

Analiza sigurnosti plovidbe u Novom Panamskom kanalu

Velić, Sandro

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zadar / Sveučilište u Zadru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:151660>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-31**



Sveučilište u Zadru
Universitas Studiorum
Jadertina | 1396 | 2002 |

Repository / Repozitorij:

[University of Zadar Institutional Repository](#)

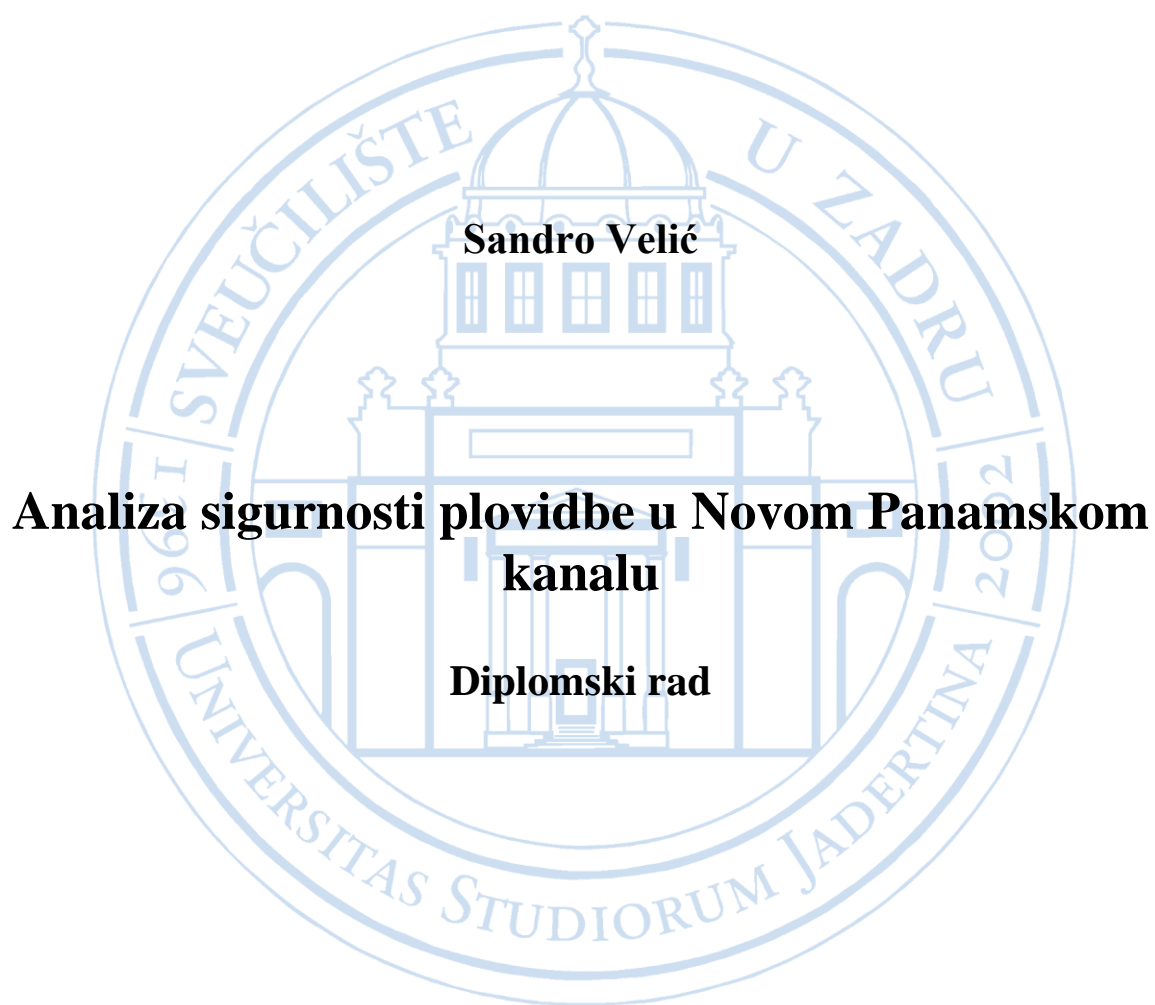


zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Sveučilište u Zadru
Pomorski odjel
Sveučilišni diplomski studij
Organizacija u pomorstvu



Zadar, 2024.

Sveučilište u Zadru
Pomorski odjel
Sveučilišni diplomski studij
Organizacija u pomorstvu

Analiza sigurnosti plovidbe u Novom Panamskom kanalu

Diplomski rad

Student/ica:

Sandro Velić

Mentor/ica:

Izv. prof. dr. sc. Mate Barić

Zadar, 2024.



Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Sandro Velić**, ovime izjavljujem da je moj **diplomski** rad pod naslovom **Analiza sigurnosti plovidbe u Novom Panamskom kanalu** rezultat mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mogega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mogega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, 2024.

Sadržaj

Sadržaj.....	iv
Uvod.....	6
1. Ciljevi i svrha rada	7
2. Panamski kanal.....	8
2.1.1. Geografske značajke	8
2.1.2. Hidrometeorološka obilježja	8
2.1.3. Hidrologija	9
2.1.4. Povijest Panamskog kanala	11
2.1.5. Koncept Panamskog Kanala.....	11
2.1.6. Izgradnja sustava ustava.....	12
2.1.7. Sustav ustava u kanalu	13
2.1.8. Naplavljivanje komora ustava vodom.....	13
2.1.9. PANAMAX i NEOPANAMAX brodovi.....	14
3. Podaci i analiza plovnih putova i infrastrukture Panamskog kanala.....	16
3.1. Geometrijski podaci o Culebra usjeku:	16
3.2. Analiza Panamskog kanala.....	16
3.3. Način provedbe analize	17
3.3.1. Izračun sigurnog dvosmjernog puta kroz Culebra usjek	17
3.3.2. Drugi izračun širine plovnog puta po PIANC smjernicama	22
3.3.3. Usporedba različitih dijelova Panamskog kanala s PIANC smjernicama.....	25
3.3.4. PIANC smjernice za Panamax brodove	26
4. Problem s ograničenjem gaza.....	27
4.1.1. Primjeri transfera Neopanamax brodova u vrijeme ograničenog gaza	27
4.1.2. Primjer EVER MAX	27
4.1.3. Primjer MSC MARIE.....	28

4.1.4.	Usporedba primjera transfera	28
4.1.5.	Utjecaji klimatskih promjena	30
4.1.6.	Suše	30
4.1.7.	Razine vode u Panamskom kanalu	32
4.1.8.	Evaporacija.....	35
4.2.	Utjecaj klimatskih promjena na broj slotova i ograničenje gaza.....	36
4.2.1.	Utjecaj ograničenja gaza i broja slotova na sigurnost plovidbe u panamskom kanalu	37
4.2.2.	Smanjenje Tereta za Različite Tipove Brodova	38
Zaključak	.....	40
Sažetak	.....	42
LITERATURA	.....	43
POPIS SLIKA	.....	45
POPIS TABLICA	.....	46

Uvod

Panamski kanal, smješten u najužem dijelu Srednje Amerike, predstavlja jedan od najvažnijih plovnih puteva koji spaja Atlantski i Tihi ocean. S obzirom na njegovu ključnu ulogu u globalnoj trgovini, od iznimne je važnosti osigurati siguran prolaz brodova kroz ovaj kompleksan infrastrukturni sustav, posebice s obzirom na sve veće dimenzije modernih brodova.

Posljednjih godina, Panamski kanal suočava se s dodatnim izazovima zbog učestalih suša, koje su direktna posljedica klimatskih promjena. Suše uzrokuju pad razine vode u ključnim rezervoarima poput jezera Gatun, koje je ključno za funkcioniranje kanala, jer opskrbljuje sustav ustava potrebnom vodom za podizanje i spuštanje brodova. Suša iz 2019. godine, jedna od najtežih u povijesti kanala, uzrokovala je smanjenje razine vode u jezeru Gatun, što je prisililo upravu kanala da uvede ograničenja gaza za brodove. Slične probleme izazvala je suša 2023. godine, koja je ponovno dovela do smanjenja maksimalne dozvoljene dubine brodova, uzrokujući kašnjenja i smanjenje kapaciteta tereta brodova koji prolaze kroz kanal.

Najnoviji primjeri poput tranzita broda "Ever Max" 2023. godine, kada je zbog niske razine vode brod morao smanjiti svoj teret za više od 1.400 TEU kontejnera, ilustriraju kako sušne sezone mogu imati ozbiljne posljedice na globalnu logistiku i sigurnost plovidbe. S druge strane, brod "MSC Marie", koji je 2024. godine prošao kroz kanal s manjim ograničenjima gaza, također je ukazao na fluktuacije u operativnim uvjetima kanala, koje ovise o intenzitetu sušnih perioda.

Cilj ovog rada je analiza sigurnosti plovidbe kroz Panamski kanal s fokusom na novi dio kanala, koristeći smjernice PIANC-a, međunarodne organizacije koja pruža tehničke savjete u vezi s unutrašnjim plovnim putevima, lukama i obalnim infrastrukturnim objektima. Kroz detaljnu analizu geometrijskih karakteristika plovnog puta, hidrometeoroloških uvjeta i operativnih ograničenja, rad će identificirati potencijalne sigurnosne rizike i predložiti mjere za povećanje učinkovitosti i sigurnosti plovidbe. Poseban fokus stavljen je na sve učestalije sušne periode i njihovu ulogu u smanjenju gaza brodova, što predstavlja ozbiljan izazov za sigurnost i učinkovitost tranzita kroz kanal.

1. Ciljevi i svrha rada

Svrha ovog rada je analizirati sigurnost plovidbe u novom Panamskom kanalu. U analizi ovog plovnog puta koristit ćemo smjernice PIANC-a, međunarodne organizacije koja se bavi pitanjima vezanim za vodene puteve, luke i navigaciju. Cilj PIANC-a je pružiti tehničke smjernice, savjete i najbolje prakse vezane za dizajn, izgradnju, održavanje i upravljanje unutrašnjim plovnim putevima, kao i obalnim i pomorskim infrastrukturnim objektima.

Uz PIANC-ove smjernice, cilj je utvrditi kriterije za siguran prolaz broda kroz kanal, uključujući širinu plovnog puta, širinu plovila, plovne karakteristike, uvjete plovnog puta i sigurnosne margine. Ove elemente ćemo analizirati kako bismo izračunali ukupnu potrebnu širinu za dvosmjerni prolaz kroz najdelikatnije dijelove kanala.

Također ćemo usporediti različite dijelove kanala uspoređujući izračune širine jedne sekcije s ostalim dijelovima plovnog puta. Analiza će biti proširena promatranjem brodova različitih klasa i vrsta, s posebnim naglaskom na česta ograničenja maksimalnog gaza zbog sušnih razdoblja.

Na temelju analize, identificirat ćemo moguće sigurnosne rizike i predložiti preporuke za dodatne sigurnosne mjere kada stvarna širina plovnog puta ne zadovoljava potrebne sigurnosne zahtjeve. Time ćemo doprinijeti povećanju učinkovitosti i sigurnosti u upravljanju prometom kroz Panamski kanal.

2. Panamski kanal

2.1.1. Geografske značajke

Panamski kanal je umjetni kanal u najužem dijelu Srednje Amerike koji spaja Atlantski ocean (Karipsko more) s Tihim oceanom (Panamski zaljev). Dugačak je 81,6 km. Na najužem mjestu je širok 91,5 m, a na najširem 350 m.



Slika 1 Zemljopisna karta Panamskog kanala

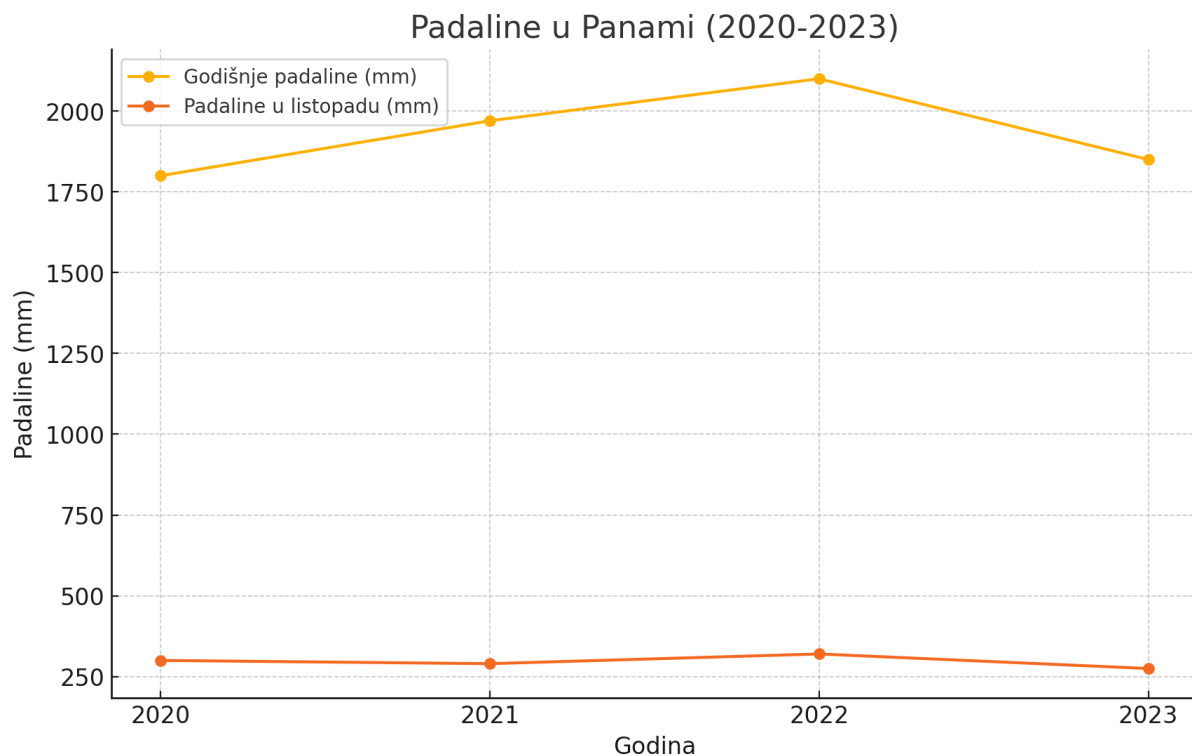
Izvor: Wikimedia Commons (n.d.). Panama map-hr.png. Preuzeto s:

https://hr.wikipedia.org/wiki/Panamski_kanal#/media/Datoteka.png (pristupljeno 20. srpnja 2024.).

