe istodobno započinju evakuaciju na izlaznim vratima (specifični maksimalni protok koja će se koristiti je maksimalni specifični protok vrata), a broj putnika koji koriste svaka vrata može se pretpostaviti da je proporcionalan čistoj širini vrata.
3. Izračun početnih specifičnih protoka F_S, linearnom interpolacijom, Tablica 10 u ovisnosti o gustoćama.
4. Proračun protoka F_C za hodnike i vrata u smjeru dolaznog stubišta.
5. Jednom kad se dosegne prijelazna točka jednadžba (46) koristi se za dobivanje izračunatog protoka F_C. U slučajevima kada dvije ili više ruta napuštaju prijelaznu točku, pretpostavlja se da je protok F_C svake rute proporcionalan njegovoj čistoj širini. Specifičan protok (i) na izlazu, F_S, dobiva se kao izračunati protok (i) na izlazu podijeljen s čistom širinom (širinama), postoje dvije mogućnosti:
    - F_S ne premašuje maksimalnu vrijednost, Tablica 11, odgovarajuća brzina izlaza (S) uzima se linearnom interpolacijom, Tablica 12, kao funkcija specifičnog protoka,
    - F_S premašuje maksimalnu vrijednost gornje Tablica 11, iz čega proizlazi da će se na prijelaznoj točki stvoriti red, F_S je maksimum Tablica 11, a odgovarajuća brzina izlaza (S) je preuzeta, Tablica 12.
6. Gornji postupak ponavlja se za svaku palubu što rezultira skupom vrijednosti izračunatih protoka F_C i brzine S od kojih svaki ulazi u dodijeljeno stubište za bijeg.
7. Izračun broja putnika koji ulazi u hodnik (N) iz odgovarajućeg F_C te trajanje protoka t_F svakog stubišta i hodnika. Trajanje protoka t_F svakog puta za bijeg najdulje je među onima koji odgovaraju svakom dijelu puta za bijeg.
8. Izračun trajanja putovanja t_{deck} od najudaljenije točke svake rute bježanja do stubišta definira se kao omjer dužine i brzine. Ako se pojedini dijelovi puteva bježanja koriste u seriji potrebno ih je sumirati; u suprotnom bi trebalo usvojiti najveće trajanje među

njima. Ovaj proračun potrebno je izvršiti za svaku palubu jer se pretpostavlja da se ljudi paralelno kreću na svakoj palubi do dodijeljenog stubišta pri čemu dominantnu vrijednost t_{deck} treba uzeti kao najveću među njima (t_{deck} se ne računa za javne prostore).

9. Proračun za svako stubište, trajanje putovanja kao omjer nagiba stepenica, duljine i brzine. Ukupno trajanje putovanja stepeništem za svaku palubu (t_{stairs}) zbroj je trajanja putovanja svih stepeništa koja povezuju palubu s mjestom okupljanja.
10. Proračun trajanja putovanja ($t_{assembly}$) kreće od kraja stubišta (paluba s mjestom okupljanja) do dolaska na mjesto okupljanja.
11. Ukupno trajanje putovanja putem bježanja do dodijeljene stanice za okupljanje prikazano je u jednadžbi (48):

$$t_I = t_F + t_{deck} + t_{stair} + t_{assembly} \quad \textbf{(48)}$$

12. Postupak je potrebno ponoviti za dnevne i noćne scenarije. To će rezultirati dvjema vrijednostima, po jedna za svaki slučaj (t_I), za svaki glavni put bijega koji vodi do dodijeljenog mjesta okupljanja.
13. Točke zagušenja identificiraju se prema sljedećim kriterijima:
    - u onim prostorima u kojima je početna gustoća jednaka ili veća od 3,5 osobe/m^{2,}
    - na onim mjestima gdje razlika između ulaznog i izlaznog protoka (F_C) veća od 1,5 osobe/s.
14. Nakon što se izvrši izračun za sve puteve bježanja treba odabrati najveću vrijednost t_I za izračunavanje trajanja putovanja T pomoću (47).

4.3. Analiza evakuacije

Alat koji se koristi za analizu evakuacije putničkih i Ro-Ro putničkih brodova jest program INCONTROL Simulation Platforme Pedestrian Dynamics namijenjen za velike putničke brodove poput kruzera, oceanskih brodova i trajekata. Od 1. siječnja 2020. godine Pravilnikom 13 (Sredstva za bijeg) obvezno se provodi analiza evakuacije za putnički brod koji prevozi više od 36 putnika. Ova je uredba dio Rezolucije IMO-a MSC.404 (96) zbog čega Pedestrian Dynamics i poštuje Rezoluciju IMO-a MSC.404 (96) (SOLAS II-2/13); Pravilo 13 - Sredstva za bijeg simuliranjem evakuacije svih putnika i posade.

4.3.1. Pedestrian Dynamics

Pedestrian Dynamics [11] je alat za simulaciju gužve koji se koristi više od deset godina s ciljem modeliranja velike gužve u svim vrstama infrastrukture, od trgovačkih centara, aerodroma, festivala do gradskih područja. Pedestrian Dynamics pomogao je odgovoriti na pitanja o kapacitetu pri tom uzimajući u obzir sigurnost i udobnost koji se pojavljuju na mjestima koja su prenapučena ljudima. Također popularnost mu se izrazito povećala 2020. godine kada je pojedincima omogućena fizička socijalna distanca propisana pojedinim lokalnim upravama zbog virusa SARS-CoV-2 koji uzrokuje COVID-19.

Softver Pedestrian Dynamics nudi odgovore na mnoga pitanja u preliminarnoj fazi projektiranja. Taj se softver može koristiti za analizu različitih scenarija upravljanja pojedincem ili grupom ljudi, pronalaženjem optimalne rute, povećanjem sigurnosti i kapaciteta prostora. Simulacija se također koristi za osposobljavanje osoblja. U softveru je svaki putnik modeliran kao agent sa svojim karakteristikama poput radijusa, željene brzine hodanja i ciljevima unutar infrastrukture u kojoj se nalazi.

4.3.2. Ulazni podatci analize

Program Pedestrian Dynamics sam po sebi koristi napredne metode analize evakuacije. Takva metoda svakog putnika na brodu promatra zasebno te mu dodjeljuje određene parametre, npr. minimalnu, srednju i maksimalnu brzinu kretanja ovisno o spolu i dobi putnika te ulogu na brodu ovisno o tome radi li se o putniku koji se prvi puta nalazi na brodu ili je on član uvježbane posade. Radi usporedbe rezultata dobivenih pojednostavljenom metodom prema MSC.1/Circ.1533 odobreno 2020. godine, ulazne parametre osobina putnika u simulaciji uzimamo jednake za sve putnike.

Tablica 12 određuje brzina kretanja putnika u pojednostavljenoj metodi, a pri simulaciji definirana je gustoćom (osoba/m^2) u određenom prostoru (Slika 11) prema formuli (49):

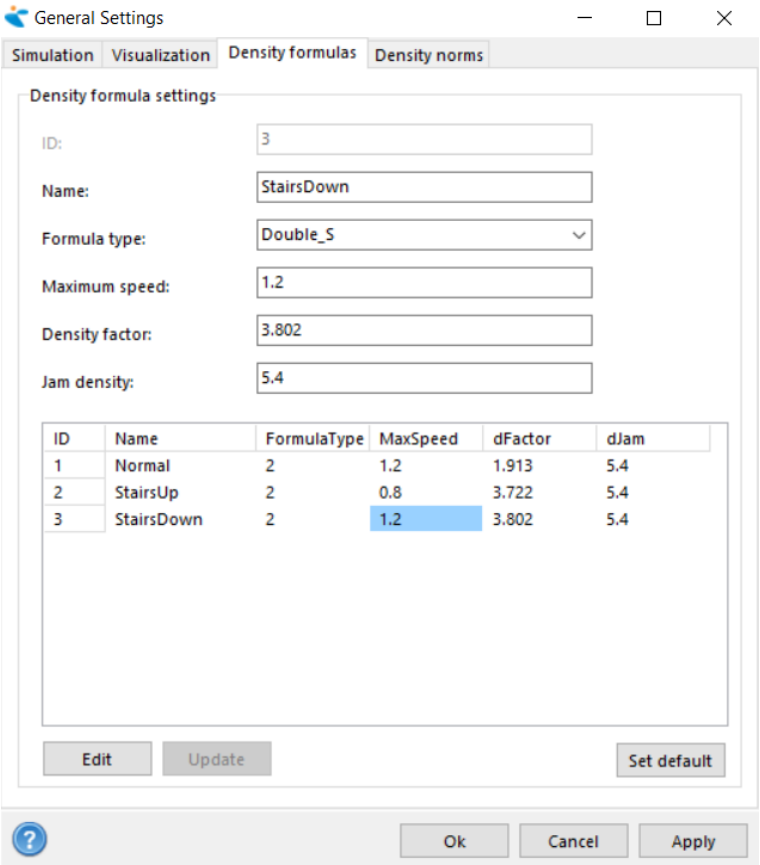
$$v = v_{max}\left[1 - e^{-D_{fact}\left(\frac{1}{D_i} - \frac{1}{D_{jam}}\right)}\right] \quad \textbf{(49)}$$

gdje je:

- v_{max} -maksimalna brzina kretanja tim područjem,
- D_i - trenutna gustoća,
- D_{fact} - koeficijent gustoće

- D_{jam} - gustoća zastoja.

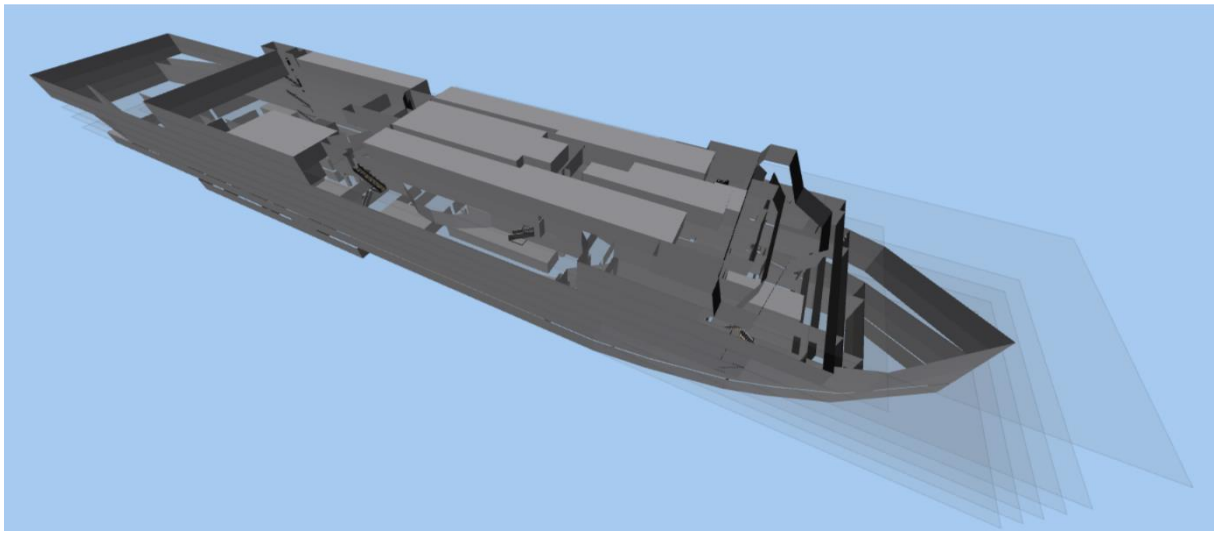
Slika 11 prikazuje definirane parametre za promjenu brzinu putnika, ovisno kreće li se stepeništem gore (StairsUp) ili dolje (StairsDown), ili se kreće hodnikom i prolazi kroz vrata (Normal).



Slika 11. Profil putnika

.

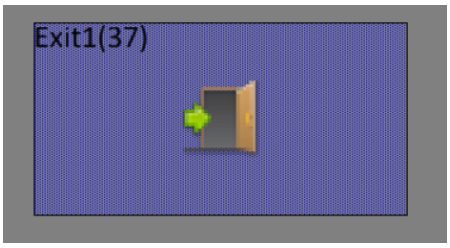
Prema dostupnim nacrtima broda kreiran je model broda (Slika 12) u probnoj verziji Pedestrian Dynamics Studio [11], koja kao takva nema brojne mogućnosti poput automatskog generiranja okruženja prema nacrtima te se, zbog svoje ograničenosti prilikom konstruiranja, javljaju odstupanja od stvarnog nacrta broda. Model broda konstruiran je od 8 paluba međusobno povezanih stubištima kako je prikazano na nacrtima, svaka paluba predstavlja posebni sloj (*eng. layer*) kojem su dodijeljena svojstva poput dozvoljenih i zabranjenih područja kretanja putnika



Slika 12. Model broda

Nakon konstrukcije modela potrebno je označiti ulazna i izlazna područja (Slika 13)(Slika 14) putnika odnosno točke na modelu odakle putnici kreću svoju rutu bijega do mjesta okupljanja. Putnik je definiran tako da se najvećom mogućom brzinom kreće što kraćom rutom preko zadanih stubišta do okupljališta.