2.1.2. Hidrometeorološka obilježja

Panamu obilježava tropska klima te je odlikuju kratka sušna i duga kišna razdoblja. Svojem geografskim položajem se nalazi izvan zone uragana, zahvaljujući čemu ne doživljava značajne elementarne katastrofe prouzrokovane vremenskim nepogodama. Panama ima dvije glavne sezone, kišnu i sušnu. Kišna sezona traje od svibnja do studenog, a sušna od prosinca do travnja. Padaline variraju od regije te se kreću od 1500 mm godišnje do 3000 mm, te su najintenzivnije tokom kišne sezone, s vrhuncem u listopadu. (Gordon, B i sur., 2024) Na temelju dostupnih podataka, prosječne vrijednosti padalina za posljednje četiri godine prikazane na slici 2 pokazuju značajne sezonske varijacije. U 2020. godini, prosječna količina padalina iznosila je oko 1800 mm, s najvišim vrhuncem u listopadu kada je zabilježeno približno 300 mm kiše. Godina 2021. zabilježila je ukupno 1970 mm padalina, a također je listopad bio najvlažniji

mjesec s 290 mm padalina. U 2022. godini, prosječne padaline su porasle na 2100 mm, s intenzivnim oborinama u listopadu, dosegnuvši 320 mm. Međutim, 2023. godina je zbog suše zabilježila smanjenje ukupnih padalina na 1850 mm, s vrhuncem u listopadu, kada je palo 275 mm kiše. Ovi podaci pokazuju kako je listopad bio najkišovitiji mjesec svake godine, dok ukupna godišnja količina padalina varira ovisno o klimatskim uvjetima, poput sušnih razdoblja.



Slika 2 Padaline u Panami (2020-2023)

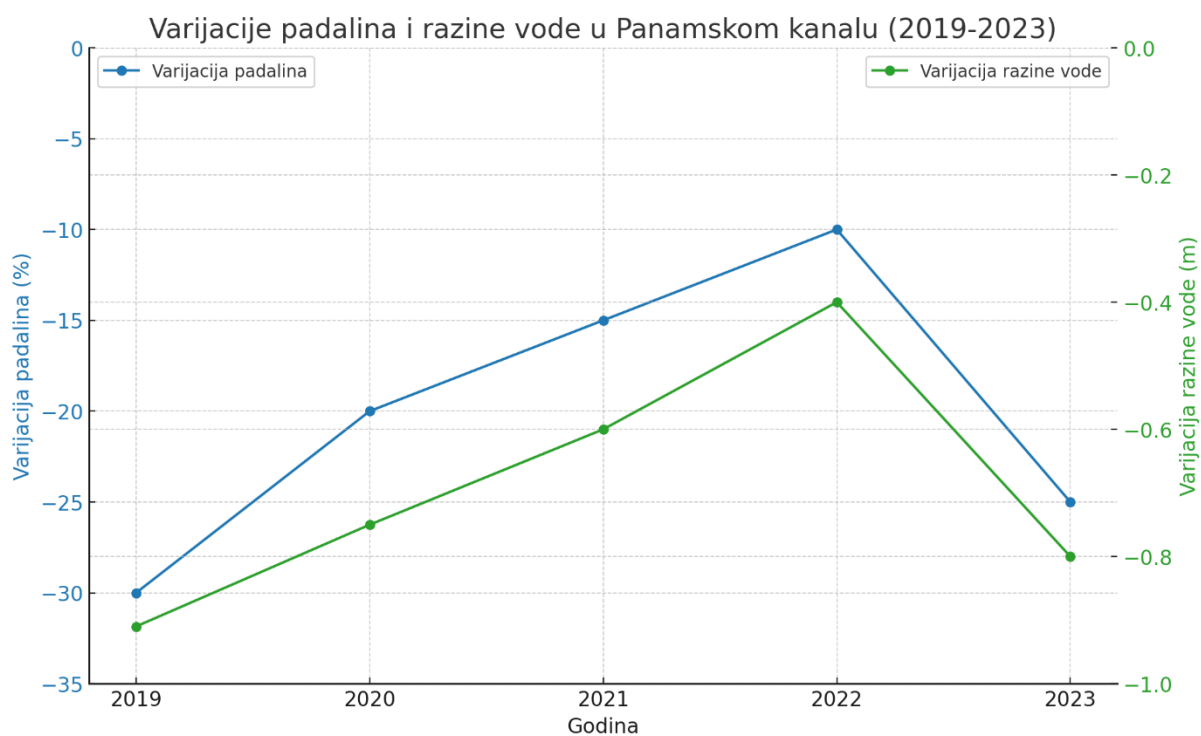
Warden, S. (2023) 'Problemi Panamskog kanala pokazuju trošak ekstremnih vremenskih uvjeta', *Czapp*, 30 svibnja. Dostupno na: <https://www.czapp.com/analyst-insights/panama-canal-issues-show-cost-of-extreme-weather/> (Pristupljeno: 17 svibnja 2024.).

2.1.3. Hidrologija

Panama ima brojne rijeke koje teku iz centralnog planinskog lanca prema Karipskom moru i Pacifiku. Najznačajnija rijeka je Chagres, koja je ključna za panamski kanal.

Ključni hidrografski objekt, koji povezuje Atlantski i Tihi ocean je panamski kanal. Glavnina prometa kanalom se odvija jezerima Gatun i Miraflores. Kanal je osjetljiv na promjene u hidrometeorološkim uvjetima, posebno na razinu padalina koji utječu na opskrbu vodom za sustav ustava. U posljednje četiri godine (2019.-2023.), razina vode u panamskom kanalu znatno je varirala uslijed klimatskih promjena i utjecaja meteoroloških fenomena poput el nino i la nina. Tijekom 2019. godine, zbog velike suše, razina vode pala je do 0,91 metar ispod

prosječne razine, što je stvorilo velike izazove za plovidbu. Iako su se u 2020. i 2021. godini pojavili znakovi oporavka, razina vode nastavila je oscilirati između 0,6 i 0,9 metara ispod prosjeka. Oporavak je bio umjeren, ali sušni uvjeti i dalje su ometali stabilnost razina vode. Godina 2022. donijela je manji oporavak, iako je razina vode i dalje bila niža od prosjeka, varirajući između 0,3 i 0,6 metara ispod uobičajene razine. Međutim, nastavak sušnih uvjeta u 2023. godini ponovno je uzrokovao pad razine vode za 0,6 do 0,9 metara, što je prisililo upravu kanala da uvede dodatna ograničenja za brodove kako bi se prilagodili smanjenim resursima vode. Ove varijacije razine vode tijekom posljednjih nekoliko godina značajno su utjecale na funkcioniranje panamskog kanala, stvarajući potrebu za prilagodbama u plovidbi i kapacitetu brodova. Slika 4 prikazuje graf varijacije između padalina i razina vode u panamskom kanalu. Plava linija predstavlja postotno smanjenje padalina u odnosu na prosjek, dok zelena linija prikazuje varijacije razine vode u jezeru Gatun u metrima. Jasno je vidljivo kako smanjenje padalina tijekom sušnih godina, poput 2019. i 2023., korelira s padom razine vode. Smanjenje padalina za 30% u 2019. godini uzrokovalo je pad razine vode za gotovo 0,91 metar, dok je oporavak padalina u 2021. i 2022. godini donio manji pad razine vode.



Slika 3 Varijacije padalina i razine vode u Panamskom kanalu

Izvor: Panama Canal Authority (2024) *Panama Canal water levels*. Available at:

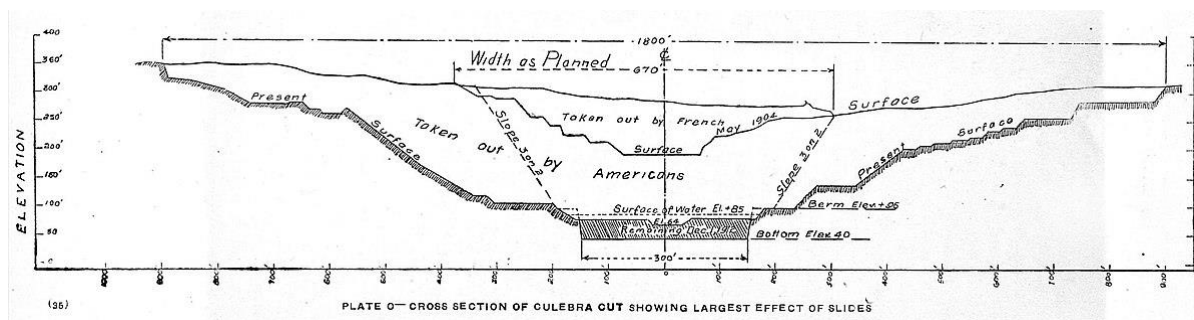
<https://evtms-rpts.pancanal.com/eng/h2o/index.html> (pristupljeno: 17. svibnja 2024).

2.1.4. Povijest Panamskog kanala

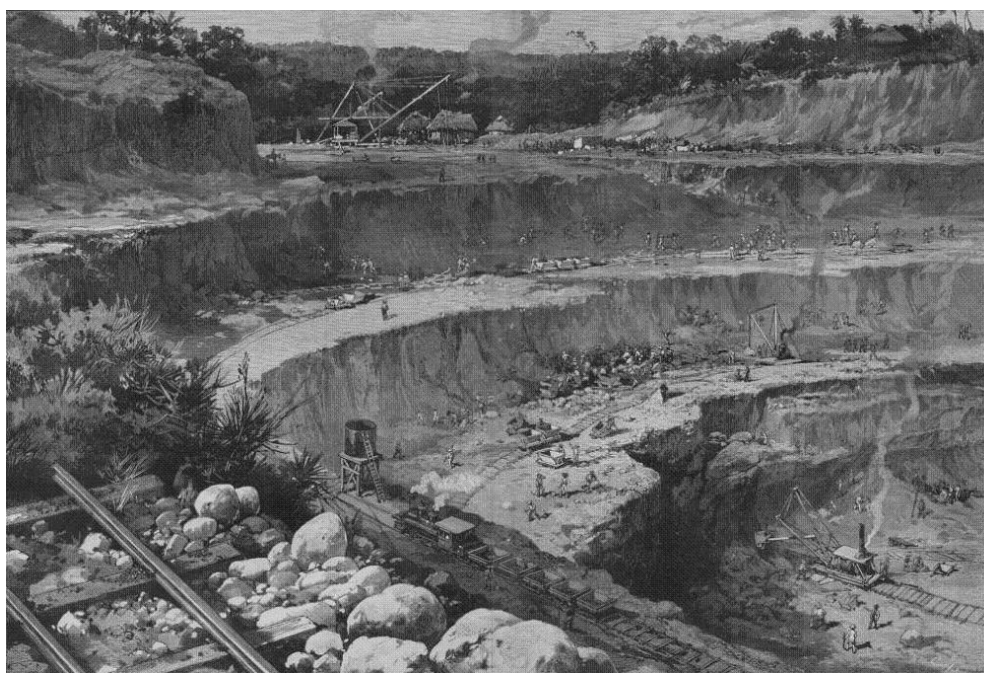
Prethodno izgradnji panamskog kanala plovidba se vršila putovanjem oko Južne Amerike putem okružujući rt Horn. Konstrukcija kanala je bio jedan od najvećih i najtežih inženjerskih projekata ikad poduzetih. Imao je ogroman utjecaj na brodarstvo između dva oceana, zamjenjujući dug i opasan put kroz Drakeov prolaz i rt Horn na najjužnijem vrhu Južne Amerike. Brod iz San Francisca za New York kroz kanal putuje 9.500 km (5.200 milja) što je bitno manje od 22.500 km (12.000 milja) rute oko rta Horn. Iako koncept kanala blizu Paname seže natrag do ranog 16. stoljeća, prvi pokušaj konstruiranja kanala započeo je 1880. godine pod francuskim vodstvom. Nakon što je pokušaj propao i nakon što je umrlo oko 22.000 radnika, projekt izgradnje kanala su pokušale i uspješno završile Sjedinjene Američke Države u Panami početkom 1900-ih, a kanal je otvoren 15. kolovoza 1914. (Wikipedia 2024) Otvorenje je trebala biti grandiozna svečanost. Međutim, dva tjedna prije počeo je Prvi svjetski rat u Europi, pa su sve oči bile uprte u ratna zbivanja. Stoga je svečanost morala biti skromnija od planirane. Prvi brod koji je svečano prošao kanalom bio je parobrod SS Ancon, dugačak 149,2 metra. Njime je upravljao prvi kanalski pilot kapetan John A. Constantine. Gradnja tog kanala bila je daleko najveći američki inženjerski pothvat do tog vremena i danas se smatra jednim od svjetskih čuda industrijskog doba, čemu pridodaje činjenica da je za vrijeme najvećih radova iskopavano je oko 2.300.000 kubnih metara zemlje na mjesec, što bi bilo ekvivalentno iskopavanju cijelog tunela ispod La Manchea u tri i pol mjeseca. Pri gradnji kanala sagrađena je i najveća do tada brana na svijetu. (Horvatić 2017)

2.1.5. Koncept Panamskog Kanala

Kao umjetno stvoren tjesnac, s ciljem da skрати plovidbu između atlantskog i tihog oceana, panamski kanal je prvotno zamišljen kao prokop, međutim realizacija nije bila moguća zbog količine tla kojeg je trebalo izmjestiti. Mnogobrojne smrti radnika prilikom francuskog dijela izgradnje, došlo se do razumijevanja da bi izvršenje prokopa do razine mora bio Sizifov posao, uz financijsku aferu oko financiranja francuskog projekta, SAD otkupljuje prava. Otkupom prava na kanal od francuza Sjedinjene Američke države kao idejno rješenje nude proširiti francuske iskope i ne ići u dubinu, a razinu nadmorske visine kontrolirati sustavom ustava.



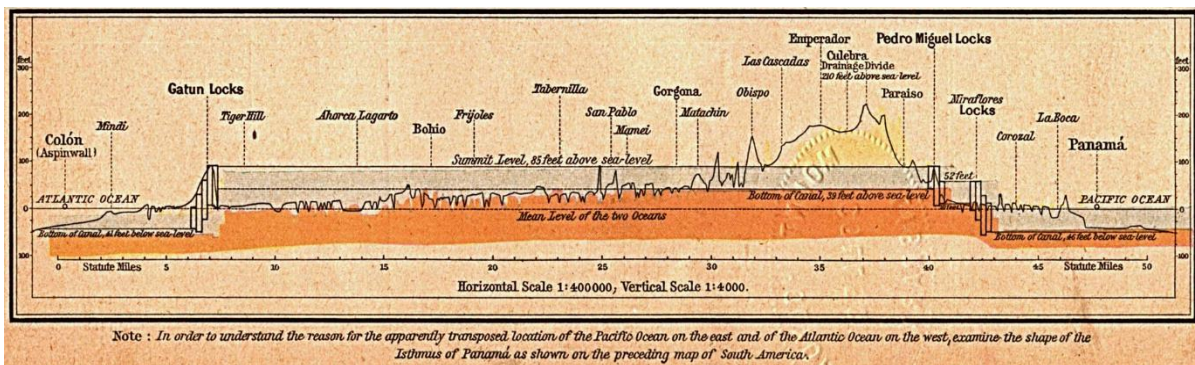
Slika 4 Presjek "Culebra cut" sa označenim dijelom Francuskog/Američkog dijela iskopa
 Izvor: **Wikipedia (n.d.)**. Cross section of Culebra Cut showing largest effect of slides, PC Hbk 1913 O.agr.
 Preuzeto s: https://en.wikipedia.org/wiki/File:PC_Hbk_1913_O.agr.jpg (pristupljeno [20. srpnja 2024.]).