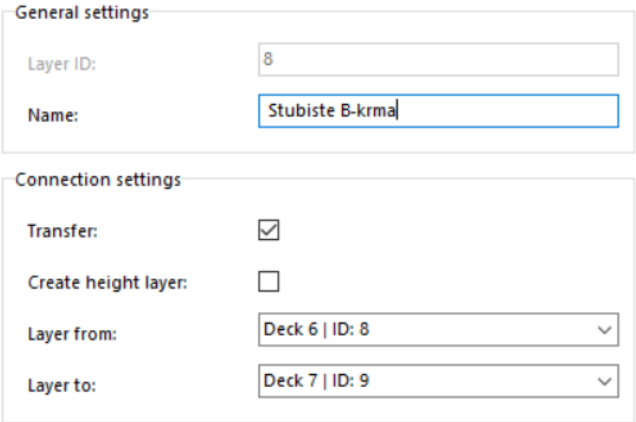
Slika 13. Polazna točka



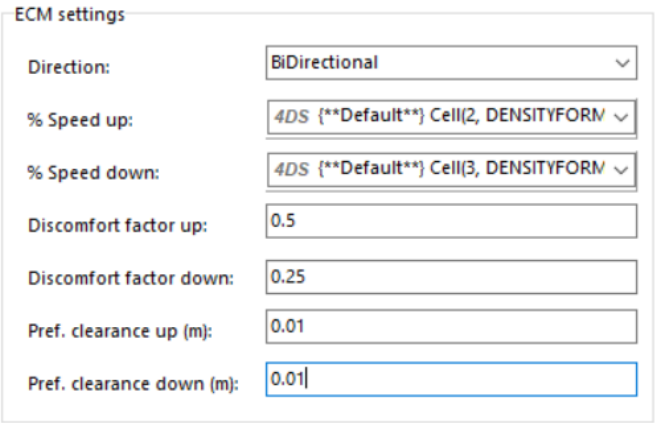
Slika 14. Mjesto okupljanja

Stubišta koja putnici koriste potrebno je definirati, a osim koordinata položaja stubišta, definiraju se i palube koje stubište povezuje (Slika 15), brzina kretanja putnika stubištem je

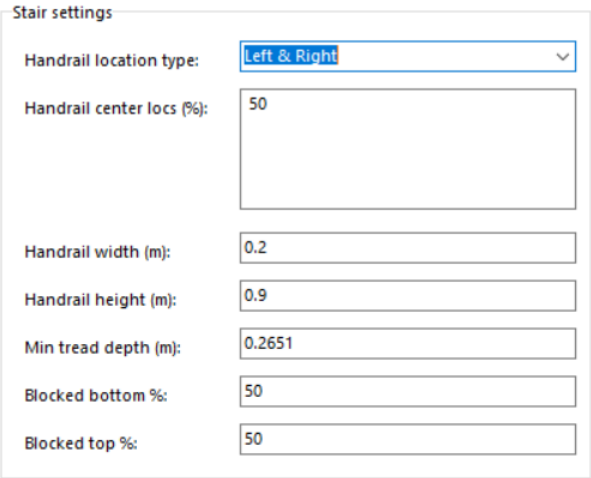
prethodno određena jednadžbom gustoće (49), Slika 16 prikazuje kako se stubište može koristiti za oba smjera kretanja. Slika 17 prikazuje kako je potrebno obratiti pažnju na položaj rukohvata na stubištu, širinu rukohvata je bilo potrebno prilagoditi kako bi odgovarala čistoj širini stubišta.



Slika 15. Naziv stubišta i palube koje povezuje



Slika 16. Postotak brzine ovisan o gustoći toka



Slika 17. Specifikacija rukohvata

Za analizu evakuacije simulacijom odnosno pri određivanju vremena potrebnog za napuštanje broda od trenutka oglašavanja alarma do dolaska na mjesto okupljanja putevi se bježanja definiraju prema nacrtu proračuna bijega za oba slučaja. Unutar nacrta definirani su hodnici, vrata, stubišta i putanje koje se koriste prilikom bijega putnika. Konačni rezultat simulacije koji se dobiva bit će vrijeme potrebno za napuštanje broda prikazano u tablicama i mjesta zagušenja, odnosno mjesta na kojima se stvaraju zastoji i dolazi do smanjenja brzine putnika. Slika 18 prikazuje skalu boja ovisnu o gustoći toka na pojedinim mjestima.

Color	LOS		Density	Description
	A	<=	0.308	few
	B	<=	0.5	few/medium
	C	<=	1.9	medium
	D	<=	3.2	busy
	E	<=	3.5	very busy
	F	>	3.5	congested

Slika 18. Skala gustoće toka

4.3.3. Rezultati simulacije - Slučaj 1 - noć

Priložene tablice prikazuju put bježanja, broj putnika koji ga koristi, te vrijeme potrebno za napuštanje broda i naznačena mjesta pojave zagušenja. Putnici kreću bježati s početnih pozicija, npr. na Stubištu C jedan putnik kreće svoj put bježanja kroz vrata 42. Broj osoba je raspoređen na slijedeći način te s tih položaja kreću prema mjestu okupljanja.

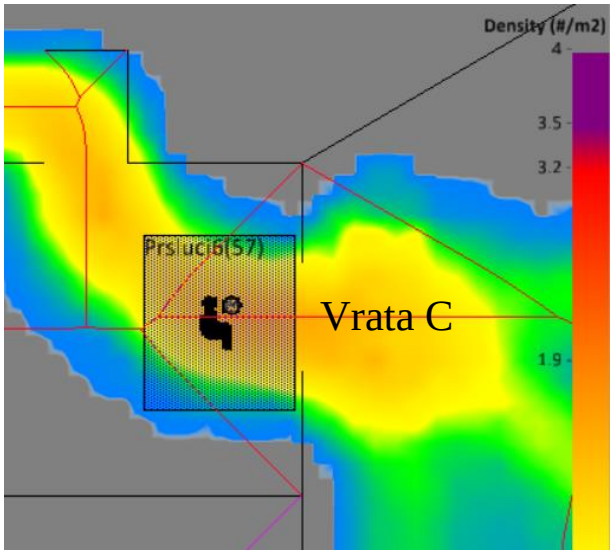
- 760 - ukupan broj osoba na brodu
- paluba 8 = 40 članova posade u kabinama; 2 člana posade u službi,
- paluba 7 = 100 putnika u javnim prostorima; 37 putnika u kabinama; 3 člana posade u službi,
- paluba 6 = 363 putnika u javnim prostorima; 9 članova posade u službi,
- paluba 5 = 200 putnika u javnim prostorima,
- paluba 4 = 1 član posade u službi,
- paluba 1 = 3 člana posade u službi
- pokrov tanka = 2 člana posade u službi

Tablica 13. Stubište C- Glavna protupožarna zona 1 - noć

<table>
<tr><td colspan="2">Broj putnika: 1</td><td colspan="2">Broj putnika: 37</td><td colspan="3">Broj putnika 15</td></tr>
<tr><td>Paluba:</td><td>Put bježanja:</td><td>Paluba:</td><td>Put bježanja:</td><td>Paluba:</td><td colspan="2">Put bježanja:</td></tr>
<tr><td rowspan="5">4</td><td>Vrata 42</td><td rowspan="10">7</td><td>Hodnik 1</td><td rowspan="6">8</td><td>Hodnik 4</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Hodnik 1</td><td>Vrata 12</td><td>Vrata 8</td></tr>
<tr><td>Vrata 41</td><td>Vrata 13</td><td>Hodnik 5</td><td>Hodnik 3</td></tr>
<tr><td>Putanja 1</td><td>Hodnik 7</td><td colspan="2">Putanja 1</td></tr>
<tr><td>Stubište C</td><td>Vrata K</td><td colspan="2">Vrata 9</td></tr>
<tr><td rowspan="7">7</td><td>Vrata 13</td><td>Putanja 3</td><td colspan="2">Stubište 1</td></tr>
<tr><td>Hodnik 7</td><td>Vrata C</td><td rowspan="6">7</td><td colspan="2">Vrata 13</td></tr>
<tr><td>Vrata K</td><td>Putanja 4</td><td colspan="2">Hodnik 7</td></tr>
<tr><td>Putanja 3</td><td>Stubište A3</td><td colspan="2">Vrata K</td></tr>
<tr><td>Vrata C</td><td rowspan="2">6</td><td>Putanja 5</td><td colspan="2">Putanja 3</td></tr>
<tr><td>Putanja 4</td><td>Okupljalište</td><td colspan="2">Vrata C</td></tr>
<tr><td>Stubište A3</td><td colspan="2" rowspan="4"></td><td colspan="2">Putanja 4</td></tr>
<tr><td rowspan="2">6</td><td>Putanja 5</td><td colspan="2">Stubište A3</td></tr>
<tr><td>Okupljalište</td><td rowspan="2">6</td><td colspan="2">Putanja 5</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2">Okupljalište</td></tr>
<tr><td>Vrijeme:</td><td>85 s</td><td colspan="2">90 s</td><td colspan="3">91 s</td></tr>
</table>

Zagušenja i smanjenja brzine putnika na simulaciji vidljiva su na vratima C gdje dolazi do spajanja triju puteva bježanja u MFZ 1 (Slika 19). Iz slike je vidljivo da gustoća protoka u

području oko 1.9 osoba/m^2, broj putnika koji koristi put bježanja je manji od 90. Stoga, vidljivo je, zadovoljavaju se svi potrebni propisi i nisu potrebna proširenja Vrata C i Stubišta A. Navedena vrata i stubište su već prilagođena slučaju 2 - dan gdje taj put bježanja koristi 128 putnika.

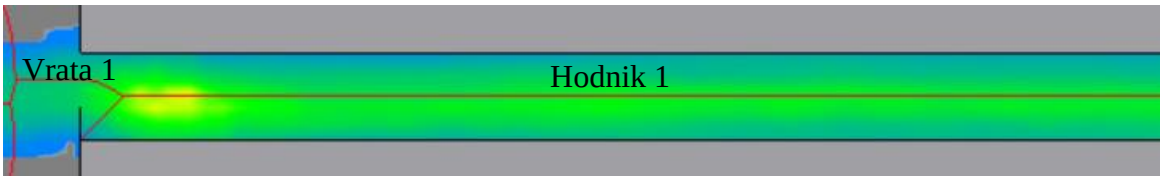


Slika 19. Vrata C

Tablica 14. Stubište A1- Glavna protupožarna zona 2 - noć

Broj putnika: 10	
Paluba:	Put bježanja:
8	Hodnik 1
	Vrata 1
	Stubište A - pr.
7	Putanja 1
	Stubište A1
6	Putanja 3
	Okupljalište
Vrijeme:	58 s

Iz simulacije (Slika 20) je vidljivo kako ne dolazi do bitnih promjena te putnici konstantno zadržavaju svoju brzinu evakuacije. Kao mjesto povećanja zagušenja pokazala su se vrata 1.

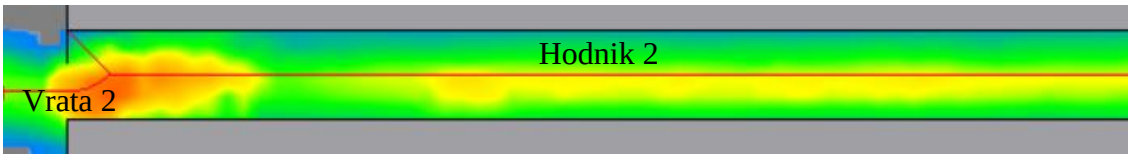


Slika 20. Hodnik 1 i vrata 1

Tablica 15. Stubište A2- Glavna protupožarna zona 2 - noć

Broj putnika: 17	
Paluba:	Put bježanja:
8	Hodnik 2
	Vrata 2
	Stubište A - pr.
7	Putanja 2
	Stubište A2
6	Putanja 2
	Okupljalište
Vrijeme:	63 s

Usporedbom puteva bježanja po stubištima A1 i A2 za koja možemo reći da su simetrični na palubi 8, iako broj putnika koji se evakuira tim putevima manji od 90, vidljivo je kako samo 7 putnika više (Slika 21) utječe na brzinu evakuacije. Mjesto zagušenja se javlja na istom mjestu kako i za stubište A1, a to su vrata 2.