Slika 5 Culebra Cut 1885
 Izvor: Grbić, T. (2018). 'Uštede u brodarstvu otvaranjem novog Panamskog kanala', Završni rad, Sveučilište u Zadru

2.1.6. Izgradnja sustava ustava

Gradnja sustava ustava zbog kojih se danas odvija plovidba Panamskim kanalom je započela na Gatunskom jezeru u kolovozu 1909. Izgrađene u paru, svaka komora ustava je dugačka 304,80 m a široka 33,50 m. U brane su ugrađeni propusti za vodu koji koriste gravitaciju za podizanje i spuštanje razine vode u brani. Konačno, sustav od sklopa tri brane zajedno sa sustavom plovidbe u kanalu podiže brod do 25m iznad morske razine do umjetnog Gatunskog jezera u sredini. Plutajuća šuplja vrata brane imaju mogućnost variranja razine vode od 14 do 25m. Ovo cijelo postrojenje se pokreće električnom energijom.(Fanni 2016)



Slika 6 Elevacija Panamskog kanala naspram Atlantika lijevo i Tihog oceana desno
 Izvor: **Wikimedia Commons (n.d.). Panama Canal Shepherd Elevation. Preuzeto s:**
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Panama-canal-shepherd-elevation.png> (pristupljeno
 20. srpnja 2024).

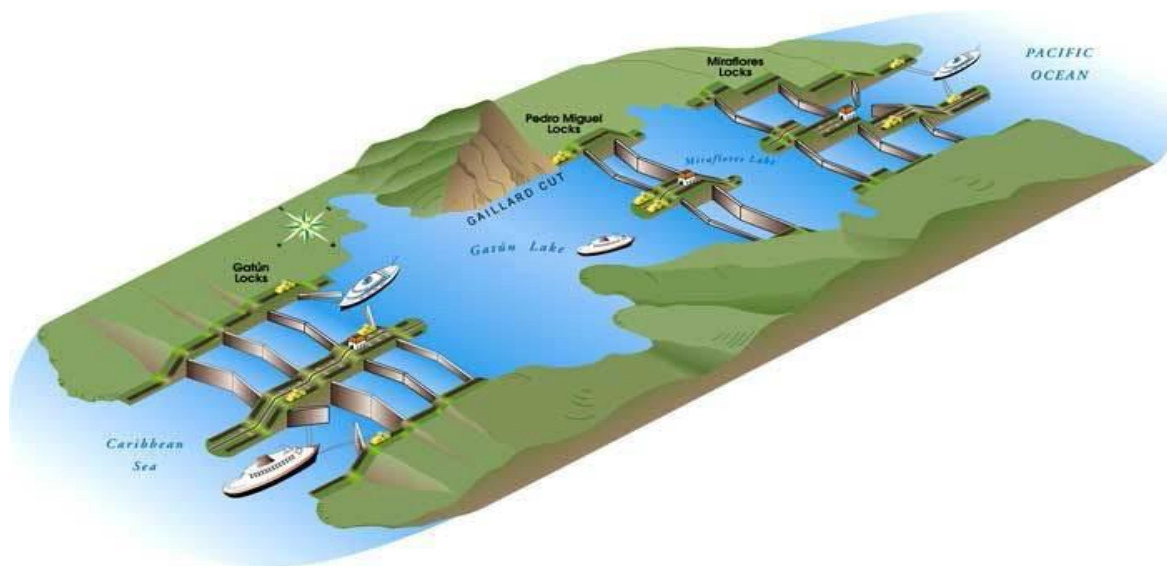
2.1.7. Sustav ustava u kanalu

Bez obzira na smjer ulaska u Panamski kanal, brod će se podignuti prilikom ulaska i spuštati, prilikom izlaska. Ta razlika od 26 m se savladava takozvanim ustavama. Ustave su „bazeni“ posloženi u kaskadno između kojih se nalaze vrata između dvije komore, koja se otvaraju ili zatvaraju kad se postigne željena razina vode u ustavi. Novi dijelovi kanala uvode dvije nove ustave uz već 3 postojeća sustava ustava.

2.1.8. Naplavljivanje komora ustava vodom

Naplavljivanje se ne vrši pumpama već se koristeći gravitacijske sile voda dovodi i odvodi iz umjetnih jezera. Voda kroz cijevi otiče u ustave sredinom ustave i zidovima ustava kroz propuste i cijevi koji se u ustavi nalaze. Brod se kroz tri uzastopne ustave u sustavu ustava Gatun podiže na razinu jezera Gatun. Zatim se ustavom Pedro Miguel brod spušta na razinu umjetnog jezera Miraflores, nakon kojeg se napokon spušta na razinu Tihog oceana pomoću dvije Miraflores ustave. Stari sustav ustava je izgrađen u paru, gdje postoje po dvije brane jedna do druge koje omogućavaju neovisan promet u oba smjera. Nove ustave nisu građene u paru već su jednosmjerna. Puštanjem novih ustava u promet započinje nova era putovanja panamskim kanalom te donosi veće dimenzije brodova „NEOPANAMAX“.

U 2022. godini, ukupna potrošnja vode iznosila je 6.079 hm³ (kubnih kilometara), od čega je 57,9% korišteno za tranzit brodova, dok je 9% namijenjeno za pitku vodu.



Slika 7 Profil sustava ustava Panamskog kanala

Izvor: Fanni, P. (2016.) Novi Panamski kanal - tehničko prometne novine i korist za pomorski promet. Završni rad, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet.

2.1.9. PANAMAX i NEOPANAMAX brodovi

Panamski kanal određen svojim gabaritima i strogim pravilima za ostvarenje prava plovidbe kanalom je nametnuo i standard brodogradnji. Godinama su brodovi koji udovoljavaju kanalu u granicama gabarita nazivani „PANAMAX“, a novim panamskim kanalom definicija broda koji je u skladu s ograničenjima je „NEOPANAMAX“.

Kao općeprihvaćena duljina „NEOPANAMAX“ brodova se uzima duljina od 366 metara. Međutim maksimalna definirana veličina je veća, takvi brodovi čije dimenzije dosežu maksimalne vrijednosti „NEOPANAMAX“ klase moraju udovoljavati dodatnim zahtjevima. Iz objave Panamskih vlasti o proširenju kanala navode se i dodatni uvjeti za brodove maksimalnih dimenzija. „Povećanje maksimalne ukupne duljine za Neopanamax ustave:

Od svibnja 2021., maksimalna ukupna duljina za komercijalne i nekomercijalne brodove koji redovito prolaze kroz Neopanamax ustave povećana je na 370,33 metra (1215 stopa). Ovi brodovi će morati ispunjavati sljedeće uvjete:

(a) Brodovi s maksimalnom ukupnom duljinom koja prelazi 367,28 metara (1205 stopa) moraju biti opremljeni potpuno operativnim pramčanim propelerom tijekom prolaza. U suprotnom, može im se dodijeliti dodatni resursi na trošak broda i mogu doživjeti kašnjenja u prolazu.

(b) Brodovi s maksimalnom ukupnom duljinom koja prelazi 367,28 metara (1205 stopa) bit će dodijeljeni dodatni remorker za pomoć prilikom prilaza u Agua Clara ustave iz Gatun jezera (sjeverni smjer). Ova pomoć remorkera naplaćivat će se uz standardnu tarifu za remorkere primjenjivu na brod.“ (Autoridad del Canal de Panamá 2021)

„PANAMAX“ brodovi su izvorno projektirani kako bi mogli proći kroz stare komore Panamskog kanala, dok su „NEOPANAMAX“ brodovi veći i prilagođeni novim, proširenim ustavama kanala koje su otvorene 2016. godine. „PANAMAX“ brodovi imaju duljinu od 294,1 metara, širinu od 32,21 metar te gaz od 12,56 metara. S druge strane, „NEOPANAMAX“ brodovi, koji su prilagođeni novom proširenju kanala, imaju duljinu do 366 (ponekad i do 370) metara, širinu od 49 metara te gaz od 15,2 metra. Značajno veće dimenzije „NEOPANAMAX“ brodova, posebno u duljini i širini, omogućuju im prijevoz znatno većih količina tereta, ali zahtijevaju šire i dublje plovne puteve. Razlike u gasu između „PANAMAX“ (12,56 m) i „NEOPANAMAX“ (15,2 m) brodova impliciraju različite zahtjeve za infrastrukturne kapacitete Panamskog kanala, a posebno utječu na sigurnost i učinkovitost plovidbe kroz njegove različite dijelove.

Povećanjem dimenzija brodova koji mogu koristiti kanal, sustav ustava koji počiva na korištenju pitke vode za podizanje i spuštanje brodova bi povećao utrošak pitke vode. Pod potrošnju vode se smatra voda koja uporabom završava u moru. Redizajnom napajanja ustava vodom, potrošnja pitke vode je smanjena za 60%.

3. Podaci i analiza plovnih putova i infrastrukture Panamskog kanala

Culebra usjek (poznat i kao Gaillard Cut) ključni je dio Panamskog kanala, koji prolazi kroz planinski lanac Culebra i povezuje Gatunsko jezero s Pedro Miguel bravana. Ovaj usjek je jedno od najsloženijih inženjerskih poduhvata u izgradnji Panamskog kanala zbog teškog terena i potreba za čestim održavanjem zbog klizišta i drugih geoloških izazova.

3.1. Geometrijski podaci o Culebra usjeku:

Usjek je proširen kako bi omogućio prolazak većih brodova, s prosječnom širinom od 192 metra na ravnim dijelovima, a do 222 metra na zavojitim dijelovima. Ova proširenja su omogućila paralelni prolazak dva Panamax broda.

Dubina usjeka varira, a najnovije proširenje i održavanje osiguravaju prosječnu dubinu od oko 16 metara kako bi se osigurao siguran prolazak modernih brodova.

Dužina Culebra usjeka iznosi približno 12,6 kilometara. Ovaj usjek prolazi kroz navigacijski najteži dio kanala, uključujući prijelaz preko kontinentalnog razdjelnika.

Bokovi usjeka imaju strme nagibe, a njihov kut varira ovisno o geološkim uvjetima. Zbog sklonosti klizištima, bokovi se često moraju stabilizirati, a usjek proširiti i produbiti kako bi se održala sigurnost i operativnost kanala.

Zbog geoloških izazova, usjek se kontinuirano održava i periodički proširuje. Najnovija značajna proširenja bila su dio novih (neo) Panamax proširenja (Panama Canal Expansion Project), koje je završeno 2016. godine, omogućujući većim brodovima da prolaze kroz usjek.

3.2. Analiza Panamskog kanala

U našoj analizi ćemo se koristiti PIANC smjernicama. PIANC (The World Association for Waterborne Transport Infrastructure) je međunarodna organizacija koja pruža stručne smjernice, preporuke i najbolje prakse za razvoj vodenog transporta. Smjernice obuhvaćaju ključne infrastrukturne projekte poput Panamskog kanala. Jedan od ključnih tehničkih priručnika PIANC-a je PIANC Report No. 121: Harbour Approach Channels Design Guidelines (2014), koji donosi preporuke važne za infrastrukturu poput Panamskog kanala. Dokument detaljno opisuje geometriju kanala, uključujući širinu, dubinu i zakrivljenost, uzimajući u obzir različite tipove plovila, njihove dimenzije, gaz i manevarske sposobnosti. Smjernice također razmatraju utjecaje poput struja i vremenskih uvjeta te preporučuju

minimalne dimenzije kanala uz korištenje simulacija plovidbe, što je ključno za sigurnu i efikasnu plovidbu.

Prema podacima navedenim u prethodnim dijelovima rada u kojima su geografski, hidrografski, meteorološki, geometrijski i tehnički podaci o kanalu i brodovima koji prometuju kanalom ćemo napraviti analizu kanala. Analiza će se napraviti na takav način da vrijednosti, ukoliko se mogu kvantificirati, usporedimo sa smjernicama PIANC-a. Smjernice PIANC-a su detaljne smjernice i formule za izračunavanje sigurnih prolaza kroz plovne putove, koje će se koristiti kao primarni standard za procjenu sigurnosti plovidbe. No kako postoje i ograničenja od Panamske uprave kanala (PCA) dodatne upute i ograničenja specifična za Panamski kanal, kao što su sezonska ograničenja gaza i sigurnosni zahtjevi, potrebno ih je posebno promotriti. Od navedenih podataka krenuti ćemo s analizom geometrijskih karakteristika Culebra usjeka. Tu će se podatci prikupljeni iz službenih izvora i tehničkih dokumenata Panamske uprave kanala o širini, dubini i drugim karakteristikama obraditi kako bi utvrdili da li su u skladu s PIANC smjernicama za dvosmjerni promet. Analiza će obuhvatiti izračun ukupne potrebne širine za Panamax i Neopanamax brodove.

U obradi podataka idući korak je analiza stvarnih širina plovnog puta u Culebra usjeku i drugim sekcijama kanala, nakon čega slijedi identifikacija odstupanja u dimenzijama za sigurno prometovanje te će se posebno naglasiti identifikacija sigurnosnih rizika s obzirom na utjecaj faktora poput sušnih perioda, smanjenog gaza i drugih hidrografskih uvjeta.

Na temelju rezultata analize, izradit će se preporuke za dodatne operativne mjere koje bi mogle uključivati smanjenje brzine ili privremeno zatvaranje za dvosmjerni promet.

3.3. Način provedbe analize

Analiza će se provesti prateći PIANC smjernice. PIANC (Permanent International Association of Navigation Congresses) pruža smjernice za izračun sigurnih prolaza kroz plovne putove, uključujući uske prolaze poput Culebra usjeka u Panamskom kanalu

3.3.1. Izračun sigurnog dvosmjernog puta kroz Culebra usjek

Nakon prikupljanja podataka o dimenzijama i manevrirajućim karakteristikama plovila koja će koristiti dvosmjerni plovni put odrediti će se najveća dimenzija plovila u odnosu na širinu plovnog puta u prolazu. U analizi najveća pozornost će se obratiti na dvije ranije spomenute klase brodova koje se razlikuju svojom veličinom i definirane su starim i novim dimenzijama ustava kanala.

Ukupna potrebne širine ravnog dijela plovnog puta po PIANC smjericama računa se koristeći izraz(Barić, 2017):

$$W = W_{BM} + \sum W_i + W_{BR} + W_{BG} \quad [1]$$

Gdje su:

W_{BM} -osnovna širina plovnog puta(m)

W_i -dodatna širina plovnog puta uslijed utjecaja vanjskih sila(m)

W_{BR} (W_{BG}) - dodatna udaljenost zbog sila međudjelovanja broda i obale(lijevo i desno)(m).

UKUPNA ŠIRINA RAVNOG DIJELA PLOVNOG PUTA

W_{BM} -Osnovna širina plovnog puta određuje se na temelju manevarskih karakteristika broda Osnovna širina plovidbene trake broda određuje se na temelju manevarskih karakteristika broda, a sama ocjena tih karakteristika nije objektivna već je podložna mišljenju korisnika. Vrijednost iz tablice 1 pomnoži se s vrijednosti širine referentnog broda.

Tablica 1 Manevarske karakteristike broda

Manevrabilnost broda	Dobre	Umjerene	Slabe
Osnovna plovidbena traka, W_{BM}	1,3 B	1,5 B	1,8 B

(Izvor: PIANC (2014) *Harbour approach channels design guidelines*, Report No. 121-2014.)

Dodatna širina plovnog puta uslijed utjecaja vanjskih sila(W_i), gdje su vanjske sile funkcija brzine broda, vjetera, struje, valova, opreme za pomoć pri navigaciji, tipa morskog dna i odnosa dubine plovnog puta i gaza broda, određuje se na temelju podataka iz tablice 2.

Tablica 2 Utjecaj vanjskih sila na brod

Širina, W_i	Brzina broda	Vanjski plovni put		Unutarnji plovni put	
Brzina broda u čvorovima (kroz vodu) $V_{\text{čv}} \geq 12$ čv $8 \text{ čv} \leq V_{\text{čv}} < 12$ čv $5 \text{ čv} \leq V_{\text{čv}} < 8$ čv	Velika Umjerena Mala			0,1 B 0,0 0,0	
Prevladavajući bočni vjetar V_{vj} (čvorovi) Slabi $V_{\text{vj}} < 15$ čv ($< 4 Bf$) Umjereni $15 \text{ čv} \leq V_{\text{vj}} < 33$ čv (od 4 do 7 Bf) Jaki $33 \text{ čv} \leq V_{\text{vj}} < 48$ čv (od 7 do 9 Bf)	Velika Umjerena Mala Velika Umjerena Mala Velika Umjerena Mala			0,1 B 0,2 B 0,3 B 0,3 B 0,4 B 0,6 B 0,5 B 0,7 B 1,1 B	
Prevladavajuća poprečna morska struja V_{strj} (čvorovi) Zanemariva $V_{\text{strj}} < 0,2$ čv Slaba $0,2 \text{ čv} \leq V_{\text{strj}} < 0,5$ čv Umjerena $0,5 \text{ čv} \leq V_{\text{strj}} < 1,5$ čv Jaka $1,5 \text{ čv} \leq V_{\text{strj}} < 2,0$ čv	Sve Velika Umjerena Mala Velika Umjerena Mala Velika Umjerena Mala	0,0 0,2 B 0,25B 0,3 B 0,5 B 0,7 B 1,0 B 1,0 B 1,2 B 1,6 B		0,0 0,1 B 0,2 B 0,3 B 0,4 B 0,6 B 0,8 B - - -	
Prevladavajuća uzdužna morska struja V_{strj} (čvorovi) Slaba $V_{\text{strj}} < 1,5$ čv Umjerena $1,5 \text{ čv} \leq V_{\text{strj}} < 3,0$ čv Jaka $V_{\text{strj}} \geq 3,0$ čv	Sve Velika Umjerena Mala Velika Umjerena Mala			0,0 0,0 0,1 B 0,2 B 0,1 B 0,2 B 0,4 B	
Visina valova s boka i u krmu H_s (m) $H_s \leq 1,0$ m $1 \text{ m} < H_s < 3$ m $H_s \geq 3$ m	Sve Sve Sve	0,0 $\approx 0,5$ $\approx 1,0 B$		0,0 - -	
Oprema za pomoć pri navigaciji Odlična Dobra Umjerena				0,0 0,2 B 0,4 B	
Morsko dno Dubina $h \geq 1,5 T$ Dubina $h < 1,5 T$ meko i ravno dno kamenito i neravno dno				0,0 0,1 B 0,2 B	
Dubina plovnog puta		$h \geq 1,50 T$ $1,5 T > h \geq 1,25 T$ $h < 1,25 T$	0,0 0,1 B 0,2 B	$h \geq 1,50 T$ $1,5 T > h \geq 1,15 T$ $h < 1,25 T$	0,0 0,2 B 0,4 B

Izvor: Barić, Mate. (2017). Model određivanja širine ograničenih plovnih putova. Disertacija, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet.

Širinu plovnog puta, prema analiziranoj metodologiji, čini i dodatna širina na lijevoj (W_{BR}) i na desnoj (W_{BG}) strani plovnog puta koju treba uzeti zbog sile međudjelovanja broda i obale.

Dodatna širina se određuje na temelju vrste pokosa plovnog puta i brzine broda, a podatci se nalaze u tablici 3.

Tablica 3 Dodatna širina od ruba plovnog puta (lijevo i desno)

Dodatna širina od ruba plovnog puta (lijevo i desno)	Brzina broda	Vanjski plovni put	Unutarnji plovni put
Blagi pokos ruba plovnog puta	Velika	0,2 B	0,2 B
	Umjerena	0,1 B	0,1 B
	Mala	0,0 B	0,0 B
Umjereni pokos ruba plovnog puta	Velika	0,7 B	0,7 B
	Umjerena	0,5 B	0,5 B
	Mala	0,3 B	0,3 B
Strmi i okomiti rubovi plovnog puta	Velika	1,3 B	1,3 B
	Umjerena	1,0 B	1,0 B
	Mala	0,5 B	0,5 B

Izvor: Barić, Mate. (2017). Model određivanja širine ograničenih plovnih putova. Disertacija, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet.

Kod dvosmjernog plovnog puta potrebno je odrediti širinu između dvije plovne trake. A dodatna širina uslijed interakcije dva broda kod mimoilaženja W_{PA} ($W_{PA} = W_c$ u tablici) određuje se na temelju podataka u tablici 4.

Tablica 4 Dodatna širina uslijed mimoilaženja

Br.	Vrsta broda	Lpp (m)	B (m)	W_c (m)	W_c/B
1	Teretni brod	103.0	20.0	32.6	1.63
2	Mali teretni brod	60.4	11.2	17.6	1.57
3	Kontejnerski brod (POST PANAMAX)	283.8	40.0	105.0	2.63
4	Kontejner (PANAMAX)	273.0	32.2	103.6	3.22
5	Vrlo veliki brod za rasuti teret	279.0	45.0	98.8	2.20
6	Veliki brod za rasuti teret (PANAMAX)	216.0	32.3	79.0	2.45
7	Mali brod za rasuti teret	119.2	21.5	38.2	1.77
8	VLCC (Vrlo veliki brod za naftu)	316.0	60.0	91.0	1.52
9	Mali tanker	92.0	20.0	25.2	1.26
10	Veliki brod za prijevoz automobila	190.0	32.2	64.6	2.01
11	Brod za prijevoz automobila	180.0	32.2	58.4	1.81
12	LNG brod	270.0	44.8	90.7	2.03
13	Hladnjača za teret	144.0	23.5	50.5	2.15
14	Putnički brod (2 osovine, 2 propelera)	160.0	24.7	47.7	1.93
15	Trajekt (2 osovine, 1 propeler)	181.0	29.4	57.1	1.94

Izvor: Barić, Mate. (2017). Model određivanja širine ograničenih plovnih putova. Disertacija, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet.

Slijedom navedenih parametara, u slučaju Culebra usjeka, vrijednosti podataka brodova i plovnog puta će se uvrstiti u izraz [1]. Tako će za osnovnu širinu plovnog puta W_{BM} širina broda

biti uvećana za faktor 1,5, koji predstavlja brodove s umjerenim manevarskim karakteristikama. To je iz razloga što je promet kroz kanal raznolik u odnosu na tip brodova, pa se kao srednja vrijednost može uzeti umjereni manevarski karakteristika broda. Za dodatnu širinu plovnog puta uslijed utjecaja vanjskih sila (W_i), uvrstiti će se prazan skup, iz razloga što pri umjerenoj brzini (od 8 do 12 čv), usjek se smatra unutarnjim plovnim putom, a zbog oblika usjeka utjecaj bočnog vjetra je zanemariv, bočne morske struje ne postoje, uzdužne morske struje su zanemarive, visina valova s boka i u krmu je nepostojeća, oprema za navigaciju odlična, a dno i dubina plovnog puta su posebno određeni ograničenjima Uprave Panamskog kanala. Dodatna širina puta će biti širina broda uvećana s faktorom 0,5 te pribrojena širini broda za lijevu i desnu stranu puta. Kako se radi o dvosmjernom putu rezultatu će se dodati vrijednost dodatne širine uslijed interakcije dva broda kod mimoilaženja (W_{PA}) iz priložene tablice Tablica 4 Dodatna širina uslijed mimoilaženja.

Navedeni postupak izračuna je sljedeći:

- $W = W_{BM} + \sum W_i + W_{BR} + W_{BG} + W_{PA}$
 $\sum W_i = 0 \quad W_{BR} = 0,5B \quad W_{BG} = 0,5B$
- $W = (B * 1,5) + (0,5B + 0,5B) + W_{PA}$
- $W = (1,5B) + B + W_{PA}$
- $W = 2,5B + W_{PA}$
- $W = 2,5 * 49m + 110$
- $W = 122,5m + 105m$
- $W = 227,5m$

Ovim izračunom dobije se rezultat koji govori da je dvosmjernu plovidbu „NEOPANAMAX“ brodova kroz Panamski kanal je potrebna širina plovnog puta od 227,5 m.. Kako je poznato da je postojeća širina plovnog puta, na različitim dijelovima Culebra usjeka, između 192m i 218m te da brodovi neometano plovo u dvosmjernom režimu, očito je da su u upute PIANC-a implementirane dodatne mjere predostrožnosti kako bi se podigla razina sigurnost plovidbe. Da bi se približili trenutnom stanju, primijenit će se manje rigidan i jednostavniji oblik izračuna PIANC smjernica, pod uvjetom da se ne smanjuje sigurnost plovidbe.

PIANC smjernice predlažu različite sigurnosne margine ovisno o uvjetima plovnog puta, vidljivosti, prisutnosti valova ili struja, i drugim hidrografskim uvjetima. Margine obuhvaćaju minimalne razmake između plovila, razmake od obale, i sigurnosne margine za manevriranje. Izraz koji će se koristiti uključuje širinu oba broda, sigurnosne margine između brodova, i sigurnosne margine od obala. Ako su širine usjeka i potrebne margine za dvosmjerni promet ipak veće od širine samog usjeka, potrebno je primijeniti dodatne mjere, kao što su ograničenje brzine, kontrola jednog prolaza plovila ili čak privremeno zatvaranje za dvosmjerni promet.

3.3.2. Drugi izračun širine plovnog puta po PIANC smjernicama

Za dvosmjerni promet, ukupna potrebna širina bit će zbroj širina plovila s dodanim sigurnosnim marginama. PIANC često koristi sljedeći izraz [2] za procjenu:

$$W = W_1 + W_2 + M$$

Gdje su:

W – ukupna potrebna širina prolaza (m).

W_1 - širina prvog plovila (m).

W_2 - širina drugog plovila (m).

Vrijednost M predstavlja sigurnosnu marginu koja uključuje prostor za manevar, utjecaj vjetra, valova, i druge čimbenike.

Da bi se izračunala sigurna širina dvosmjernog puta za dva „Panamax“ broda kroz Culebra usjek, moramo koristiti specifikacije „Panamax“ broda i primijeniti PIANC smjernice.

Dimenzije „Panamax“ broda su:

- Najveća širina (beam): oko 32.3 metra.
- Dužina: do 294.13 metara (nije relevantna za širinu usjeka).
- Gaz: do 12.04 metara

Primjer izračuna prema PIANC smjernicama uključuje i razmak za sigurno kretanje u dvosmjernom prometu. Tada su potrebni podatci:

1. Širinu oba broda.
2. Sigurnosne margine između brodova.
3. Sigurnosne margine od obala (ako je relevantno).

Izraz za izračun ukupne širine dvosmjernog plovnog puta glasi:

$$W = W_1 + W_2 + M + Ms$$

Gdje su:

- W_1 i W_2 - širine dva Panamax broda (32.3 m svaki) (m).
- M – sigurnosna margina između dva broda. (m).
- M_s - sigurnosne margine s obje strane (od usjeka) (m).

Sigurnosne margine je potrebno procijeniti. U ovom slučaju na temelju dosadašnjih iskustava i prakse, te u tom slučaju preporučene vrijednosti su:

- Sigurnosna margina između brodova (M): Za Panamax brodove, obično se koristi minimalna margina od oko 30-50 metara, ovisno o uvjetima (koristit će se vrijednost od 40 metara kao prosječna vrijednost).
- Sigurnosna margina od obale (M_s): Na svakoj strani u pravilu se dodaje oko 10-15 metara (koristit će se vrijednost od 10 metara).

Primjer izračun tada izgleda:

$$W = W_1 + W_2 + M + M_s$$

$$W = 32.3m + 32.3m + 40m + 10m + 10m$$

$$W = 124.6 \text{ metara}$$

Na temelju primjera [2] ukupna potrebna širina za siguran dvosmjerni prolaz dvaju Panamax brodova kroz Culebra usjek iznosi 124.6 metara.

Širina Culebra usjeka, kreće se između 192 i 218 metara, te značajno nadmašuje izračunatu širinu od 124.6 metara za siguran dvosmjerni prolaz dva Panamax broda. Ta širina omogućava adekvatan prostor za sigurnosne margine između brodova i od usjeka, čak i u uvjetima loše vidljivosti, morskih struja ili vjetra, čime se osigurava siguran prolaz kroz usjek. Dakle, trenutna širina Culebra usjeka je više nego dovoljna za dvosmjerni promet Panamax brodova prema PIANC smjernicama.

Za izračun sigurnog dvosmjernog prolaza „Neopanamax“ brodova kroz Culebra usjek u Panamskom kanalu, potrebno je koristiti specifikacije „Neopanamax“ brodova i primijeniti PIANC smjernice. Tako će izračun po PIANC smjernicama uključivati podatke za Neopanamax brodove.

Dimenzije „Neopanamax“ broda su:

- Najveća širina (beam): oko 49 metara.
- Dužina: do 366 metara (nije relevantna za širinu usjeka).
- Gaz: do 15.2 metara

Kao i u prethodnom primjeru prema PIANC smjernicama, razmak za sigurno kretanje u dvosmjernom prometu mora uključivati:

1. Širinu oba broda.
2. Sigurnosne margine između brodova.
3. Sigurnosne margine od obala (ako je relevantno).

Izraz za izračun ukupne širine dvosmjernog plovnog puta glasi:

$$W = W_1 + W_2 + M + Ms$$

Gdje su:

- W_1 i W_2 - širine dva Neopanamax broda (49 m svaki) (m).
- M – sigurnosna margina između dva broda. (m).
- Ms - sigurnosne margine s obje strane (od usjeka) (m).