Slika 21. Hodnik 2 i vrata 2

Tablica 16. Stubište A4- Glavna protupožarna zona 2 - noć

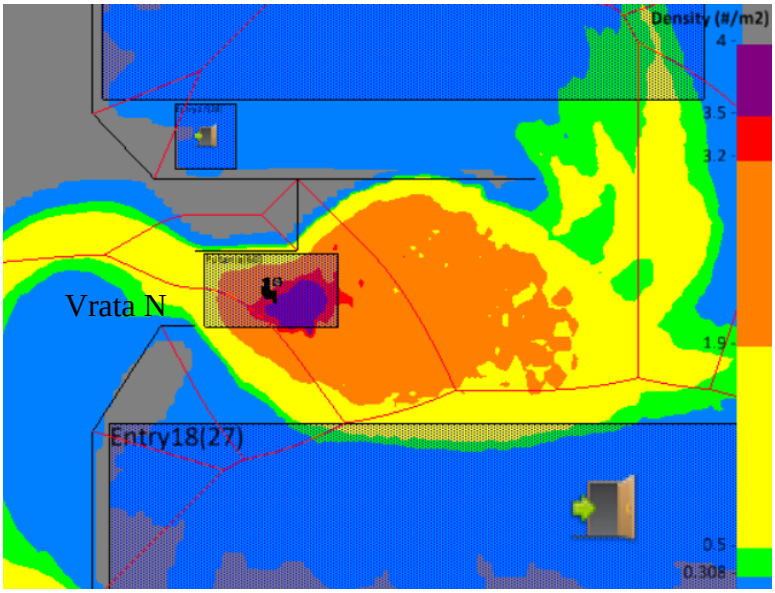
Broj putnika: 103		Broj putnika: 100	
Paluba:	Put bježanja:	Paluba:	Put bježanja:
7	Vrata D	5	**Vrata 37**
	Putanja 5		Stubište B1- pr.
	Stubište A4	6	Putanja 7
6	Putanja 6		Okupljalište
	Okupljalište		
Vrijeme:	138 s	141 s	

Simulacija prepoznaje povećanje gustoće protoka na vratima 37 što je i za očekivati. Širina vata iznosi 1000 mm što je u skladu s propisima za 100 putnika, dok se povećanjem širine stubišta B1-pr. na širinu vrata ne otklanja problem kritične točke na vratima 37. Kao rješenje se predlaže proporcionalno proširenje vrata 37 i stubišta B1-pramac.

Tablica 17. PALUBA 6 krma - Glavna protupožarna zona 2 - noć

Broj putnika: 147	
Paluba:	Put bježanja:
6	Putanja 11
	Vrata N
	Putanja 12
	Okupljalište
Vrijeme:	99 s

Kao kritična točka na putu bijega su vrata N (Slika 22) gdje gustoća toka veća od 3.5 osobe/m^2. S obzirom da su vrata svojom širinom već prilagođena tom broju putnika, bit će ih potrebno prilagoditi samo ako vrijeme evakuacije bude dulje od 60 min.



Slika 22. Vrata N

Tablica 18. PALUBA 5 pramac - Glavna protupožarna zona 1 - noć

<table>
<tr><td colspan="3">Broj putnika: 2</td><td colspan="2">Broj putnika: 100</td></tr>
<tr><td>Paluba:</td><td colspan="2">Put bježanja:</td><td>Paluba:</td><td>Put bježanja:</td></tr>
<tr><td rowspan="7">6</td><td>Vrata 26</td><td rowspan="4"></td><td rowspan="2">5</td><td>Vrata 30</td></tr>
<tr><td>Putanja 9</td><td>Stubište B pr.</td></tr>
<tr><td>Vrata 27</td><td rowspan="2">6</td><td>Putanja 8</td></tr>
<tr><td>Hodnik 1</td><td>Okupljalište</td></tr>
<tr><td>Vrata 23</td><td>Vrata S</td><td colspan="2" rowspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Putanja 8</td></tr>
<tr><td colspan="2">Okupljalište</td></tr>
<tr><td>vrijeme:</td><td colspan="2">39 s</td><td colspan="2">139 s</td></tr>
</table>

Na putu bježanja s palube 5 javlja se isti problem s vratima 30 kao i sa vratima 37, zagušenje koje je očekivano s tim brojem ljudi.

Tablica 19. STUBIŠTE A krma - Glavna protupožarna zona 1 - noć

<table>
<tr><td colspan="3">Broj putnika: 2</td><td colspan="2">Broj putnika: 1</td></tr>
<tr><td>Paluba:</td><td colspan="2">Put bježanja:</td><td>Paluba:</td><td>Put bježanja:</td></tr>
<tr><td>Tank top</td><td>Stubište T1</td><td>Stubište T2</td><td rowspan="2">1</td><td>Vrata 55</td></tr>
<tr><td rowspan="6">1</td><td>Vrata 52</td><td>Hodnik 1</td><td>Ljestve 1</td></tr>
<tr><td colspan="2">Vrata 53</td><td>2</td><td>Ljestve 2</td></tr>
<tr><td colspan="2">Vrata 56</td><td>3</td><td>Ljestve 3</td></tr>
<tr><td colspan="2">Putanja 1</td><td rowspan="2">4</td><td>Vrata 57</td></tr>
<tr><td colspan="2">Vrata 54</td><td>Stubište D-kr.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Stubište A kr.</td><td>5</td><td>Stubište D-kr.</td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="2">Stubište A kr.</td><td rowspan="6">6</td><td>Hodnik 4</td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="2">Stubište A kr.</td><td>Vrata 18</td></tr>
<tr><td>4</td><td colspan="2">Stubište A kr.</td><td>Putanja 1</td></tr>
<tr><td>5</td><td colspan="2">Stubište A kr.</td><td>Vrata 2</td></tr>
<tr><td rowspan="5">6</td><td colspan="2">Vrata 17</td><td>Putanja 2</td></tr>
<tr><td colspan="2">Putanja 1</td><td>Okupljalište</td></tr>
<tr><td colspan="2">Vrata 2</td><td colspan="2" rowspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Putanja 2</td></tr>
<tr><td colspan="2">Okupljalište</td></tr>
<tr><td>Vrijeme:</td><td colspan="2">163 s</td><td colspan="2">154 s</td></tr>
</table>

Put bijega s površine tanka do evakuacijskog mjesta je ujedno i najduži put bijega. Vrijeme koje je potrebno da ga prevali jedna osoba jest 163 sekunde. Taj put bijega predviđen je samo za posadu broda jer putnici ne smiju prelaziti više od dvije palube.

4.3.4. Rezultati simulacije - Slučaj 2- dan

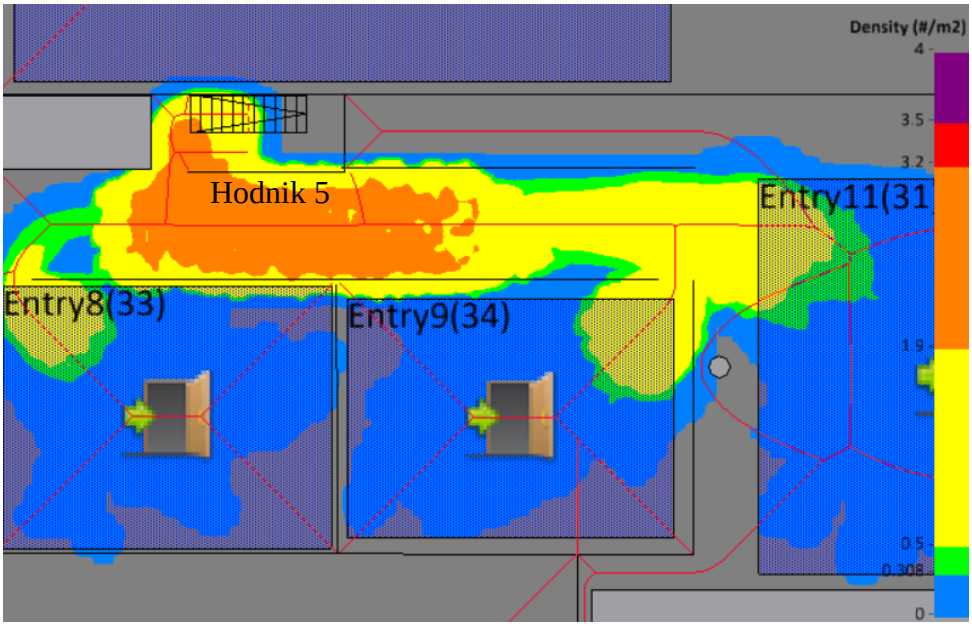
Broj putnika je raspoređen na slijedeći način te s tih položaja kreću prema mjestu okupljanja.

- 1260 - ukupan broj osoba na brodu,
- paluba 8 = 20 članova posade u kabinama; 1 član posade u službi ,
- paluba 7 = 425 putnika u javnim prostorima; 3 člana posade u službi,
- paluba 6 = 521 putnik u javnim prostorima; 30 članova posade u službi,
- paluba 5 = 239 putnika u javnim prostorima paluba 4 = 15 putnika u javnim prostorima; 1 član posade u službi,
- paluba 1 = 3 člana posade u službi
- pokrov tanka = 2 člana posade u službi.

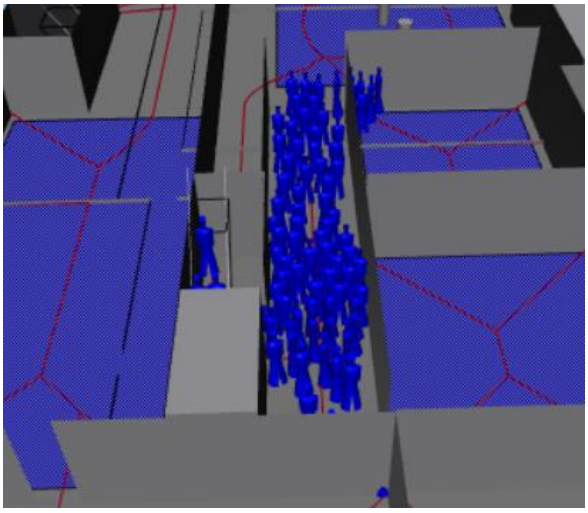
Tablica 20. STUBIŠTE C - Glavna protupožarna zona 1 - dan

<table>
<tr><td colspan="3">Broj putnika: 9</td><td colspan="3">Broj putnika:89</td><td colspan="3">Broj putnika:16</td></tr>
<tr><td>Paluba:</td><td colspan="2">Put bježanja:</td><td>Paluba:</td><td colspan="2">Put bježanja:</td><td>Paluba:</td><td colspan="2">Put bježanja:</td></tr>
<tr><td rowspan="5">8</td><td>Hodnik 4</td><td>Hodnik 3</td><td rowspan="5">5</td><td>Vrata 36</td><td></td><td rowspan="5">4</td><td>Vrata 42</td><td></td></tr>
<tr><td>Vrata 8</td><td>Hodnik 5</td><td>Vrata 34</td><td>Vrata 32</td><td>Hodnik 1</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Putanja 1</td><td>Hodnik 5</td><td>Hodnik 6</td><td>Vrata 41</td><td>Vrata 40</td></tr>
<tr><td colspan="2">Vrata 9</td><td colspan="2">Vrata 33</td><td colspan="2">Putanja 1</td></tr>
<tr><td colspan="2">Stubište1</td><td colspan="2">Stubište C</td><td colspan="2">Stubište C</td></tr>
<tr><td rowspan="7">7</td><td colspan="2">Vrata 13</td><td>6</td><td colspan="2">Stubište C</td><td>5</td><td colspan="2">Stubište C</td></tr>
<tr><td colspan="2">Hodnik 7</td><td rowspan="7">7</td><td colspan="2">Vrata 13</td><td>6</td><td colspan="2">Stubište C</td></tr>
<tr><td colspan="2">Vrata K</td><td colspan="2">Hodnik 7</td><td rowspan="8">7</td><td colspan="2">Vrata 13</td></tr>
<tr><td colspan="2">Putanja 3</td><td colspan="2">Vrata K</td><td colspan="2">Hodnik 7</td></tr>
<tr><td colspan="2">Vrata C</td><td colspan="2">Putanja 3</td><td colspan="2">Vrata K</td></tr>
<tr><td colspan="2">Putanja 4</td><td colspan="2">Vrata C</td><td colspan="2">Putanja 3</td></tr>
<tr><td colspan="2">Stubišta A3</td><td colspan="2">Putanja 4</td><td colspan="2">Vrata C</td></tr>
<tr><td rowspan="2">6 pr.</td><td colspan="2">Putanja 5</td><td colspan="2">Stubišta A3</td><td colspan="2">Putanja 4</td></tr>
<tr><td colspan="2">Okupljalište</td><td rowspan="2">6 pr.</td><td colspan="2">Putanja 5</td><td colspan="2">Stubišta A3</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2"></td><td colspan="2">Okupljalište</td><td rowspan="2">6 pr.</td><td colspan="2">Putanja 5</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="2">Okupljalište</td></tr>
<tr><td>Vrijeme:</td><td colspan="2">95 s</td><td colspan="3">186 s</td><td colspan="3">119 s</td></tr>
</table>

Mjesto zagušenja na putevima bježanja MFZ 1, prema simulaciji; su hodnik 5 (Slika 23) i stubište C (Slika 24) gdje dolazi do spajanja dvaju puteva bježanja. Vrijednosti ne prelaze 3.2 osobe/m^2 pa nije potrebno raditi preinake na hodniku, vratima i stubištu.



Slika 23. Hodnik 5



Slika 24. Hodnik 5 s pogledom na stubište C

Tablica 21. STUBIŠTE A1 - Glavna protupožarna zona 3 - dan

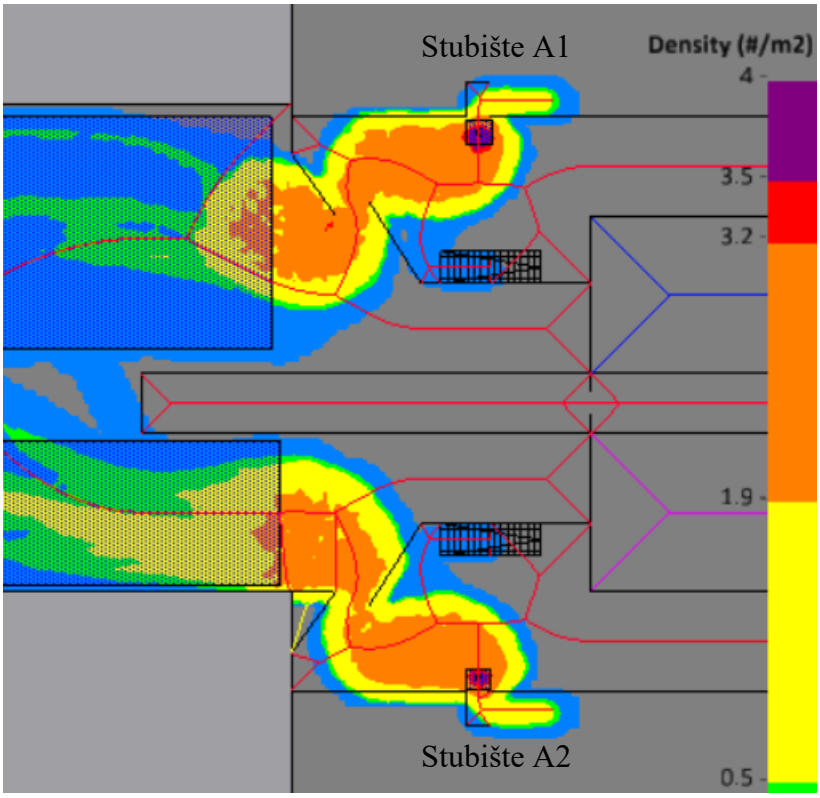
<table>
<tr><td colspan="3">Broj putnika: 126</td></tr>
<tr><td>Paluba:</td><td colspan="2">Put bježanja:</td></tr>
<tr><td rowspan="3">8</td><td>Hodnik 1</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Vrata 1</td></tr>
<tr><td>Stubište A-pr.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7</td><td>Putanja 1</td><td>Vrata AA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Stubište A1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">6</td><td colspan="2">Putanja 3</td></tr>
<tr><td colspan="2">Okupljalište</td></tr>
<tr><td>Vrijeme:</td><td colspan="2">159 s</td></tr>
</table>

Zagušenja s obzirom na broj putnika javljaju se na vratima AA i stubištu A1 (Slika 25), a na stubištu A1 vrijednosti gustoće prelaze 3.5 osobe/m^2. Širina stubišta odgovara broju putnika i bit će je potrebno izmijeniti samo ako ukupno vrijeme evakuacije bude dulje od 60 min.

Tablica 22. STUBIŠTE A2 - Glavna protupožarna zona 3- dan

<table>
<tr><td colspan="3">Broj putnika: 133</td></tr>
<tr><td>Paluba:</td><td colspan="2">Put bježanja:</td></tr>
<tr><td rowspan="3">8</td><td>Hodnik 2</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Vrata 2</td></tr>
<tr><td>Stubište A-pr.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7</td><td>Putanja2</td><td>Vrata BB</td></tr>
<tr><td colspan="2">Stubište A2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">6</td><td colspan="2">Putanja 4</td></tr>
<tr><td colspan="2">Okupljalište</td></tr>
<tr><td>Vrijeme:</td><td colspan="2">176 s</td></tr>
</table>

Simetrično stubištu A1 zagušenja se također javljaju na vratima BB i stubištu A2 (Slika 25).

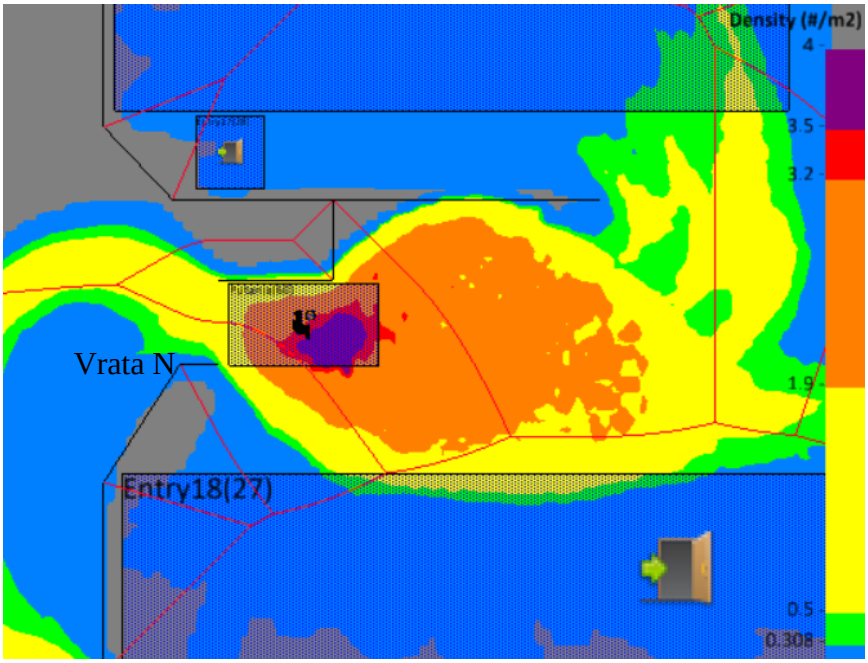


Slika 25. Stubište A1 i A2

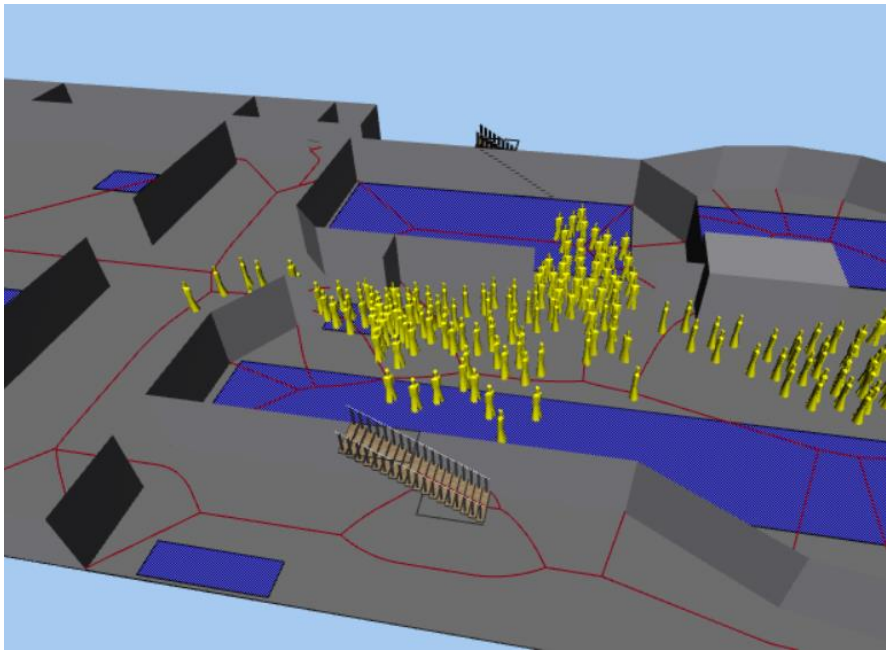
Tablica 23. PALUBA 6 krma - Glavna protupožarna zona 2 dan

Broj putnika: 210	
Paluba:	Put bježanja:
6	Putanja 11
	Vrata N
	Putanja 12
	Okupljalište
Vrijeme:	154 s

Put bježanja iz čekaona na palubi 6 vodi kroz vrata N (Slika 26) kako se ti putnici ne bi miješa s ostalim grupama na putevima bježanja. Iz tog razloga očekivano je da se pojavi zagušenje na vratima N. Međutim javlja se zagušenje veće od 3.5 osoba/m^2, vrata će biti potrebno prilagoditi ako ukupno vrijeme evakuacije bude dulje od 60 min.



Slika 26. Vrata N

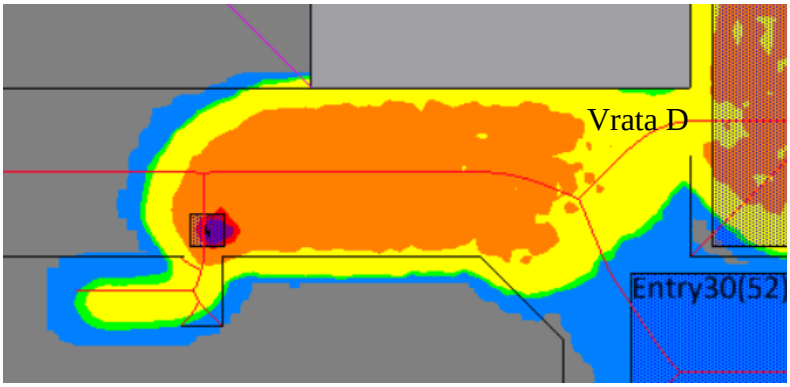


Slika 27. Spoj grupa na putanji 11

Tablica 24. STUBIŠTE A4 prama - Glavna protupožarna zona 2 - dan

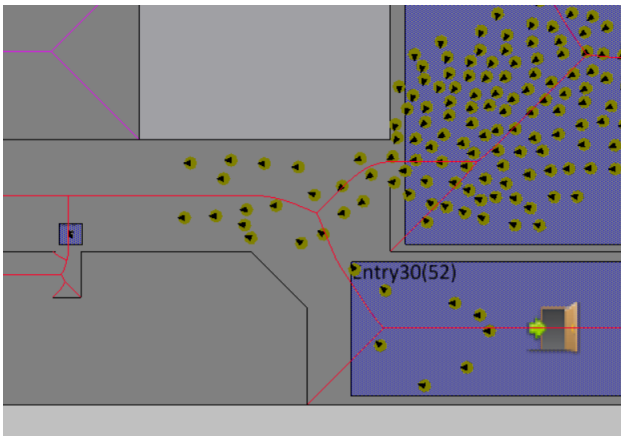
<table>
<tr><td colspan="3">Broj putnika: 167</td><td colspan="2">Broj putnika: 75</td></tr>
<tr><td>Paluba:</td><td colspan="2">Put bježanja:</td><td>Paluba:</td><td>Put bježanja:</td></tr>
<tr><td rowspan="3">7</td><td>Vrata D</td><td>Hodnik 8</td><td rowspan="2">5</td><td>Vrata 37</td></tr>
<tr><td colspan="2">Putanja 5</td><td>Stubište B1-pr.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Stubište A4</td><td rowspan="2">6</td><td>Putanja 7</td></tr>
<tr><td rowspan="2">6</td><td colspan="2">Putanja 6</td><td>Okupljalište</td></tr>
<tr><td colspan="2">Okupljalište</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>Vrijeme:</td><td colspan="2">206 s</td><td colspan="2">105 s</td></tr>
</table>

Putevi bježanja s najdužim vremenom su po stubištu A4 (Slika 28), gdje se zagušenje javlja već na vratima D dok grupa sa vanjske čekaone već stvara zastoj na stubištu A4 (Slika 29).



Stubište A4

Slika 28. Vrata D i stubište A4



Slika 29. Spoj puteva bježanja

Tablica 25. PALUBA 5 pramac - Glavna protupožarna zona 1 - dan

<table>
<tr><td colspan="3">Broj putnika: 23</td><td colspan="2">Broj putnika: 75</td></tr>
<tr><td>Paluba:</td><td colspan="2">Put bježanja:</td><td>Paluba:</td><td>Put bježanja:</td></tr>
<tr><td rowspan="7">6</td><td>Vrata 26</td><td></td><td rowspan="2">5</td><td>Vrata 30</td></tr>
<tr><td>Putanja 9</td><td></td><td>Stubište B pr.</td></tr>
<tr><td>Vrata 27</td><td></td><td rowspan="2">6</td><td>Putanja 8</td></tr>
<tr><td>Hodnik 1</td><td></td><td>Okupljalište</td></tr>
<tr><td>Vrata 23</td><td>Vrata S</td><td colspan="2" rowspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Putanja 8</td></tr>
<tr><td colspan="2">Okupljalište</td></tr>
<tr><td>Vrijeme:</td><td colspan="2">43 s</td><td colspan="2">132 s</td></tr>
</table>

Kao i u slučaju 1 na palubi 5 se javljaju zagušenja na vratima 30.