Sigurnosne margine je potrebno procijeniti. U ovom slučaju na temelju dosadašnjih iskustava i prakse, te u tom slučaju preporučene vrijednosti su:

- Sigurnosna margina između brodova (M): Za Neopanamax brodove, minimalna margina između brodova bi trebala biti oko 50-60 metara (koristit ćemo 55 metara).
- Sigurnosna margina od obale (Ms): Na svakoj strani obično se dodaje oko 15-20 metara (koristit ćemo 15 metara).

Izračun:

$$\begin{aligned} W &= W_1 + W_2 + M + Ms \\ W &= 49m + 49m + 55m + 15m + 15m \\ W &= 183 \text{ metra} \end{aligned}$$

Kako je izračunata potrebna širina za dvosmjerni prolaz „Neopanamax“ brodova 183 metra, tada dolazimo do zaključka da je širina Culebra usjeka (192 do 218 metara) je dovoljno široka za siguran dvosmjerni prolaz „Neopanamax“ brodova prema PIANC smjernicama. Usjek omogućava prolaz sa zadovoljavajućim sigurnosnim marginama, iako je usjek na užem dijelu (192 metra) blizu minimalne potrebne širine (183 metra).

Ovo sugerira da bi prolaz kroz usjek u nekim uvjetima (loša vidljivost, jaki vjetrovi ili struje) mogao zahtijevati dodatne mjere, poput kontrole prometa ili smanjenja brzine kako bi se osigurala potpuna sigurnost prolaza.

„Panama Canal Authority“ zabranjuje dvosmjernu plovidbu Panamskim kanalom u određenim okolnostima kako bi osigurala sigurnost i efikasnost plovidbe. Ove zabrane se najčešće primjenjuju u užim i kritičnim dijelovima kanala, poput Culebra usjeka kada se procijeni da su

uvjeti previše riskantni za istovremeni prolaz velikih brodova u oba smjera. Zabrane se obično primjenjuju tijekom radova održavanja plovnog puta, u uvjetima smanjene vidljivosti, ili kada su hidrološki uvjeti, poput niskih vodostaja, nepovoljni. Također, u slučaju da se provode testiranja ili eksperimenti s istovremenim prolazima, ACP može ograničiti dvosmjerni promet dok se ne potvrdi sigurnost operacija. (Panama Canal Authority 2024)

3.3.3. Usporedba različitih dijelova Panamskog kanala s PIANC smjernicama

Kao što je ranije napisano, sekcije Panamskog kanala sastoje se od jezera Gatun i Miraflores, 3 para „starih“ ustava: „Gatun“, „Pedro Miguel“ i „Miraflores“ te „Neopanamax“ ili „Expanded Canal ustava“. Nove ustave uključuju „Cocoli ustavu“ na pacifičkoj strani i „Agua Clara“ ustavu na atlantskoj strani.

PIANC smjernice pružaju preporuke za dizajn i upravljanje plovnim putevima kako bi se osigurao siguran i učinkovit prolaz brodova. (PIANC 2014)

Prateći PIANC smjernice koje preporučuju dovoljnu širinu i dubinu za sigurno manevriranje brodova, uz dodatne margine za uvjete plitkih voda i uske prolaze, možemo reći da „Gatun“ i „Miraflores“ jezera nadmašuju minimalne PIANC zahtjeve s obzirom na širinu za dvosmjerni promet Gatun jezero udovoljava svojom širinom veće od 300 m i dubinom od 26 m udovoljava zahtjevima gaza. „Miraflores“ jezero također zadovoljava kriterije sigurnosti plovidbe s uračunatim sigurnosnim marginama, omogućujući stabilan i siguran prolaz brodova.

PIANC smjernice za ustave preporučuju minimalne širine od 33.5 metara, što je dovoljno za „Panamax“ brodove, ali ne za dvosmjerni promet. Stare ustave „Gatun“, „Pedro Miguel“, i „Miraflores“ zadovoljavaju PIANC smjernice za „Panamax“ brodove u jednosmjernom prometu. Širine ustava i sigurnosne margine su dizajnirane u skladu s minimalnim zahtjevima, ali ne omogućuju dvosmjerni promet.

Kod „Neopanamax“ ustava („Cocoli“ i „Agua Clara“) PIANC smjernice za „Neopanamax“ brodove preporučuje proširene širine ustava i povećane sigurnosne margine kako bi se smanjili rizici od nesreća pri prolasku velikih plovila. Prema tome „Cocoli“ i „Agua Clara“ ustava nadmašuju PIANC smjernice za širinu komora i pružaju dovoljne margine za sigurnost i manevriranje „Neopanamax“ brodova širinom od 55 metara. Dubine su također usklađene s PIANC preporukama za veće gazove brodova.

3.3.4. PIANC smjernice za Panamax brodove

PIANC smjernice za „Panamax“ brodove, po prethodnom izračunu daju da je širina plovnog puta za dvosmjerni promet Panamax brodova minimalno 124.6 metara. Ova širina uključuje sigurnosne margine koje su razmaci između brodova i obale, uzimajući u obzir plovne uvjete, vidljivost i manevriranje.

Prema ranije navedenom uvjetu može se napraviti usporedba potrebne širine plovnog puta za Gatun Jezero, kome je ukupna širina oko 300 m i više na većini dijelova. Iz navedenog se vidi da je Gatun jezero znatno šire od potrebne širine za dvosmjerni promet Panamax brodova, omogućujući siguran prolaz sa značajnim sigurnosnim marginama.

Gatun ustave su namijenjeni za jednosmjerni promet zbog širine komora, koja je dovoljna za prolaz jednog „Panamax“ broda. Dvosmjerni promet nije moguć u ustavama.

„Pedro Miguel i Gatun ustavi, zbog ograničene širine svojih komora, omogućuju samo jednobrodni promet. To znači da brodovi mogu prolaziti samo u jednom smjeru u određeno vrijeme, što usporava ukupni promet kroz te dijelove Panamskog kanala. Ovi ustavi su prilagođeni standardnim Panamax brodovima, ali njihova širina nije dovoljna za istovremeni prolaz većih brodova u oba smjera.

Miraflores ustavi, koji su smješteni blizu Tihog oceana, također podržavaju samo jednobrodni promet. Iako su širina i kapacitet ovih komora prilagođeni Panamax brodovima, nije moguće provoditi dvosmjerni promet zbog ograničenja infrastrukture. Ove komore su dizajnirane tako da osiguraju siguran prolaz brodova srednje veličine, ali ograničenja u kapacitetu i dalje postoje zbog njihove širine.

Culebra usjek jedan je od najvažnijih dijelova kanala jer omogućava dvosmjerni promet za Panamax brodove. Sa širinom od 192 do 218 metara, ovaj usjek pruža dovoljno prostora za siguran prolazak brodova u oba smjera. Ovaj dio kanala smatra se strateški ključnim jer omogućuje veću propusnost i ubrzava promet, smanjujući potrebu za čekanjem brodova.

Prošireni dijelovi Panamskog kanala, uključujući Cocoli i Agua Clara ustave, izgrađeni su kako bi podržali veće Neopanamax brodove. Širina komora u ovim ustavama iznosi 55 metara, što omogućuje prolazak većih brodova nego što je to moguće u starijim dijelovima kanala. Iako su ovi ustavi dizajnirani za veće plovila, dvosmjerni promet za veće brodove nije moguć zbog načina rada sustava. Manja plovila mogu prolaziti u oba smjera unutar komora, ali veći brodovi zahtijevaju poseban režim prolaza.

Većina dijelova Panamskog kanala, osim ustava, zadovoljava ili premašuje PIANC smjernice, koje definiraju međunarodne standarde za siguran prolaz brodova kroz plovne puteve. Uz

međunarodne smjernice, Panamska uprava kanala (PCA) također postavlja vlastite specifične upute i ograničenja koja se odnose na sigurnost plovidbe kroz kanal. To uključuje sezonska ograničenja gaza, koja ovise o razini vode u kanalu, kao i sigurnosne zahtjeve za prolaz brodova.

4. Problem s ograničenjem gaza

Panamska uprava kanala diktira uvjete prolaska kanalom (Panama Canal Authority 2021). Sigurnost plovidbe nije nešto o čemu se može pregovarati i to s dobrim razlogom. Naime, dvije su ključne riječi: sigurnost i održivost. Panama kao država ovisi o pitkoj vodi kojom se obavlja transfer brodova s jedne na drugu stranu kanala. Kako bi zaštitili vodu od onečišćenja, invazivnih vrsta i sličnih ekoloških katastrofa nameću se razna pravila, koja određuju da balast ne smije sadržavati morsku vodu, iz razloga moguće kontaminacije. Izbjegavanje nesreća bilo koje vrste, štiti od eventualnih zagađenja vodene mase panamskog kanala. Najuočljivije ograničenje vida sigurnosti je ograničenje gaza. Ograničenje gaza postaje sezonski normativ zadnjih godina kako suše utječu na razine vode u kanalu. Ograničenjem gaza vlasti štite interese države i kanala kao krucijalnog posla u državi. (Panama Canal Authority 2024) Ovo ograničenje varira i ovisi o razinama vode, a nadovezuje se i na količinu „slotova“, to jest broja transfera koji će se u danu obaviti u ustavama. Svaki transfer, uključuje korištenje ustava i samim time znači direktan gubitak pitke vode koja odlazi u more. (Panama Canal Authority n.d.)

4.1.1. Primjeri transfera Neopanamax brodova u vrijeme ograničenog gaza

U ljeto 2024. godine u istom mjesecu, kolovozu, su postavljena dva rekorda po veličini brodova u plovidbi panamskim kanalom. Oba rekorda su postavili brodovi za prijevoz kontejnera. Ono što oba rekorda povezuje je vrsta brodova i ograničenje gaza.

4.1.2. Primjer EVER MAX

Tranzit broda za prijevoz kontejnera „Ever Max“ kroz „Neopanamax“ ustave Panamskog kanala 1. kolovoza 2023., naglašava izazove s kojima se suočava Panamski kanal. Ono što je moglo biti najveći kontejnerski prijevoz kroz kanal u njegovih 109 godina povijesti bilo je ograničeno brojem kontejnera na samom brodu zbog smanjenja prometa i ograničenja gaza kanala radi očuvanja vode tijekom dugotrajne suše. Njegova veličina čini „Ever Max“ jednim od najvećih kontejnerskih brodova predviđenih za tranzit kroz Panamski kanal. Panamska uprava kanala naglašava da je „Ever Max“ brod za prijevoz kontejnera najvećeg kapaciteta koji

je prošao kroz kanal, međutim, na brodu je bilo 13,345 TEU. Stigao je u luku Balbou s pacifičke strane kanala s ukupno 14,745 TEU na brodu. Njegov najveći gaz, međutim, prelazio je normalnih 15,24 metra maksimuma za „Neopanamax“ ustave. Iako stanjem na tržištu brod već nalazio 15 posto ispod kapaciteta, uprava panamskog kanala zahtijevala je da brod smanji svoj teret kako bi se zadovoljio najveći gaz od 13,41 metara. „Ever Max“ se usidrio u Panami radi pretovara 1,400 kontejnera preko prevlake vlakom prije tranzita. Nakon završetka putovanja kroz kanal 1. kolovoza 2023., „Ever Max“ je pristao u kontejnerskoj luci u Colon, gdje je ponovno ukrcao kontejnere koji su prevezeni vlakom.

4.1.3. Primjer MSC MARIE

Brod za prijevoz kontejnera „MSC Marie“ postavio je novi rekord 30. kolovoza 2024. godine, postavši brod s najvećim kapacitetom koji je ikada prošao kroz panamski kanal. MSC „MSC Marie“ ima ukupnu nosivost od 202,562 tona i maksimalni kapacitet od 17,640 TEU-a, što ga čini većim od prethodnog rekordera, broda „Ever Max“, koji je prošao kroz kanal u kolovozu 2023.. Brod „MSC Marie“ je dug 366 metara i širok 51 metar, a njegov gaz tijekom prolaska bio je 14,63 metara, što je značilo ublažavanje ograničenja koja su bila postavljena zbog suše. Ovaj prolazak naglašava sposobnost Panamskog kanala da opslužuje najmodernije i najveće brodove, što potvrđuje njegovu ključnu ulogu u globalnoj trgovini. Također je značajno jer pokazuje kako se kanal oporavlja nakon ograničenja uvedenih zbog dugotrajne suše, koja je utjecala na smanjenje kapaciteta i tranzitnih mogućnosti. (Panama Canal Authority 2024)

4.1.4. Usporedba primjera transfera

Prilikom prolaska kontejnerskog broda "Ever Max" kroz panamski kanal, brod je naišao na nekoliko ograničenja koja su utjecala na njegov ukupan kapacitet. Brod je u luku Balboa stigao s teretom od 14.745 TEU kontejnera, no zbog ograničenja u dubini gaza kanala, bio je prisiljen iskrcati 1.400 TEU kako bi smanjio gaz na dozvoljenih 13,41 metar. Iskracani teret činio je otprilike 9,5% ukupnog tereta koji je brod dovezao u Balbou.

Ako se iskracani teret promatra u odnosu na ukupni kapacitet broda, koji iznosi 17,312 TEU, brod je morao iskrcati oko 8,1% svog ukupnog kapaciteta. Ovaj smanjeni teret bio je neophodan kako bi brod „Ever Max“ zadovoljio uvjete za prolazak kroz Panamski kanal, čiji su kapaciteti i dimenzije bile smanjene zbog mjera očuvanja vode tijekom dugotrajne suše. Nakon što je

uspješno prošao kroz kanal, usidrio se u luci Colon gdje je ponovno ukrcao kontejnere koji su prethodno bili prevezeni preko prevlake vlakom.

Brod „MSC Marie“ imao je gaz od 14,63 metara tijekom tranzita, što pokazuje kako su ograničenja dubine gaza u Panamskom kanalu popustila u odnosu na mjere koje su bile na snazi za brod „Ever Max“. Tranzit broda „MSC Marie“ s ovakvim gazom naglašava obnovljenu sposobnost kanala da opslužuje veće kapacitete bez potrebe za značajnim smanjenjem tereta. Za razliku od „Ever Maxa“, brod „MSC Marie“ nije morao iskrcavati kontejnere tijekom prolaska, što ukazuje na poboljšane uvjete u kanalu.

Ovaj uspješan tranzit broda „MSC Marie“ također pokazuje ulogu Panamskog kanala kao ključne transportne točke koja omogućava prolaz velikih, suvremenih brodova, unatoč prethodnim izazovima uzrokovanim dugotrajnom sušom.

Tablica 5 Usporedba brodova Ever Max i MSC Marie

Podaci o brodu	Ever Max	MSC Marie
Vlasnik	Evergreen shipping company, Tajvan	MSC (Mediterranean Shipping Company)
Datum isporuke	Lipanj 2023	2024.
Tip	Kontejnerski brod	Kontejnerski brod
Nosivost (DWT)	160,000 DWT	202,562 DWT
Duljina	365,76 metara	366 metara
Širina (Beam)	50,90 metara	51 metar
Gaz za tranzit	Početno 15,24 m, smanjeno na 13,41 m zbog ograničenja kanala	14,63 metara (48 stopa)
Kapacitet		
Nominalni kapacitet	17,312 TEU (ekvivalent dvadeset stopa)	17,640 TEU (ekvivalent dvadeset stopa)
Stvarni teret tijekom tranzita	Dolazak u Balboa: 14,745 TEU, Tranzitni teret: 13,345 TEU nakon iskrcavanja 1,400 TEU za pretovar	Nije primjenjivo
Tranzit kroz Panamski kanal		
Značaj	Jedan od najvećih kontejnerskih brodova za Neopanamax brave Panamskog kanala	Najveći kontejnerski brod kapaciteta koji je tranzitirao Panamski kanal
Povijesna usporedba	Slične veličine kao CMA CGM Zephyr (16,285 TEU)	Premašio rekord broda Ever Max (17,312 TEU) iz kolovoza 2023.

Podaci o brodu	Ever Max	MSC Marie
Pretovar	Iskrcano 1,400 TEU u Balboi za prijevoz preko prevlake prije ponovnog utovara u Colon	Nije primjenjivo
Kontext Panamskog kanala		
Upravljanje razinom gaza	Gaz smanjen na 13,41 m zbog suše	Gaz smanjen na 14,6 m zbog suše

4.1.5. Utjecaji klimatskih promjena

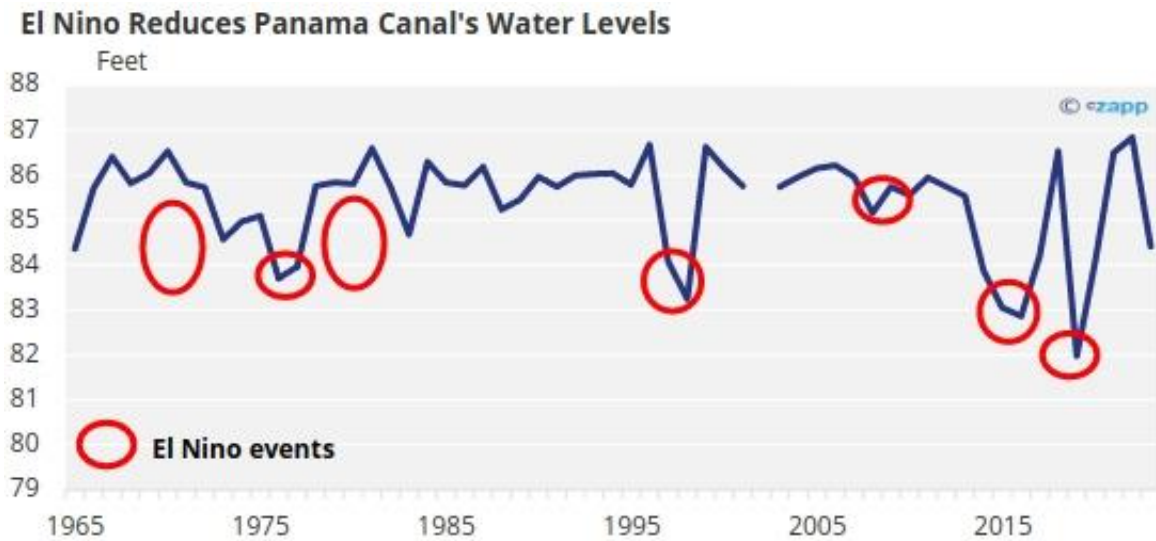
Porast prosječnih temperatura uzrokovan klimatskim promjenama može dovesti do povećane stope isparavanja i promjena u obrascima padalina. To podrazumijeva mogućnost intenzivnijih kišnih perioda, ali i dužih sušnih sezona. Ovakve promjene u klimi značajno utječu na ekosisteme, infrastrukturu i ključne objekte poput Panamskog kanala. Uz porast razine mora, priobalni ekosistemi i infrastruktura su posebno ugroženi. Tokom kišne sezone, obilne padaline često uzrokuju poplave, naročito u nižim područjima, što dodatno komplicira upravljanje vodnim resursima i sigurnost kanala.

4.1.6. Suše

Sušni periodi u Panami su uglavnom vezani s „el niño“-om, prirodni fenomenom povezan s promjenama klime u tropima. Donosi vlažno i kišovito vrijeme te poplave u inače suhim područjima Južne Amerike te sušno razdoblje u području Indonezije.

U posljednjih desetak godina, suše uzrokovane meteorološkim fenomenima, poput el nino, imale su značajan utjecaj na Panamu i funkcioniranje Panamskog kanala. Suša iz 2013. godine, koja je djelomično bila uzrokovana ovim fenomenom, dovela je do smanjenja padalina, što je utjecalo na razinu vode u ključnim rezervoarima kanala. Još snažniji utjecaj imala je el nino epizoda iz 2015.-2016. godine, koja se smatra jednom od najjačih zabilježenih u povijesti. Tijekom ovog razdoblja, padaline su bile znatno smanjene, što je rezultiralo niskim razinama vode u jezeru Gatun. Zbog toga je uprava kanala bila prisiljena uvesti restrikcije u plovidbi, što je izazvalo poremećaje u globalnoj trgovini. Suša 2019. godine uzrokovana istim fenomenom se odrazila vrlo nepovoljno na Panamu kao državu, niska razina vode jezera „Gatun“ koji koliko je važan za plovidbu Panamskim kanalom je i izvor pitke vode za okolnu populaciju. Suša je prisilila upravu kanala da uvede restrikcije u broju brodova koji mogu proći kroz kanal, što je ponovno utjecalo na globalnu trgovinu. Suša 2020 i 2021. godine bila je rezultat kombinacije

klimatskih faktora, uključujući utjecaj la nina fenomena i promjene u lokalnim obrascima padalina.



Slika 8 Utjecaj El nino na razine vode

Warden, S. (2023) 'Problemi Panamskog kanala pokazuju trošak ekstremnih vremenskih uvjeta', *Czapp*, 30 svibnja. Dostupno na: <https://www.czapp.com/analyst-insights/panama-canal-issues-show-cost-of-extreme-weather/> (Pristupljeno: 17 svibnja 2024.).

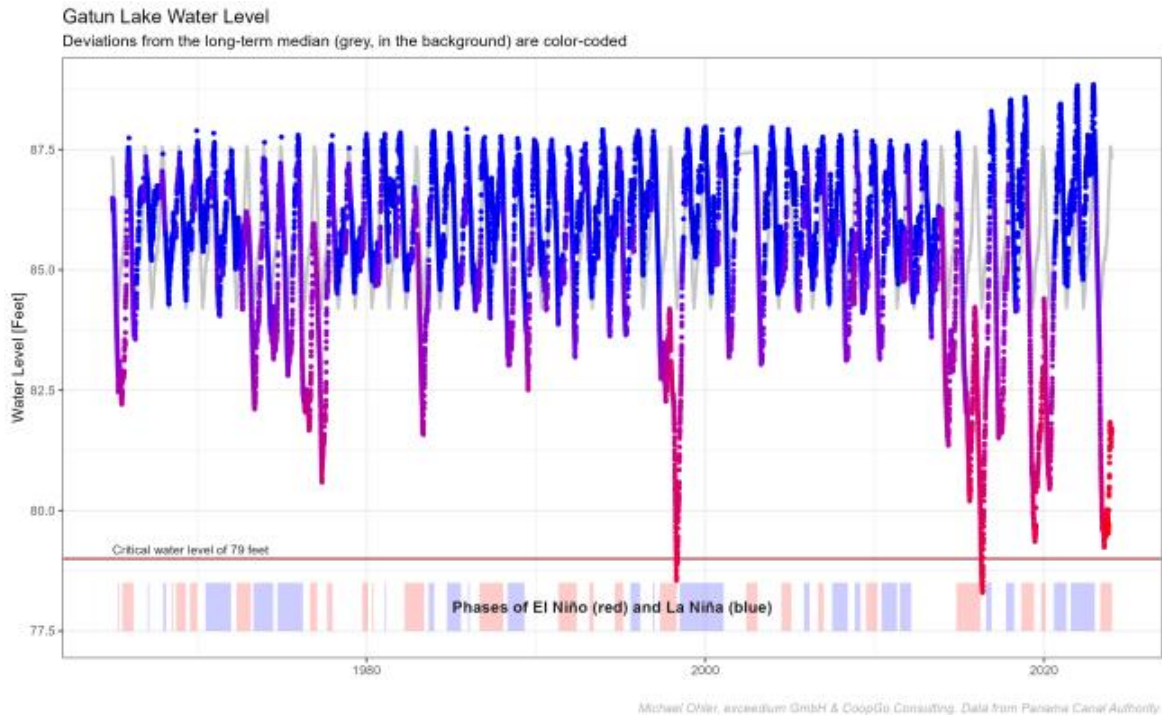
Suša iz 2023. godine imala je izrazito negativan utjecaj na funkcioniranje Panamskog kanala, prvenstveno zbog dugotrajnih klimatskih promjena koje su dovele do češćih i intenzivnijih sušnih razdoblja u regiji. Iako je 2023. godina obilježena neutralnim ENSO uvjetima, prethodni učinci fenomena La Niña i dugoročne klimatske promjene utjecali su na hidrološke cikluse. Deforestacija i promjene u korištenju zemljišta dodatno su pogoršale situaciju, smanjujući zadržavanje vode u tlu.

Kao rezultat smanjenih padalina, glavni rezervoari, uključujući jezero Gatun, koje opskrbljuje Panamski kanal vodom, zabilježili su značajan pad razine vode. To je prisililo upravu Panamskog kanala da uvede stroga ograničenja na maksimalni gaz brodova, smanjujući količine tereta koje brodovi mogu prevoziti. Ove restrikcije utjecale su na globalnu trgovinu, jer su brodovi morali smanjiti količine tereta ili tražiti alternativne rute. To je povećalo troškove transporta i smanjilo prihode od naknada za prolazak kroz kanal. Bilježi se pad prolaska brodova od 23.7% u isto doba prethodne godine. Brodarske kompanije navode povišenje cijene korištenja kanala za 20%. Osim trgovine, suša je utjecala i na lokalnu zajednicu, jer su prioriteti u opskrbi vodom morali biti prilagođeni kako bi se osigurao minimum vode za funkcioniranje kanala. Hidroelektrane, ključni izvor energije za Panamu, također su pretrpjele posljedice zbog

niskih razina vode, što je dovelo do smanjenja proizvodnje električne energije i povećanja cijena.

4.1.7. Razine vode u Panamskom kanalu

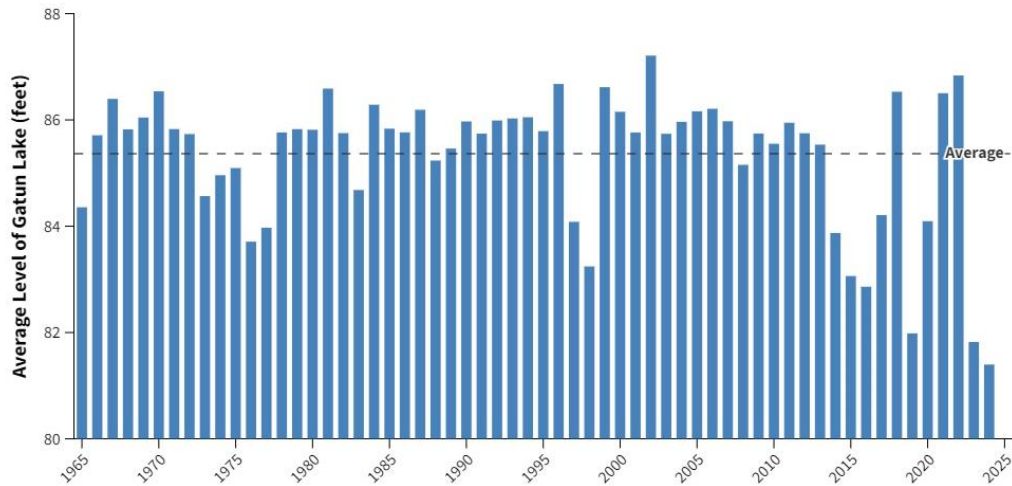
Iako su sušna razdoblja sastavni dio klime Paname, plovidba se obavlja čak i u sušnim godinama. To znači da postoje razine vode koje dozvoljavaju plovidbu bez ugroze sigurnost plovidbe kao i za količine pitke vode za ostale potrebe Paname kao države. Izmjene razdoblja „el nino“-a i „la nina“-e kroz povijest donose zabilježene varijacije u razini vode. Na slici 10 je prikazana varijacija razina vode u jezeru Gatun ovisno o utjecajima el nino i la nina fenomenima. Na slici 11 je prikazana prosječna razina vode u panamskom kanalu iz koje je evidentno da razine vode imaju sve veće varijacije. Iz prikaza na slikama 10 i 11 razine vode su sve nestabilnije i preklapaju se sa utjecajem el nino i la nina fenomena.



Slika 9 Odnos razina vode a meteorološkim fenomenima

Izvor: Panama Canal Authority (2024) *Panama Canal water levels*. Available at:

<https://evtms-rpts.pancanal.com/eng/h2o/index.html> (pristupljeno: 17. svibnja 2024).



Source: Panama Canal Authority

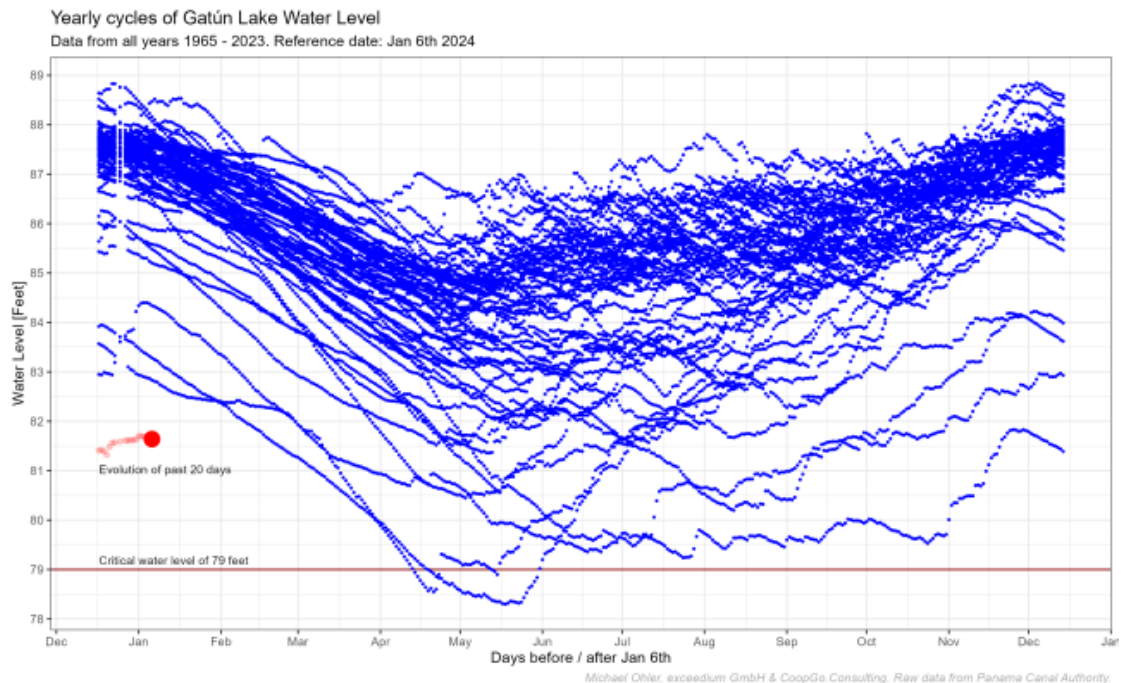
FREIGHT WAVES
RESEARCH

Slika 10 Razine vode u Panamskom kanalu

Izvor: FreightWaves, 2024. *Water level projections threaten future Panama Canal transits.*

[online] dostupno na: <https://www.freightwaves.com/news/water-level-projections-threaten-future-panama-canal-transits>

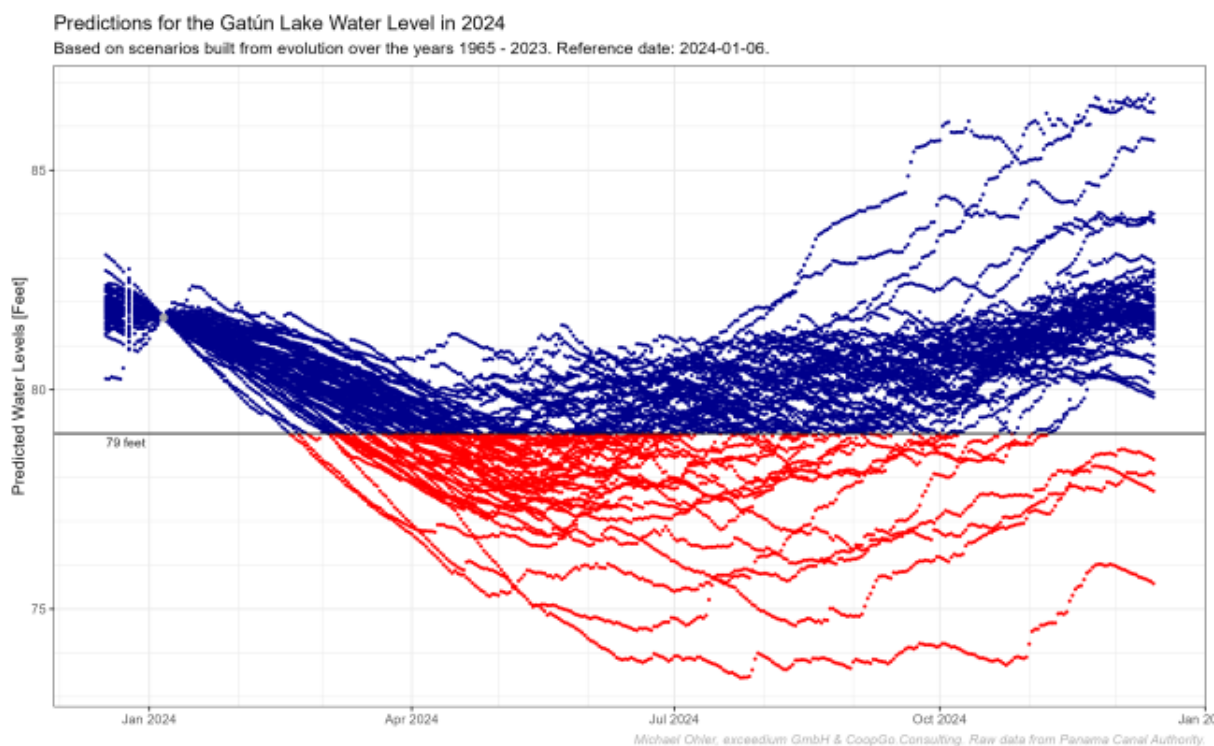
Projekcije za razine vode Panamskog kanala i jezera „Gatun“ prezentiraju se održivima, sa smanjenim prometom. Prognoziranje razina vode u Panamskom kanalu je toliko nepredvidiva da je najdalja hidrološka projekcija na temu samo za tekuću godinu.



Slika 11 Godišnji prosjeci za razine jezera Gatun

Izvor: Panama Canal Authority (2024) *Panama Canal water levels.* Available at:

<https://evtms-rpts.pancanal.com/eng/h2o/index.html> (pristupljeno: 17. svibnja 2024).



Slika 12 Procjena razine vode za jezero Gatún koristeći prethodne podatke

Izvor: Panama Canal Authority (2024) *Panama Canal water levels*. Available at:

<https://evtms-rpts.pancanal.com/eng/h2o/index.html> (pristupljeno: 17. svibnja 2024).

Promatrajući klimatske promjene u pomorstvu možemo iskoristiti podatke studije o održivosti voda Panamskih vlasti kroz gaz brodova, kako bi predočili očekivane procjene razina vode. U spomenutoj studiji panamskih vlasti i inženjeriji Američke vojske „Integrated Water Resource Management Feasibility Study“ napominju da na gaz može utjecati i mjestimična sedimentacija, tako da ovu tablicu 5 možemo više koristiti kao indikator. Iz iste je evidentno da čak Panamske vlasti u svom najoptimističnijem scenariju očekuju veće probleme s brodovima većeg gaza (onima koji su najprofitabilniji vlastima kanala i špediterima) i to u studiji o održivosti. (Panama Canal Authority 2024)

Tablica 6: Tehnički podaci pouzdanosti plovidbe kanalom ovisno o gasu

Dimenzije	Postojeći uvjeti (2025)	Bez utjecaja na postojeće uvjete (2075)	Razlika
Pouzdanost tranzita	Postotak uspješnog prolaska broda		
Tranziti (prolasci)	98.7%	86.1%	-12.6%
Dozvoljeni gaz	Učestalost ograničenja dozvoljenog gaza		
50 ft (15.24m)	52.5%	23.4%	-29.1%
48 ft (14.63m)	78.9%	43.8%	-35.1%
46 ft (14m)	90.4%	62.2%	-28.2%
44 ft (13.41m)	96.0%	92.1%*	-3.9%
39.5 ft (12.03m)	96.2%	93.6%*	-3.8%

Izvor: Panama Canal Authority, 2023. *Panama Canal to adopt measures to ensure water availability and route's reliability*. [online] dostupno na: <https://pancanal.com/en/panama-canal-to-adopt-measures-to-ensure-water-availability-routes-reliability/>

4.1.8. Evaporacija

Uz nepredvidivost padalina dodatni utjecaj na razinu vode u kanalu utječe i rast temperature uslijed klimatskih promjena. Studije panamskih vlasti procjenjuju da količina vode koja ispari iz kanala odnese oko 12% ukupne potrošnje u sustavu ustava. (Panama Canal Authority. 2023. *Water project adaptive management measures study. Final report.*)

Prema vlastima kanala unatoč ekstenzivnim mjerama na ekonomičnu upotrebu vodnih resursa, prošlogodišnja razina padalina je 20% ispod razine otkad se vrše mjerenja, te je peta najsuša godina u posljednjih 70 godina. „Prethodne godine su također bilježile padaline ispod prosjeka, a sve to u kombinaciji sa rastom od 10% evaporacije vode uslijed porasta temperature od 0.5-1.5 Stupnjeva Celzijusa.“ (Panama Canal Authority. 2023. *Panama Canal to adopt measures to ensure water availability and route's reliability.*)

Tablica 7 Mjesečno isparavanje jezera za regiju Panamskog kanala (mm)

Mjesec	Godišnje isparavanje jezera	Trenutni uvjeti (2025) Mjesečno isparavanje jezera (mm)	Procjena bez posebne intervencije (2075) Mjesečno isparavanje jezera (mm)
Siječanj	9.9%	118	129
Veljača	10.6%	126	138
Ožujak	12.3%	145	160
Travanj	10.4%	123	136
Svibanj	8.1%	97	106
Lipanj	6.8%	81	89
Srpanj	7.0%	83	91
Kolovoz	7.0%	82	91
Rujan	6.9%	81	89
Listopad	6.9%	82	90
Studeni	6.4%	76	84
Prosinac	7.6%	91	99
Godišnje	100.0%	1185	1302

Izvor: Panama Canal Authority, 2023. *Panama Canal to adopt measures to ensure water availability and route's reliability*. [online] dostupno na: <https://pancanal.com/en/panama-canal-to-adopt-measures-to-ensure-water-availability-routes-reliability/>

4.2. Utjecaj klimatskih promjena na broj slotova i ograničenje gaza

Tijekom 2023. godine, prosječan broj dnevnih slotova za prolazak brodova kroz Panamski kanal bio je od 32 do 34. Uzimajući u obzir uvjete, Panamski kanal bio je u mogućnosti zadržati relativno stabilan broj tranzita, no određena su manja smanjenja uslijed sezonskih utjecaja i povećane potražnje.

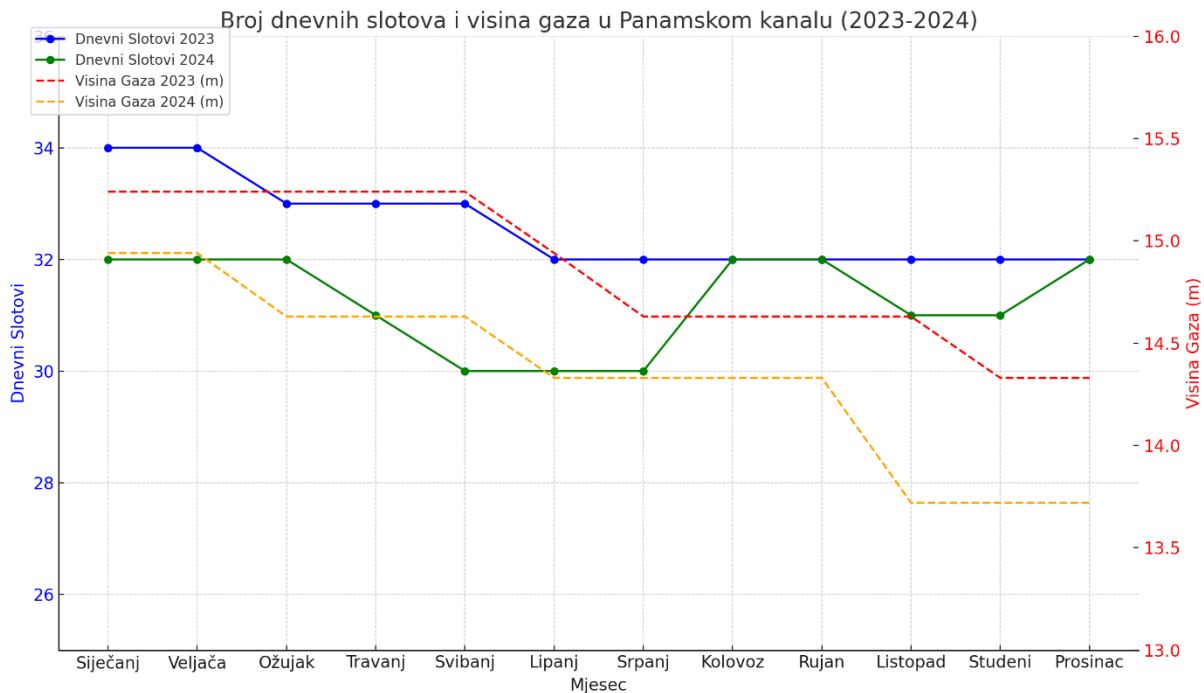
U 2024. godini, broj dnevnih slotova dodatno se smanjio zbog pojačanih ograničenja vezanih za sušne uvjete. Prosječan broj slotova bio je između 30 i 32, s najnižim brojem u proljetnim i

ljetnim mjesecima. Ovaj pad ukazuje na mjere opreza koje su poduzete kako bi se očuvali resursi, prvenstveno voda, ključna za operaciju ustava.

Veličina gaza (maksimalna dopuštena dubina broda) bila je podložna znatnim promjenama tijekom posljednje dvije godine zbog dugotrajne suše koja je zahvatila Panamski kanal.

U 2023. godini, najveći dopušteni gaz broda bio je između 14,33 m i 15,24 m, što ukazuje na postupno smanjenje dubine kako je suša napredovala. Veći gaz na početku godine postupno je smanjivan kako bi se smanjila potrošnja vode potrebna za funkcioniranje ustava.

U 2024. godini, visina gaza dodatno je smanjena, počevši s 14,94 m i završavajući s 13,72 m u posljednjim mjesecima godine. Ovaj trend smanjivanja pokazuje da su sušni uvjeti nastavili utjecati na razinu vode i da je Panamska uprava kanala poduzimala daljnje mjere za upravljanje raspoloživim resursima. Iz podataka o slotovima i gazu smo napravili graf na slici 12. iz kojih se vidi kako je broj tranzitnih mogućnosti opao u 2024 godini.



Slika 13 Broj dnevnih slotova i visina gaza u panamskom kanalu (2023-2024) Panama Canal Authority (2024) 'Draft and transit restrictions', *Shipping Telegraph*, 28 lipnja.

Dostupno na: <https://shippingtelegraph.com> (Pristupljeno: 17 listopada 2024).

4.2.1. Utjecaj ograničenja gaza i broja slotova na sigurnost plovidbe u panamskom kanalu

Kako bi održali razinu vode, kanal je nenajavljeno počeo smanjivati broj dnevnih prolaza kroz ustave, uz zahtjev da neki kontejnerski brodovi smanje količinu tereta, sličnim pretovarom kao

onim za brod „Ever Max“. ako se uzmu u obzir ograničenja gaza Panamskog kanala, koja dozvoljavaju maksimalni gaz od 13,41 metara (umjesto standardnih 15,2 metra). Takva ograničenja značajno utječu na teretne kapacitete različitih tipova brodova klase „Neopanamax“. Ovo ograničenje gaza posebno pogađa nosivost brodova, što se mora uzeti u obzir prilikom planiranja tranzita kroz Panamski kanal.

4.2.2. Smanjenje Tereta za Različite Tipove Brodova

Za različite vrste „Neopanamax“ brodova, smanjenje gaza s 15,2 metra na 13,41 metara predstavlja smanjenje za 1,79 metara, što obično dovodi do smanjenja nosivosti od oko 10-12%. S tim podatkom ugrubo brodovi za prijevoz kontejnera moraju smanjiti broj kontejnera koje prevoze za otprilike 5-10%, ovisno o količini tereta i gasu. Ograničenja utječu na kapacitet brodova i ekonomičnost linijskog prijevoza.