Tablica 26. STUBIŠTE A krma - Glavna protupožarna zona 1 - dan

<table>
<tr><td colspan="2">Broj putnika: 1</td><td colspan="2">Broj putnika: 1</td><td colspan="2">Broj putnika: 1</td></tr>
<tr><td>Paluba:</td><td>Put bježanja:</td><td>Paluba:</td><td>Put bježanja:</td><td>Paluba:</td><td>Put bježanja:</td></tr>
<tr><td>Tank top</td><td>Stubište T1</td><td>Tank top</td><td>Stubište T2</td><td rowspan="2">1</td><td>Vrata 55</td></tr>
<tr><td rowspan="7">1</td><td>Vrata 52</td><td rowspan="6">1</td><td>Hodnik 1</td><td>Ljestve 1</td></tr>
<tr><td>Hodnik 1</td><td>Vrata 53</td><td>2</td><td>Ljestve 2</td></tr>
<tr><td>Vrata 53</td><td>Vrata 56</td><td>3</td><td>Ljestve 3</td></tr>
<tr><td>Vrata 56</td><td>Putanja 1</td><td rowspan="2">4</td><td>Vrata 57</td></tr>
<tr><td>Putanja 1</td><td>Vrata 54</td><td>Stubište D-kr</td></tr>
<tr><td>Vrata 54</td><td>Stubište A kr.</td><td>5</td><td>Stubište D-kr</td></tr>
<tr><td>Stubište A kr.</td><td>2</td><td>Stubište A kr.</td><td rowspan="6">6</td><td>Hodnik 4</td></tr>
<tr><td>2</td><td>Stubište A kr.</td><td>3</td><td>Stubište A kr.</td><td>Vrata 18</td></tr>
<tr><td>3</td><td>Stubište A kr.</td><td>4</td><td>Stubište A kr.</td><td>Putanja 1</td></tr>
<tr><td>4</td><td>Stubište A kr.</td><td>5</td><td>Stubište A kr.</td><td>Vrata 2</td></tr>
<tr><td>5</td><td>Stubište A kr.</td><td rowspan="6">6</td><td>Vrata 17</td><td>Putanja 2</td></tr>
<tr><td rowspan="5">6</td><td>Vrata 17</td><td>Putanja 1</td><td>Okupljalište</td></tr>
<tr><td>Putanja 1</td><td>Vrata 2</td><td colspan="2" rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>Vrata 2</td><td>Putanja 2</td></tr>
<tr><td>Putanja 2</td><td>Okupljalište</td></tr>
<tr><td>Okupljalište</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>Vrijeme:</td><td>157 s</td><td colspan="2">161 s</td><td colspan="2">150 s</td></tr>
</table>

Iako su putevi bježanja s pokrova dna najdulji, radi male količine putnika nisu vremenski najduži gdje vidimo utjecaj broja putnika na brzinu.

4.3.5. Usporedba simulacije s rezultatima analize prema MSC/ Circ. 1533 Revidirane smjernice o analizama evakuacije novih i postojećih putničkih brodova

U projektnoj fazi izrade broda izrađuje se plan bijega koji se kroz razvoj projekta revidira. Kroz proračun plana bijega može doći do intervencija u izmjeni strukture ili rasporedu prostorija koje posljedično utječu na plan bijega. Nakon analize evakuacije i dobivenih rezultata uočene pogreške moguće je ispraviti: za novi brod ispraviti pogreške kroz projektnu fazu sa mogućim novim rasporedom i za postojeći brod poboljšanja izvesti kroz novi proračun plana bijega. Analiza je rađena prema smjernicama iz 2002. godine, potrebno je provesti ponovnu analizu prema propisima koji su stupili na snagu 2020. godine u slučaju da se projekt ponovno aktivira.

Svrha programa Pedestrian Dynamics je dobivanje ukupnog trajanja putovanja u idealnim uvjetima (t_I) s obzirom na gustoću toka. Dobivene podatke dalje proračunavamo unutar tablice prema pojednostavljenoj metodi jednadžbom (47) kako bi dobili ukupno vrijeme evakuacije broda.

Napomena: u tablici su prikazana vremena potrebna da grupa putnika dođe iz početne pozicije do mjesta okupljanja, putnici pojedinih početnih pozicija se spajaju na putu bijega i iz tog razloga su im dodijeljeni skupni parametri ukupnog broja putnika i vrijeme posljednjeg putnika te grupe koji dođe do mjesta okupljanja.

$$T = (\gamma + \delta)t_I \tag{50}$$

$\gamma = 2$

$\delta = 0{,}3$

Tablica 27. Usporedba - Slučaj 1

EVAKUACISKA ANALIZA - usporedba simulacije i proračuna					
Slučaj 1 - noć			Simulacija		Poj. Metoda
Paluba:	Početna pozicija:	Broj putnika:	t_I (s)	T (s)	T (s)
8	Hodnik 4	15	91	209.3	317.9
	Vrata 8				278.1
	Hodnik 3				307.3
	Hodnik 1	10	58	133.4	156.3
	Hodnik 2	17	63	144.9	178.8
7	Hodnik 1	37	90	207	296.1
	Vrata D	103	138	317.4	270.6
6	Vrata 26	2	39	89.7	144.9
	Vrata S				114.7
	Putanja 1	221	106	243.8	216.9
	Putanja 11	147	99	227.7	219.7
5	Vrata 37	100	141	324.3	329.4
	Vrata 30	100	139	319.7	364.1
4	Vrata 42	1	85	195.5	374.9
1	Vrata 55	1	154	354.2	300.5
Tank top	stub. T2	2	163	**374.9**	**446.1**
	stub. T1				

Za proračun vremena koje je potrebno za potpunu evakuaciju broda u slučaju 1, uzima se najveća vrijednost *T*, vrijeme potpune evakuacije se posebno izračunava za simulacijske i proračunske vrijednosti:

- Simulacija:

$$R = 10\,\text{min} = 600\ s$$

$$T = 374{,}9\ \text{s}$$

$$(E + L) = 30\,\text{min} = 1800\ s$$

$$T_{pot,s} = 1.25\ (R + T) + \frac{2}{3}(E + L) = 1{,}25(600 + 374{,}9) + \frac{2}{3}(1800) \quad \textbf{(51)}$$

$$T_{pot,s} = 2418{,}625\ s = 40\,\text{min}\,18.625\ s\ \leq 60\ min$$

- Pojednostavljena metoda:

$R = 10\,\text{min} = 600\ s$

$T = 446{,}1\ \text{s}$

$(E + L) = 30\,\text{min} = 1800\ s$

$$T_{pot,pm} = 1.25\ (R + T) + \frac{2}{3}(E + L) = 1{,}25(600 + 446{,}1) + \frac{2}{3}(1800) \quad \textbf{(52)}$$

$T_{pot,pm} = 2507{,}625\ s = 41\,\text{min}\ 47{,}625\ s\ \leq 60\ min$

Iz jednadžbi (51) i (52) se vidi da predviđeni putevi bježanja zadovoljavaju najnovije standarde te nisu potrebno izmjene na projektu broda.

Tablica 28. Usporedba - Slučaj 2

EVAKUACISKA ANALIZA					
Slučaj 1 - dan				Simulacija	Poj. Metoda
Paluba:	Start pozicija:	Broj putnika:	t_I (s)	T (s)	T (s)
8	Hodnik 4	9	95	218.5	480.8
	Vrata 8				441.0
	Hodnik 3				472.5
	Putanja 1				363.7
	Hodnik 1	6	159	365.7	419.3
	Hodnik 2	6	176	404.8	420.0
7	Hodnik 7	14	46	105.8	402.5
	Vrata AA	120	159	365.7	368.1
	Vrata BB	127	176	404.8	368.9
	Vrata D	167	206	**473.8**	390.5
	Hodnik 8				390.5
6	Vrata 26	23	43	98.9	252.6
	Putanja 9				252.6
	Vrata S				214.1
	Putanja 1	166	99	227.7	140.2
	Putanja 11	210	154	354.2	299.3
5	Vrata 32	89	186	427.8	473.5
	Vrata 36				482.0
	Vrata 34				482.0
	Vrata 37	75	105	241.5	256.8
	Vrata 30	75	132	303.6	291.5
4	Vrata 40	16	119	273.7	511.4
	Vrata 42				**545.6**
1	Vrata 55	1	157	361.1	223.8
Tank top	stub. T2	1	161	370.3	369.7
	stub. T1	1	150	345	369.7

Sukladno slučaju 1 uzima se najveća vrijednost T u jednadžbama (53) i (54):

- Simulacija:

$R = 5\,\text{min} = 300\ s$

$T = 374{,}9\ \text{s}$

$(E + L) = 30\,\text{min} = 1800\ s$

$$T_{pot,s} = 1.25\ (R + T) + \frac{2}{3}(E + L) = 1{,}25(300 + 374{,}9) + \frac{2}{3}(1800) \quad \textbf{(53)}$$

$T_{pot,s} = 2043.625\ s = 34\,\text{min}\,3.625\ s\ \leq 60\ min$

- Pojednostavljena metoda:

$R = 5\,\text{min} = 300\ s$

$T = 446{,}1\ \text{s}$

$(E + L) = 30\,\text{min} = 1800\ s$

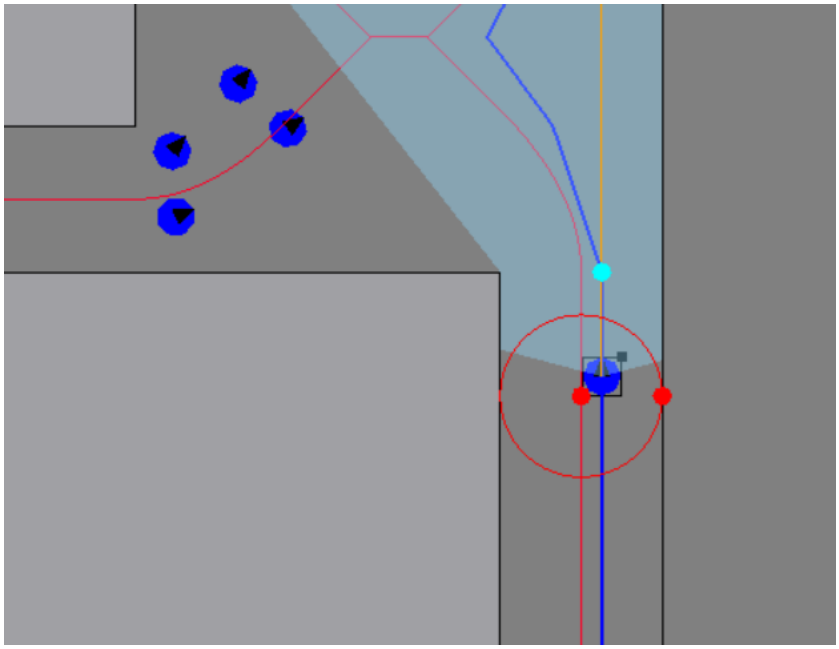
$$T_{pot,pm} = 1.25\ (R + T) + \frac{2}{3}(E + L) = 1{,}25(300 + 446{,}1) + \frac{2}{3}(1800) \quad \textbf{(54)}$$

$T_{pot,pm} = 2132{,}625\ s = 35\,\text{min}\,32{,}625\ s\ \leq 60\ min$

Iz jednadžbi (53) i (54)se vidi da predviđeni putevi bježanja zadovoljavaju najnovije standarde te nisu potrebno izmjene na projektu broda.

Analiza evakuacije pojednostavljenom metodom služi nam u preliminarnoj fazi dizajniranja broda i trebali bi je uzimati kao primarnu metodu, simulacija u drugu ruku nam daje malo realniji uvid u vrijeme potrebno da putnik prijeđe put bježanja od trenutka oglašavanja alarma. Brzina putnika koje koriste put bježanja zasniva se na površini prostorije i broju putnika u idealnim uvjetima unutar pojednostavljene metode, dok se u simulaciji uzima međusobni odnos putnika gdje se na račun njegovog osobnog prostora povećava ili smanjuje brzina bez obzira na površinu prostorije(Slika 30). Tu razliku razliku možemo pripisati različitim vremenima puta bježanja.

Potrebno je naglasiti kako važnost programa ipak dolazi do punog izražaja u kasnoj fazi projektiranja broda prilikom korištenja napredne metode analize evakuacije i određivanju kritičnih točaka na brodu. unutar napredne metode analize evakuacije svaki putnik uzima se zasebno te se tako može iskoristiti potpuni potencijal programa.



Slika 30. Osobni prostor agenta u simulaciji

5. Oprema za spašavanje

U slučaju nesreće broda kada je potrebno napustiti brod, uz brzu reakciju posade i putnika, oprema za spašavanje igra glavnu ulogu pri evakuaciji broda. Ona omogućava duži boravak na moru do dolaska pomoći. Izmjene i dopune SOLAS 1974. konvencije ne odnose se samo na analizu evakuacije brodova već dolazi do promjena regulativa u 3.poglavlju koje se odnosi na opremu za spašavanje i njezin raspored na brodu, te vrijede za sve Ro-Ro putničke brodove i putničke brodove izgrađene poslije 1. siječnja 2020. godine, stoga posebnu pažnju treba posvetiti novim pravilima.

Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture na temelju članka 77. stavka 3. donosi „Pravila za statutarnu certifikaciju pomorskih brodova, sredstva za spašavanje“ [12]. Spomenuta pravila propisuju tehničke zahtjeve za brodove hrvatske državne pripadnosti vezane za sredstva za spašavanje. Odredbe koje izdaje Ministarstvo u skladu su sa SOLAS 74 poglavljem 3. (RezolucijomMSC.350(92) i, prema posljednjim izmjenama, LSA Kodeksom (Rezolucijom MSC.368(93). U daljnjem tekstu predstavljena su pravila za zadani brod čija bruto tonaža iznosi više od 500 gt i služi za kratka međunarodna putovanja.

5.1. Plovila za preživljavanje i brodice za prikupljanje

Iz *Pravila za statutarnu certifikaciju pomorskih brodova, sredstva za spašavanje* valja izdvojiti bitne zahtjeve primjenjive za proračun broja i položaja plovila za preživljavanje i brodica za prikupljanje.

5.1.1. Plovila za preživljavanje

3.1.1.2.1 Brodice za spašavanje moraju biti ravnomjerno raspoređene, koliko je to moguće, na svakom boku broda ukupnog kapaciteta dovoljnog za smještaj najmanje 30% ukupnog broja putnika na brodu te na splavi za spašavanje ukupnog kapaciteta dovoljnog da se, zajedno s kapacitetom brodica za spašavanje, u plovila za preživljavanje mogu smjestiti sve putnika na brodu. Splavi za spašavanje moraju poslužiti uređaji za spuštanje koji trebaju biti ravnomjerno raspoređeni na svakom boku broda;

3.1.1.2.2 dodatno, na splavi za spašavanje ukupni kapacitet za smještaj treba biti najmanje 25% ukupnog broja putnika na brodu; splavi za spašavanje mora poslužiti najmanje jedan uređaj za

spuštanje na svakom boku broda koji može biti u skladu s 3.1.1.2.1 ili neki drugi jednakovrijedni odobreni uređaj koji se može koristiti na oba boka broda.

3.1.1.3 Sva plovila za preživljavanje predviđena za prihvat ukupnog broja putnika na brodu moraju se moći spustiti s ukupnim brojem putnika i opremom u roku od 30 minuta nakon davanja signala za napuštanje broda i nakon što su svi putnici okupljeni s prslucima za spašavanje.

5.1.2. Brodice za prikupljanje

3.1.2.1 Putnički brodovi bruto tonaže 500 i više moraju imati najmanje jednu brodicu za prikupljanje na svakom boku broda.

5.1.3. Prikupljanje splavi za spašavanje

3.1.3.2 Broj brodica za spašavanje i brodica za prikupljanje na putničkim brodovima koji obavljaju kratka međunarodna putovanja mora biti dovoljan da osigura, kada se brod napušta, ukupni broj putnika na brodu pri čemu svaka od njih prikupi najviše 9 splavi za spašavanje.

5.1.4. Sustavi za brzo napuštanje broda

Sustavi za brzo napuštanje broda (Slika 31) moraju omogućiti siguran silazak putnika svih dobi, veličina i fizičkih mogućnosti, a da su pritom opremljeni prslukom za spašavanje. Ako sustav pruža direktan pristup splavi ili brodici za spašavanje, treba imati mogućnost brzog otpuštanja. Sustav za brzo napuštanje se sastoji od:

- pneumatskih staza
- prekrcajnih splavi
- pneumatskih splavi

Postoji više izvedbi koje zadovoljavaju propise SOLAS konvencije, ali sustav mora biti jednostavnog pokretanja kako bi ga jedna osoba mogla osposobiti. Pokretanje se vrši uklanjanjem mehaničkih osigurača i povlačenjem poluge.

Staze za ukrcaj mogu biti jednostruke ili dvostruke, a nagib im iznosi od 35º do 55º. Putnici iz pneumatskih staza prvo idu u prekrcajni splav, a potom u splav za spašavanje. Splav je u mogućnosti primiti od 40 do 135 putnika.

Slika 31. Sustav za brzo napuštanje broda

http://www.lsames.com/media/gallery (07.12.2020)

Prekrcajni splavi, čija površina iznosi oko 10 m^2, služe za kratkotrajni prihvat putnika. Pomoćni splavi omogućuju prekrcaj većeg broja putnika u kraćem vremenu i time ispunjavaju SOLAS konvencije da brod treba napustiti za manje od 30 minuta.

5.1.5. Proračun plovila za preživljavanje i brodica za prikupljanje:

Prema podatcima za zadani brod, Tablica 29 prikazuje proračun kapaciteta plovila za spašavanje:

Tablica 29. Proračun kapaciteta plovila za spašavanje

Ukupan broj osoba na brodu:	
Broj osoba (posada + putnici):	1260
Dodatak 25% (osobe):	315
Ukupno:	1570
Ukupan kapacitet splavi:	
Kapacitet jednog splavi (osobe):	140
Broj splavi:	12
Ukupan kapacitet:	1680

Iz priloženih nacrta vidljiv je položaj splavi za spašavanje na palubi 6, vidljive su 4 pozicije splavi na brodu, svaka pozicija sadrži tri splavi kapaciteta 140 putnika, ukupan

kapacitet splavi iznosi 1680 putnika, što premašuje ukupan broj putnika na brodu uz dodatak 25%.

Na nacrtima je također vidljivo kako se na palubi 6 nalaze 4 brodice za prikupljanje (Slika 32), dok je propisana jedna na svakom boku broda, a svaka brodica za prikupljanje smije prikupiti najviše devet splavi. Po tom pitanju već i jedna brodica na svakom brodu zadovoljava najnovije propise.

Slika 32. Brodica za prikupljanje

https://www.marineinsight.com/marine-safety/types-of-lifeboats-used-on-ship/ (07.12.2020)

Slika 32 prikazuje brodicu za spašavanje Atlantic 75, koja se nalazila u službi od 2001. do 2015. godine. Dugačka je 7.38 m, široka 2.65 m, a gaz joj je 0.41 m. Pogonjena j s dva Evinrude motora koja ostvaruju snagu od 52 kW, a ostvaruje brzinu od 32 čvora. Ima kapacitet za prikupljanje 23 putnika.

5.2. Osobna sredstva za spašavanje

5.2.1. Koluti za spašavanje

3.2.1.1 Putnički brodovi moraju sadržavati kolute za spašavanje prema navedenoj tablici (Tablica 30).

Tablica 30. Koluti za spašavanje

Duljina broda [m]	Broj koluta za spašavanje
do 60	8
60 i manje od 120	12
120 i manje od 180	18
180 i manje od 240	24
240 i više	30

Tablica 30 prikazuje Prema kako je za brod potrebno 18 koluta za spašavanje. Koluti (Slika 33) kao sredstvo spašavanja ne rabe se pri evakuaciji već u nesretnim slučajevima, primjerice pad osoba s broda u more. Iz istog razloga potrebno je kolute ravnomjerno rasporediti duž broda.

Slika 33. Kolut za spašavanje

https://www.seapower.hr/sigurnost-odjeca-tenderi/zivot-prstena-o-mm-72/ (07.05.2020)

5.2.2. Prsluci za spašavanje

2.2.2.1 Prsluk za spašavanje mora se predvidjeti za svakg putnika na brodu, i uz to:

.1 na putničkim brodovima u međunarodnoj plovidbi na putovanjima trajanja do 24 sata mora se predvidjeti dovoljan broj prsluka za spašavanje pogodnih za dojenčad, i to najmanje 2,5 % od ukupnog broja putnika na brodu.

.3 mora se predvidjeti dovoljan broj prsluka za spašavanje pogodnih za djecu, i to najmanje 10% od ukupnog broja putnika na brodu ili za svako dijete na brodu po jedan prsluk za spašavanje (što je veće).

.4 mora se predvidjeti dovoljan broj prsluka za spašavanje za posadu na straži kao i za primjenu na udaljenim stanicama plovila za preživljavanje (ne manje od 6 kom.).

.5 ako prsluci za spašavanje za odrasle nisu dizajnirani za pretile osobe čiji je opseg struka veći od 1750 mm mora se predvidjeti odgovarajući dodatak za pričvršćenje prsluka za takve osobe i to najmanje 2,5 % od ukupnog odobrenog broja osoba na brodu (ne manje od 2 kom.).

3.2.2.1 Uz prsluke za spašavanje koji se zahtijevaju u 2.2.2, svaki putnički brod mora dodatno imati 5% prsluka za spašavanje od ukupnog broja putnika koje je brod ovlašten prevoziti. Ovi prsluci za spašavanje moraju biti smješteni na lako dostupnim mjestima na palubi ili na zbornim mjestima.

Potreban broj prsluka na brodu slijedi iz Tablica 31

Tablica 31. Proračun broja prsluka na brodu

	Broj prsluka:
Prsluci za svaku osobu (+5%):	1323
Prsluci za dojenčad:	32
Prsluci za djecu:	126
Za pretile osobe:	32
Dodatno za udaljene stanice spašavanja:	min 6
Ukupno:	1519

Sigurnosni prsluk je osnovno sredstvo sigurnosti prilikom nesreće na moru. On sprječava utapanje putnika uslijed premorenosti ili nesvjestice. Prsluke za spašavanje možemo razlikovati prema:

- veličini i uzgonu:
  - prsluci za odrasle,
  - prsluci za djecu,
- konstrukcijskim osobinama:
  - prsluk čiji uzgon ovisi o krutoj tvari (Slika 34),
  - prsluk na napuhavanje.

Slika 34. Prsluk čiji uzgon ovisi o krutoj tvari

https://www.jurec.hr/hr/prsluk-za-spasavanje-na-moru-rscy-a5 (07.12.2020)

Slika 34 prikazuje prsluk koji ovisi o krutoj tvari, Slika 34.Prsluk čiji uzgon ovisi o krutoj tvarinpr. ovaj prsluk je proizveden od strane Jiaxing Rongsheng Lifesaving Equipment Co.,Ltd. za osobe 43kg i više (max. do 140kg), visine155cm ili više, te opseg prsa max.1750mm.

6. ZAKLJUČAK

Putnički brodovi se od ostalih brodova razlikuju po broju članova posade te po broju putnika koje prevoze. Kod ovih je brodova potrebno analizirati i regulirati kretanje velikog broja putnika koje se teško može kontrolirati u slučaju nesreće. Cilj sustava, opreme i posade jest, ukoliko dođe do nesreće, omogućiti što bržu i lakšu evakuaciju putničkog broda. Definiranje puteva bijega i analizu evakuacije potrebno je izvršiti još u ranoj fazi projektiranja broda prema sličnom brodu, a kroz naredno projektiranje potrebno je obratiti pozornost da se zadovoljavaju sva propisana pravila za završnu kontrolu u finalnoj fazi projektiranja broda. Pomorske nesreće putničkih brodova koje se događaju glavni su poticaj za IMO kako bi usavršavali stara pravila i donosili nova, a sve s ciljem što veće i bolje zaštite ljudskih života.

Kao primarni alat za analizu evakuacije nedvojbeno treba koristiti posljednje smjernice koje je izdao IMO, ali se pritom ne smije zanemariti pomoć koju nam pružaju i razni drugi alati poput, npr. Pedestrian Dynamics koji poštuje odredbe IMO-a. Takvi alati omogućuju nam brze izmjene na modelu tijekom projektiranja broda.

Glavni cilj ovog rada bio je primjenom pojednostavljene metode i korištenjem programskog paketa za analizu evakuacije Pedestrian Dynamics izvršiti provjeru zadovoljava li projekt broda najnovije propise. Primjenom navedenog programskog paketa izvršene su simulacije evakuacije pri čemu je uočeno da kvalitetna izrada plana bijega, kod kojeg se izbjegavaju križanja puteva putnika, velika zagušenja i nekontrolirano kretanje, uvelike smanjuje vrijeme potrebno za potpunu evakuaciju broda, a i ono najbitnije, razinu panike putnika zbog bojazni da neće stići biti evakuirani. Osim samih puteva bježanja i analize istih, potrebno je zadovoljiti i količinu opreme za spašavanje jer će upravo ona nakon nesreće omogućiti duži boravak posade i putnika na moru do dolaska spasilačke službe. Opremu je potrebno postaviti na strateški odabrana mjesta na brodu, a ako se brod već nalazi u službi potrebno je vršiti redovite provjere ispravnosti te ju prilagođavati posljednjim propisima. Primjenjujući propisana pravila na modelu broda, proračun po pojednostavljenoj metodi i simulacija pokazuju da je vrijeme evakuacije znatno manje od propisanih 60 minuta.

Na kraju potrebno je naglasiti kako važnost takvih programa dolazi do punog izražaja tek u kasnijoj fazi projektiranja broda, i to prilikom korištenja napredne metode analize evakuacije i pri određivanju kritičnih točaka na brodu.

LITERATURA

[1] IMO International Maritime Organization. *Safety of ro-ro ferries.* Dostupno na: https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/RO-ROFerries.aspx [29.11.2020].

[2] P.A.Saini, Seanews (08.05.2018). *History and Types of RORO Ships,* Dostupno na: https://seanews.co.uk/features/history-and-types-of-roro-ships/ [29.11.2020]..

[3] R.Kantharia, Marine Insight (04.01.2020). *What are Ro-Ro Ships?* Dostupno na https://www.marineinsight.com/types-of-ships/what-are-ro-ro-ships/ [29.11.2020]

[4] Autoshippers (08.06.2020); *The History of Roll-on Roll-off Shipping.* Dostupno na : https://www.autoshippers.co.uk/blog/the-history-of-roll-on-roll-off-shipping [29.11.2020].

[5] D.Łozowicka, International Journal of Automation and Computing 2 (2006) 165-168, *Problems Associated with Evacuation from the Ship inCase of an Emergency Situation*

[6] Rusković, L. (2012). Proračun plana bijega za putnički brod, Diplomski rad, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje.

[7] Pravila za statutarnu certifikaciju pomorskih brodova, protupožarna zaštita, prilog 13. *Narodne novine,* br. 118/2014

[8] International Maritime Organization, (2007), FSS-Code (Fire Safety Systems Code) - Res. MSC.98(73)

[9] IMO International Maritime Organization „Revised Guidelines on evacuation analyses for new and existing passenger ships“ (06.06.2016) MSC.1/Circ.1533

[10] C. Nasso, S. Bertagna, F.Mauro, A.Marino, V.Bucci (V70.Nr.3,2019) Simplified and advanced approaches for evacuation analysis of passenger ships in the early stage of design.

[11] INCONTROL Simulation Platform, *Pedestrian Dynamics.* Dostupno na: https://www.incontrolsim.com/software/pedestrian-dynamics/ [21.12.2020].

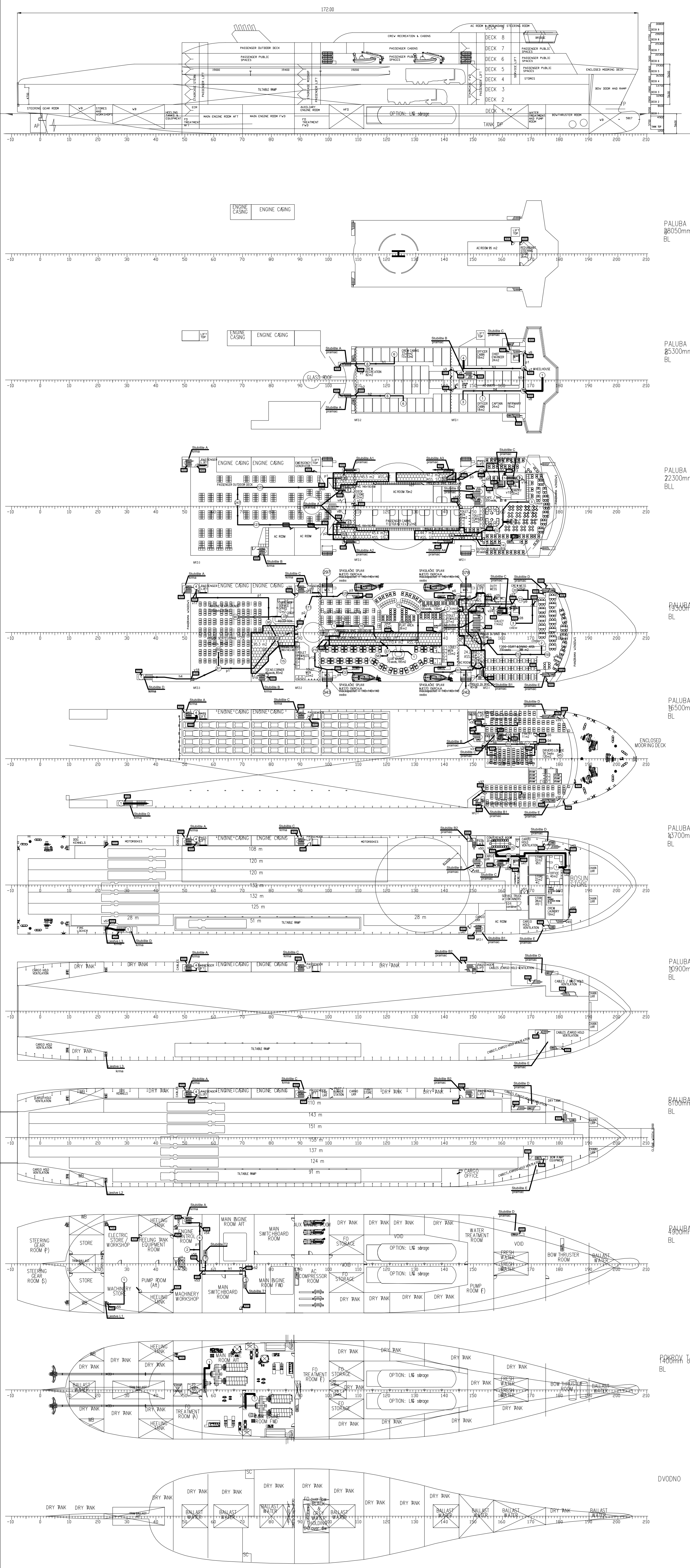
[12] Pravila za statutarnu certifikaciju pomorskih brodova, Sredstva za spašavanje, dio 18. *Narodne Novine,* br.32/2018.

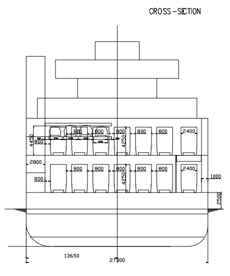
PRILOZI

I. Proračun bijega, slučaj 2 - dnevni uvjeti - Lana Rusković (11.2012)

II. Proračun bijega, slučaj 1 - noćni uvjeti - Lana Rusković (11.2012)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION





- BROJ SOBA
- ŠIRINA STUBIŠTA
- ŠIRINA VRATA
- GLAVNA PROTUPOŽARNA ZONA
- SMJER GLAVNOG BIJEGA

RASPODJELA OSOBA U DNEVNIM UVJETIMA (prema FSS code-Ch.13)	
SVI PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA I STOLICAMA ZA ODMOR	= 1200
1/3 ČLANOVA POSADE U SLUŽBI	= 20
1/3 ČLANOVA POSADE U KABINAMA	= 20
ČLANOVI POSADE U PROSTORU ZA POSADU (=1/3 maksimalnog kapaciteta prostora za posadu) (maksimalni kapacitet=60 sjedala)	= 20 *
UKUPNI BROJ OSOBA U DNEVNIM UVJETIMA	= 1260

PALUBA 8 - RASPODJELA OSOBA U NOĆNIM UVJETIMA

MFZ-1	KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)	OČEKIVANI BROJ OSOBA U BIJEGU
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA		
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA	20 (kreveta)	8
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		1
MFZ-2	KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)	OČEKIVANI BROJ OSOBA U BIJEGU
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA		
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA	40 (kreveta)	12
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		
UKUPNI BROJ OSOBA		S2= 21

PALUBA 7 - RASPODJELA OSOBA U NOĆNIM UVJETIMA

MFZ-1	KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)	OČEKIVANI BROJ OSOBA U BIJEGU
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA	290 (sjedala)	178
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA		
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		3
MFZ-2	KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)	OČEKIVANI BROJ OSOBA U BIJEGU
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA		
PUTNICI U KABINAMA	37 (kreveta)	
POSADA U KABINAMA		
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		
MFZ-3	KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)	OČEKIVANI BROJ OSOBA U BIJEGU
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA	330 (sjedala)	247
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA		
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		
UKUPNI BROJ OSOBA		S2= 428

PALUBA 6 - RASPODJELA OSOBA U NOĆNIM UVJETIMA

MFZ-1	KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)	OČEKIVANI BROJ OSOBA U BIJEGU
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA	200 (sjedala)	150
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA		
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA	60 (sjedala)	20
POSADA U SLUŽBI		5
MFZ-2	KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)	OČEKIVANI BROJ OSOBA U BIJEGU
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA	275 (sjedala)	206
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA		
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		4
MFZ-3	KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)	OČEKIVANI BROJ OSOBA U BIJEGU
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA	260 (sjedala)	165
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA		
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		
UKUPNI BROJ OSOBA		S2= 551

PALUBA 5 - RASPODJELA OSOBA U NOĆNIM UVJETIMA

MFZ-1	KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)	OČEKIVANI BROJ OSOBA U BIJEGU
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA	320 (sjedala)	239
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA		
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		
UKUPNI BROJ OSOBA		S2= 239

PALUBA 4 - RASPODJELA OSOBA U NOĆNIM UVJETIMA

MFZ-1	KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)	OČEKIVANI BROJ OSOBA U BIJEGU
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA	20 (sjedala)	15
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA		
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		1
UKUPNI BROJ OSOBA		S2= 16

PALUBA 1 - RASPODJELA OSOBA U NOĆNIM UVJETIMA

MFZ-1	KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)	OČEKIVANI BROJ OSOBA U BIJEGU
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA		
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA		
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		3
UKUPNI BROJ OSOBA		S2= 3

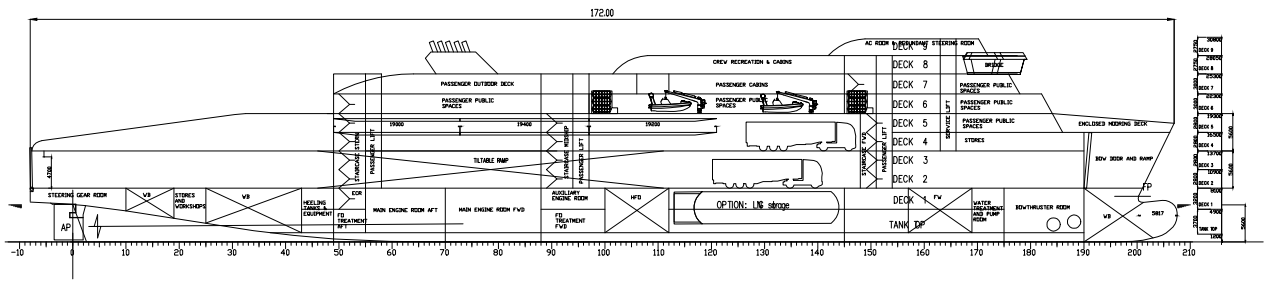
PALUBA 0 - RASPODJELA OSOBA U NOĆNIM UVJETIMA

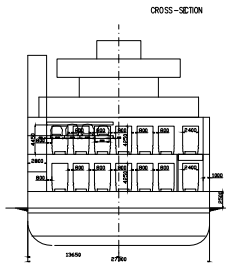
MFZ-1	KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)	OČEKIVANI BROJ OSOBA U BIJEGU
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA		
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA		
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		2
UKUPNI BROJ OSOBA		S2= 2

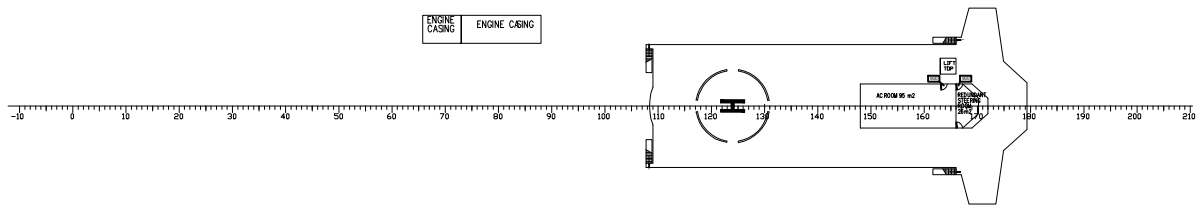
Rev.		Datum 11.2012.	
FSB ZAGREB	Crtao: Rusković Lana	Mjerilo 1:300	
	Pregledao:		
	Odobrio:		Stranica 2/2
Naziv: PRORAČUN BIJEGA SLUČAJ 2 - DNEVNI UVJETI		Size A0	Projekt: IMC Ro-Pax Ferry IMC-160

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

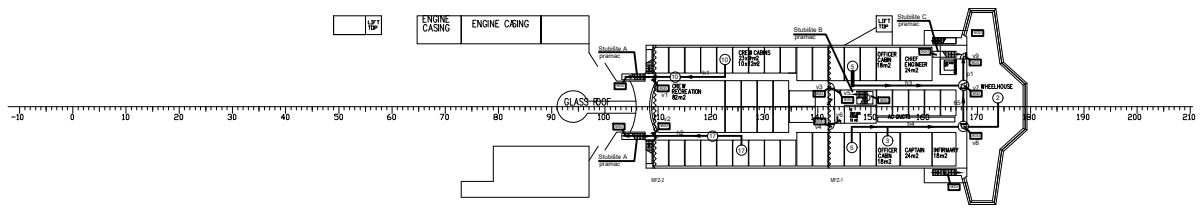
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