Problem smanjenja količine tereta posebno pogađa „Neopanamax“ brodove za prijevoz tekućih i rasutih tereta. U takvim vrstama brodova, a koji pokrivaju podosta kategorija, se smanjenjem tereta da bi se ugodilo ograničenju gaza se smanjuje sigurnost. (Mohović 2002) Premisa da se brodovi za prijevoz nafte i plina (tankeri) moraju voziti puni do 98% teretnog kapaciteta temelji se na potrebi za ekonomičnošću i sigurnosnim razlozima. Kod prijevoza tekućina poput nafte ili ukapljenog plina (LNG i LPG), ispunjavanje tankova gotovo do maksimuma pomaže u održavanju stabilnosti broda i sprječavanju prekomjernih pomicanja tereta koji mogu utjecati na ravnotežu broda. Tankeri, posebno oni koji prevoze naftu ili plin, oslanjaju se na stabilno opterećenje kako bi održali ravnotežu. Ako tanker nije adekvatno napunjen, tekućina unutar tankova može se slobodno kretati, stvarajući takozvani "efekt slobodne površine". Ovaj efekt može značajno utjecati na stabilnost broda, povećavajući rizik od naginjanja ili čak prevrtanja. Tankeri su projektirani za prijevoz velikih količina tereta kako bi bili ekonomski isplativi. Prazan ili djelomično ispunjen tanker troši približno jednaku količinu goriva kao i potpuno napunjen brod, ali s manjom količinom tereta, operacija postaje financijski neodrživa.

S obzirom na trenutna ograničenja gaza u Panamskom kanalu, koja značajno utječu na kapacitet brodova klase „Neopanamax“, na temelju rezultata dolazi do promišljanja o isplativosti korištenja Panamax brodova za prijevoz tekućih (npr. nafta, kemikalije) i rasutih tereta. „Panamax“ brodovi dizajnirani su tako da se uklapaju u specifikacije originalnih Panamskih ustava, što im omogućuje lakši prolazak čak i pod smanjenim uvjetima gaza. U nastavku je

prikazana analiza i prednosti upotrebe „Panamax“ brodova i kako oni mogu pomoći u ublažavanju trenutnih izazova.

Na temelju podataka *studije o održivosti voda Panamskih vlasti* i **Error! Reference source not found.** može se bolje razumjeti trenutna ograničenja gaza u Panamskom kanalu i utjecaj na različite vrste brodova. Izvješće iz 2023. godine analizira održivost razine vode i predviđa smanjenje dostupnih kapaciteta zbog klimatskih promjena i čestih ograničenja gaza. Podaci iz izvješća ukazuju na potrebu prilagodbe brodskih operacija zbog smanjenih razina vode, što znači da brodovi klase „Neopanamax“ imaju ograničenu mogućnost prolaska. S obzirom na ta ograničenja, „Panamax“ brodovi su povoljnije rješenje za prijevoz tekućih (nafta, kemikalije) i rasutih tereta. Oni imaju maksimalni gaz od 12,04 metara, što omogućava siguran prolazak čak i kada su uvjeti u kanalu nepovoljni, jer se trenutna ograničenja gaza često kreću između 12,03 i 13,41 metara. „Panamax“ brodovi tako postaju efikasniji izbor, osiguravajući veću pouzdanost tranzita u uvjetima smanjenih razina vode. Usporedba pokazuje da će s vremenom brodovi s gazom iznad 14 metara sve češće nailaziti na ograničenja, što povećava ekonomsku nesigurnost i operativne izazove. Upotreba „Panamax“ brodova pruža veću fleksibilnost u prilagodbi ovim ograničenjima, osiguravajući stabilnije operacije, manju potrebu za smanjenjem tereta i povećanu sigurnost plovidbe.

Podaci o tranzitu pokazuju pad u uspješnosti prolaza brodova s povećanim gazom do 2075. godine, s predviđenim smanjenjem postotka uspješnih prolazaka sa 98,7% na 86,1%. „Panamax“ brodovi, s manjim gazom i sposobnošću prilagodbe, pomažu u očuvanju visokog stupnja pouzdanosti tranzita, čak i tijekom sušnih perioda kada su ograničenja na snazi.

Upotrebom „Panamax“ brodova za tekuće i rasute terete osigurava se veća operativna fleksibilnost i smanjuje utjecaj vremenskih ograničenja na siguran i ekonomičan prolazak kroz Panamski kanal.

Zaključak

Analiza sigurnosti plovidbe u Panamskom kanalu, prema smjernicama PIANC-a, pokazala je da proširenje kanala omogućava siguran prolaz brodova različitih klasa. Međutim, klimatske promjene, osobito učestala sušna razdoblja, predstavljaju značajan izazov za održavanje optimalnih uvjeta plovidbe. Dok ključni geometrijski elementi poput širine i dubine kanala, posebno u dijelu „Culebra“ usjeka, zadovoljavaju uvjete za dvosmjerni promet, ograničenja visine gaza zbog niskih razina vode predstavljaju ozbiljnu prepreku.

Na temelju provedenih analiza, preporučuje se uvođenje dodatnih sigurnosnih mjera, kao što su ograničenje brzine, kontrola jednosmjernog prometa, ili čak privremeno zatvaranje za dvosmjerni promet u određenim uvjetima. Također, povećanje upotrebe „Panamax“ brodova za prijevoz tekućih i rasutih tereta moglo bi biti efikasno rješenje za osiguranje sigurnosti i operativnosti kanala. Kako bi se održala funkcionalnost Panamskog kanala i očuvala njegova ključna uloga u globalnoj trgovini, potrebno je kontinuirano praćenje hidroloških uvjeta, prilagodba operativnih pravila i učinkovita implementacija mjera za upravljanje vodnim resursima. Iako „Panamax“ brodovi predstavljaju osiguranje uspješnog obavljanja tranzita kanalom, ali korištenjem za njih prikladnih „Panamax“ ustava nije održivo u smislu rasipanja pitke vode i negativnim utjecajem na razine vode u kanalu.

Da bi se održala funkcionalnost Panamskog kanala i očuvala njegova ključna uloga u globalnoj trgovini, neophodno je kontinuirano praćenje hidroloških uvjeta, prilagodba operativnih pravila i učinkovita primjena mjera za upravljanje vodnim resursima. Primjeri tranzita brodova kao što su Ever Max i MSC Marie ukazuju na to da, usprkos ograničenjima uzrokovanim okolišnim izazovima poput dugotrajne suše, Panamski kanal i dalje igra ključnu ulogu u globalnom pomorskom prometu. Uspješan prolaz MSC Marie bez ograničenja koja su bila postavljena za Ever Max sugerira poboljšanje uvjeta tranzita, što će pozitivno utjecati na buduće operacije u kanalu.

Ograničenja gaza u Panamskom kanalu značajno utječu na kapacitet „Neopanamax“ brodova i zahtijevaju pažljivo planiranje tereta kako bi se osigurala sigurnost i stabilnost tijekom tranzita. Smanjenje tereta za 10-15% zbog ograničenja gaza umanjuje efikasnost operacija i povećava izazove u upravljanju brodom. Pravilno raspoređivanje tereta i balasta, uz podršku iskusnih

pilota, ključno je za osiguravanje sigurnosti i učinkovitog tranzita kroz kanal u ovakvim uvjetima.

Također, povećanje upotrebe „Panamax“ brodova za prijevoz tekućih i rasutih tereta moglo bi biti efikasno rješenje za osiguranje sigurnosti i operativnosti kanala. Kako bi se održala funkcionalnost Panamskog kanala i očuvala njegova ključna uloga u globalnoj trgovini, potrebno je kontinuirano praćenje hidroloških uvjeta, prilagodba operativnih pravila i učinkovita implementacija mjera za upravljanje vodnim resursima.

Stoga, kontinuirano prilagođavanje operativnih mjera i optimizacija resursa ostaju ključni za osiguravanje sigurne i učinkovite plovidbe kroz Panamski kanal, unatoč promjenama i izazovima uzrokovanim klimatskim faktorima.

Sažetak

Ovaj rad analizira sigurnost plovidbe kroz Panamski kanal, s posebnim naglaskom na novi Panamski kanal. U radu se koriste smjernice PIANC-a kako bi se procijenili kriteriji potrebni za siguran prolazak brodova različitih veličina, uključujući Panamax i Neopanamax brodove. Analiza se temelji na procjeni dimenzija plovnog puta, manevarskih karakteristika brodova, hidrometeoroloških uvjeta te mogućih ograničenja uzrokovanih čestim sušnim razdobljima. Posebna pažnja posvećena je razmatranju utjecaja klimatskih promjena na stanje razine vode potrebne za operacije Panamskog kanala. Preporuke za poboljšanje sigurnosti uključuju dodatne mjere poput kontrole brzine i ograničavanja dvosmjernog prometa u užim dijelovima kanala. Predlaže se i veća upotreba Panamax brodova u razdobljima ograničenog gaza radi osiguranja veće sigurnosti i operativnosti plovidbe.

Ključne riječi: Panamski kanal, Neopanamax brodovi, Plovni put, Sigurnost plovidbe, Klimatske promjene, PIANC smjernice

Title: New Panama canal safety of navigation analysis

Abstract

This paper analyses the safety of navigation through the Panama Canal, with a particular focus on the new Panama Canal. PIANC guidelines are used in this study to evaluate the criteria necessary for the safe passage of different types of vessels, including Panamax and Neopanamax ships. The analysis is based on assessing the dimensions of the navigational channel, manoeuvring characteristics of vessels, hydrometeorological conditions, and possible restrictions due to frequent droughts. Special attention is given to the impact of climate change on the state of the water level necessary for the operations of the Panama Canal. Recommendations for enhancing safety include additional measures such as speed control and limiting two-way traffic in narrower sections of the canal. Greater use of Panamax vessels during periods of limited draft is also suggested to ensure higher safety and operational efficiency.

Keywords: Panama Canal, Neopanamax ships, Navigational channel, Navigation safety, Climate change, PIANC guidelines

LITERATURA

Atkinson, E. & O'Brien, P. (2008.) DUKC in Channel Design. U: *6th IHMA Conference*, St. Petersburg, Russia.

Autoridad del Canal de Panamá. (2021.) *Increase to the Maximum Length Overall for the Neopanamax Locks*. Panama Canal Authority. <https://pancanal.com/wp-content/uploads/2022/03/N01-2022.pdf> (pristupljeno: 20. srpnja 2024.).

Autoridad del Canal de Panamá. (2024.) *Water Project AMM Study A - Final Report*. Panama Canal Authority. https://pancanal.com/wp-content/uploads/2024/04/2023-May_Water-Project-AMM-Study-A-Final-Report-USACE.pdf (pristupljeno: 17. svibnja 2024.).

Autoridad del Canal de Panamá. (n.d.) *Panama Canal Begins Tests of Simultaneous Two-Way Transits at Canal's Most Narrow Channel*. <https://pancanal.com/en/panama-canal-begins-tests-of-simultaneous-two-way-transits-at-canals-most-narrow-channel/> (pristupljeno: 20. srpnja 2024.).

Autoridad del Canal de Panamá. (n.d.) *Panama Canal to Adopt Measures to Ensure Water Availability and Route Reliability*. <https://pancanal.com/en/panama-canal-to-adopt-measures-to-ensure-water-availability-routes-reliability/> (pristupljeno: 20. srpnja 2024.).

Autoridad del Canal de Panamá. (n.d.) *MSC Marie Ship Sets Record for Largest Cargo Capacity*. <https://pancanal.com/en/msc-marie-ship-sets-record-for-largest-cargo-capacity/> (pristupljeno: 15. rujna 2024.).

Barić, M. (2017.) *Model određivanja širine ograničenih plovnih putova*. Disertacija, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet.

Bukša, J. & Zec, D. (2005.) Model procjene pomorskih rizika u ograničenom plovnom području. *Pomorstvo: Scientific Journal of Maritime Research*, 19(1): 173-193.

Fanni, P. (2016.) *Novi Panamski kanal - tehničko prometne novine i korist za pomorski promet*. Završni rad, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:164:985801> (pristupljeno: 20. srpnja 2024.).

Gordon, B. L., Millett, R. L. & Anguizola, G. (2024.) Panama. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/place/Panama> (pristupljeno: 20. srpnja 2024.).

Grbić, T. (2018.) *Uštede u brodarstvu otvaranjem novog Panamskog kanala*. Završni rad, Sveučilište u Zadru.

Horvatić, P. (2017.) 15. kolovoza 1914. Panamski kanal – znate li da je 27.500 ljudi umrlo pri gradnji kanala? *Narod.hr*, 15. kolovoza, 09:00. <https://www.narod.hr> (pristupljeno: 20. srpnja 2023.).

Mohović, Đ. (2010.) *Ocjena prihvatljivosti pomorskih plovidbenih rizika*. Doktorska disertacija, Pomorski fakultet, Sveučilište u Rijeci.

Mohović, R. (2002.) *Model manevriranja brodom u ograničenim plovnim područjima u funkciji sigurnosti i zaštite morskog okoliša*. Doktorska disertacija, Pomorski fakultet, Sveučilište u Rijeci.

PIANC. (2014.) *Harbour Approach Channels Design Guidelines, Report No. 121*. PIANC, Belgium.

Vantorre, M., Verzhbitskaya, E. & Laforce, E. (2002.) Model test-based formulations of ship-ship interaction forces. *Ship Technology Research*, 49: 124-141.

Wikipedia. (2023.) *Panamski kanal*. https://hr.wikipedia.org/wiki/Panamski_kanal (pristupljeno: 20. srpnja 2024.).

POPIS SLIKA

Slika 1 Zemljopisna karta Panamskog kanala.....	8
Slika 2 Padaline u Panami (2020-2023).....	9
Slika 3 Varijacije padalina i razine vode u Panamskom kanalu.....	10
Slika 4 Presjek "Culebra cut" sa označenim dijelom Francuskog/Američkog dijela iskopa ...	12
Slika 5 Culebra Cut 1885	12
Slika 6 Elevacija Panamskog kanala naspram Atlantika lijevo i Tihog oceana desno	13
Slika 7 Profil sustava ustava Panamskog kanala.....	14
Slika 8 Utjecaj El nino na razine vode	31
Slika 9 Odnos razina vode a meteorološkim fenomenima	32
Slika 10 Razine vode u Panamskom kanalu.....	33
Slika 11 Godišnji prosjeci za razine jezera Gatún.....	33
Slika 12 Procjena razine vode za jezero Gatún koristeći prethodne podatke.....	34
Slika 13 Broj dnevnih slotova i visina gaza u panamskom kanalu (2023-2024)	37

POPIS TABLICA

Tablica 1 Manevarske karakteristike broda	18
Tablica 2 Utjecaj vanjskih sila na brod	19
Tablica 3 Dodatna širina od ruba plovnog puta (lijevo i desno)	20
Tablica 4 Dodatna širina uslijed mimoilaženja	20
Tablica 5 Usporedba brodova Ever Max i MSC Marie.....	29
Tablica 6 Tehnički podaci pouzdanosti plovidbe kanalom ovisno o gazu.....	35
Tablica 7 Mjesečno isparavanje jezera za regiju Panamskog kanala (mm).....	36