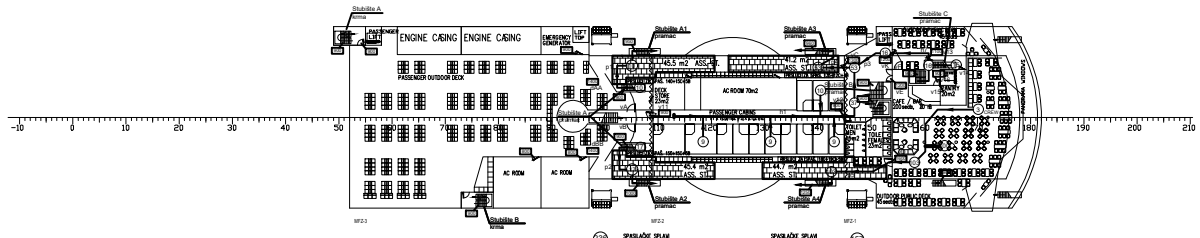




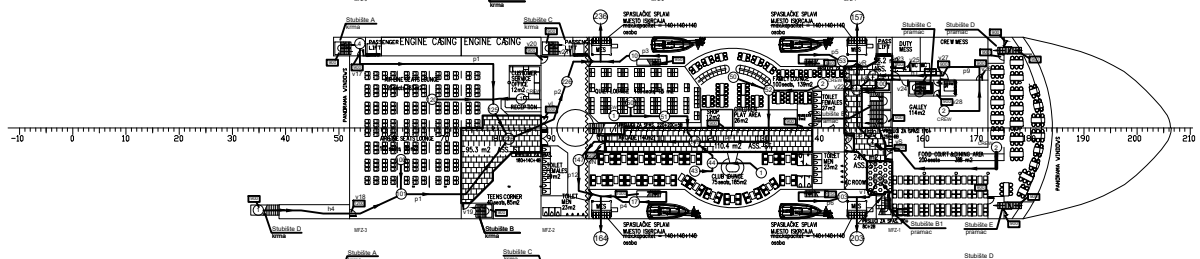
PALUBA 8 38050mm od BL



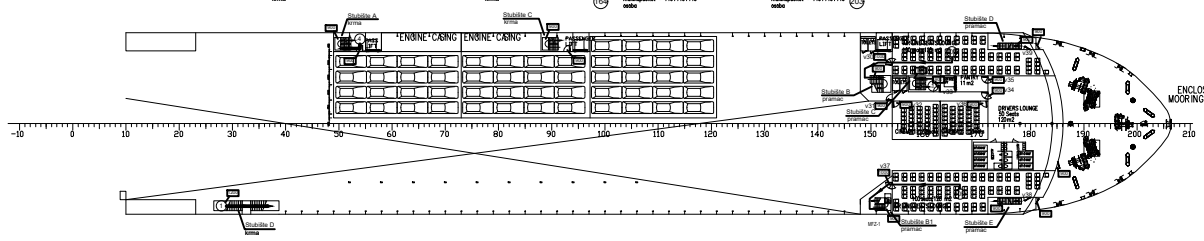
PALUBA 8 35300mm od BL



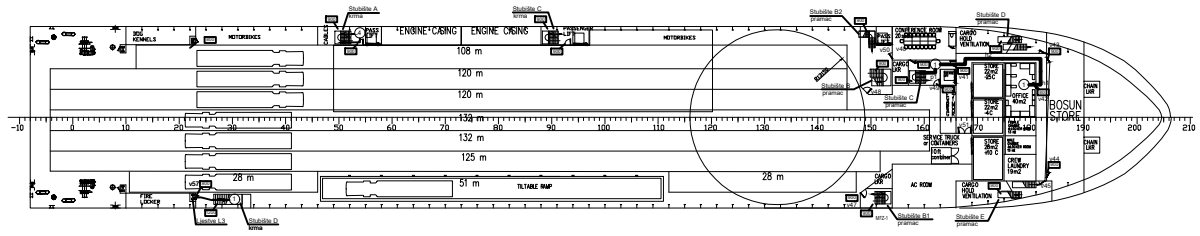
PALUBA 7 32300mm od BLL



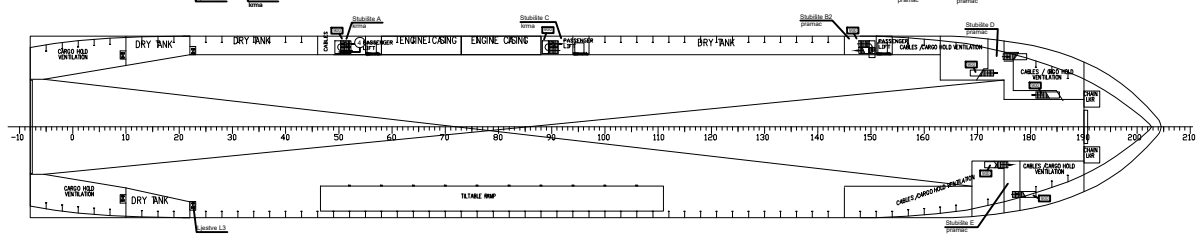
PALUBA 6 29300mm od BL



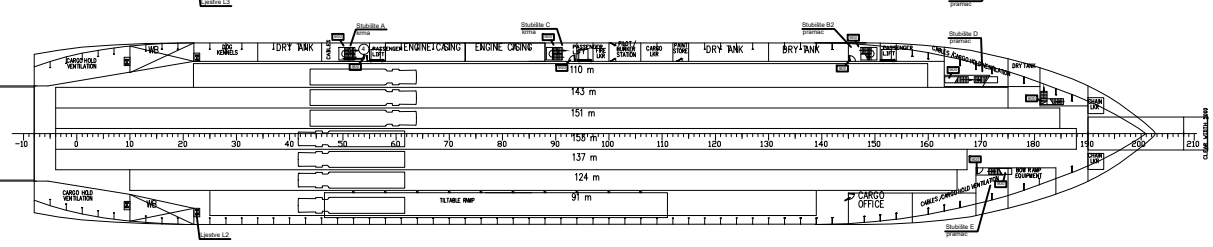
PALUBA 5 26500mm od BL



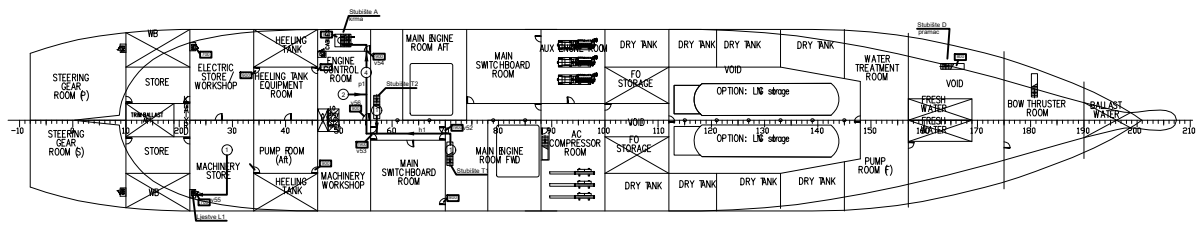
PALUBA 4 23700mm od BL



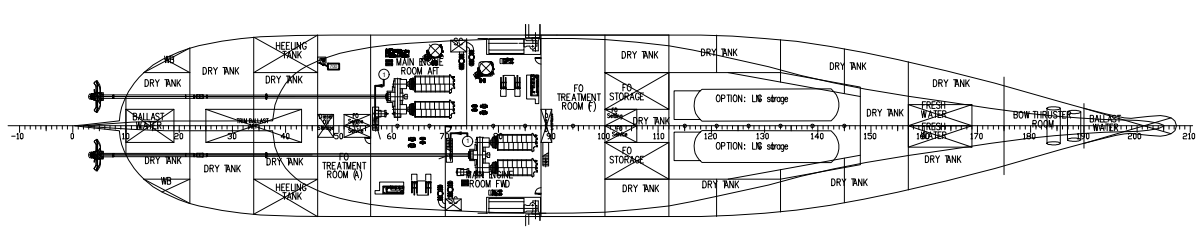
PALUBA 3 20900mm od BL



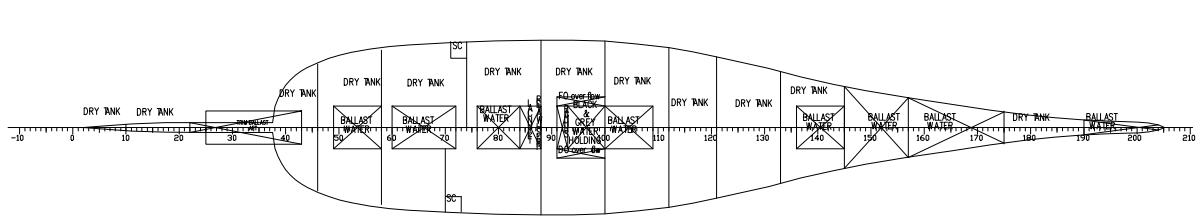
PALUBA 2 18000mm od BL



PALUBA 1 15900mm od BL



POKROV TANKA 12600mm od BL



DVODNO

PALUBA 8 - RASPODJELA OSOBA U NOČNIM UVJETIMA

MFZ-1	KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)	OČEKIVANI BROJ OSOBA U BUEGU
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA		
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA	20 (krevetiće)	13
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		2
MFZ-2	**KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)**	**OČEKIVANI BROJ OSOBA U BUEGU**
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA		
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA	40 (krevetiće)	27
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		
UKUPNI BROJ OSOBA		S1= 42

PALUBA 7 - RASPODJELA OSOBA U NOČNIM UVJETIMA

MFZ-1	KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)	OČEKIVANI BROJ OSOBA U BUEGU
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA	290 (sjedalo)	100
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA		
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		3
MFZ-2	**KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)**	**OČEKIVANI BROJ OSOBA U BUEGU**
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA		
PUTNICI U KABINAMA	37 (krevetiće)	37
POSADA U KABINAMA		
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		
MFZ-3	**KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)**	**OČEKIVANI BROJ OSOBA U BUEGU**
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA	330 (sjedalo)	
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA		
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		
UKUPNI BROJ OSOBA		S1= 140

PALUBA 6 - RASPODJELA OSOBA U NOČNIM UVJETIMA

MFZ-1	KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)	OČEKIVANI BROJ OSOBA U BUEGU
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA	290 (sjedalo)	
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA		
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA	69 (sjedalo)	4
POSADA U SLUŽBI		
MFZ-2	**KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)**	**OČEKIVANI BROJ OSOBA U BUEGU**
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA	275 (sjedalo)	143
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA		
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		4
MFZ-3	**KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)**	**OČEKIVANI BROJ OSOBA U BUEGU**
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA	260 (sjedalo)	220
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA		
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		1
UKUPNI BROJ OSOBA		S1= 372

PALUBA 5 - RASPODJELA OSOBA U NOČNIM UVJETIMA

MFZ-1	KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)	OČEKIVANI BROJ OSOBA U BUEGU
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA	320 (sjedalo)	200
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA		
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		
UKUPNI BROJ OSOBA		S1= 200

PALUBA 4 - RASPODJELA OSOBA U NOČNIM UVJETIMA

MFZ-1	KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)	OČEKIVANI BROJ OSOBA U BUEGU
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA	20 (sjedalo)	
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA		
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		1
UKUPNI BROJ OSOBA		S1= 1

PALUBA 1 - RASPODJELA OSOBA U NOČNIM UVJETIMA

MFZ-1	KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)	OČEKIVANI BROJ OSOBA U BUEGU
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA		
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA		
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		3
UKUPNI BROJ OSOBA		S1= 3

PALUBA 0 - RASPODJELA OSOBA U NOČNIM UVJETIMA

MFZ-1	KAPACITET (broj kreveta u kabinama ili broj sjedala u javnim prostorima)	OČEKIVANI BROJ OSOBA U BUEGU
PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA		
PUTNICI U KABINAMA		
POSADA U KABINAMA		
POSADA U JAVNIM PROSTORIMA		
POSADA U SLUŽBI		2
UKUPNI BROJ OSOBA		S1= 2

- BROJ SOBA
- ŠIRINA STUBIŠTA
- ŠIRINA VRATA
- GLAVNA PROTUPOŽARNA ZONA
- SMJER GLAVNOG BUEGA

RASPODJELA OSOBA U NOČNIM UVJETIMA (prema FSS code-Ch.13)	
SVI PUTNICI U JAVNIM PROSTORIMA I STOLCAMA ZA ODMOR	= 700
1/3 ČLANOVA POSADE U SLUŽBI	= 20
1/3 ČLANOVA POSADE U KABINAMA	= 40
UKUPNI BROJ OSOBA U NOČNIM UVJETIMA	= 760

Rev.			Datum 11.2012.	
FSB ZAGREB	Crtao	Rusković Lana	Mjerilo 1:300	
	Pregledao			
	Odobrio			
Naziv	PRORAČUN BIJEGA SLUČAJ 1 - NOČNI UVJETI		Size A3	Stranica 1/2
			Projekt IMC Ro-Pax Ferry IMC-160	

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION