

Primjena virtualne stvarnosti u educiranju djelatnika kontejnerskih terminala

Alfirević, Vanda

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:547191>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-09**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**PRIMJENA VIRTUALNE STVARNOSTI U EDUCIRANJU
DJELATNIKA KONTEJNERSKIH TERMINALA**

**APPLICATION OF VIRTUAL REALITY IN EDUCATING
CONTAINER TERMINAL EMPLOYEES**

Mentor: izv. prof. dr. sc. tech. Tomislav Rožić

Student: Vanda Alfirević

JMBAG: 0135266052

Zagreb, kolovoz 2024.

Zagreb, 27. svibnja 2024.

Zavod: **Zavod za transportnu logistiku**
Predmet: **Robno transportni centri**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 7539


Pristupnik: **Vanda Alfirević (0135266052)**
Stud.j: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**
Smjer: **Logistika**

Zadatak: **Primjena virtualne stvarnosti u educiranju djelatnika kontejnerskih terminala**

Opis zadatka:

Kontejnerska dizalica ključan je dio opreme na kontejnerskim terminalima. Upravljanje dizalicom vrlo je opasan posao koji zahtjeva, točnost, preciznost i sigurnost u radu. Edukacija djelatnika se provodi uz pomoć virtualne stvarnosti (VR). Korištenjem simulacije sprječava se ometanje rada terminala u realnom svijetu, a djelatnicima terminala omogućava stjecanje prijeko potrebnih vještina za rad. Učinkovitost edukacije ovisi o autentičnosti generirane simulacije, koja ovisi o tome koristi li se HMD sustav ili zaslon računala. U ovom radu bit će opisane vrste simulacijskih alata koji se koriste u edukaciji i mogućnosti njihove primjene.

Mentor:



izr. prof. dr. sc. Tomislav Rožić

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



SAŽETAK

Lučki kontejnerski terminali predstavljaju čvorišta u opskrbnom lancu, odnosno mjesta gdje se susreću različiti modovi prometa. O produktivnosti kontejnerskog terminala ovisi brzina prijevoza kontejnera do njihovih krajnjih odredišta. Za funkcioniranje lučkih kontejnerskih terminala zaduženi su djelatnici koji upravljaju prekrcajnom mehanizacijom i drugim sustavima na terminalu. Sposobnost djelatnika za obavljanje posla ovisi o njegovoj edukaciji i treningu. Rad na lučkom kontejnerskom terminalu vrlo je opasan i zahtjeva znanje, točnost, preciznost i međusobnu koordinaciju djelatnika. Edukacija djelatnika provodi se s pomoću simulacijskih alata na temelju virtualne stvarnosti (Virtual Reality - VR). Simulacijskim alatima se djelatnici osposobljavaju za rad na svim dizalicama, prijenosnicima i drugoj prekrcajnoj mehanizaciji na terminalu u različitim vremenskim uvjetima. Svrha ovog rada je opisati ulogu djelatnika na lučkim kontejnerskim terminalima, važnost i načini njihove edukacije. Cilj pisanja ovog rada je analizirati načine edukacije djelatnika i utvrditi važnost primjene VR tehnologije u usavršavanju djelatnika na lučkim kontejnerskim terminalima.

KLJUČNE RIJEČI: Lučki kontejnerski terminal; virtualna stvarnost; simulacijski alati; djelatnik; edukacija

SUMMARY

Port container terminals are hubs in the supply chain, they are places where different modes of traffic meet. The speed of transporting containers to their final destinations depends on the productivity of the container terminal. The employees who manage transshipment machinery and other systems at the terminal are responsible for the functioning of port container terminals. The employee's job performance depends on his education and training. Work at the port container terminal is very dangerous and requires knowledge, accuracy, precision, and mutual coordination of employees. Employee training is carried out using simulation tools based on virtual reality (Virtual Reality - VR). Simulation tools are used to train employees to work on all cranes, conveyors, and other handling machinery at the terminal in different weather conditions. The purpose of this paper is to describe the role of workers at port container terminals, the importance and methods of their education. The goal of writing this paper is to analyze the methods of employee education and determine the importance of applying VR technology in the training of employees at port container terminals.

KEY WORDS: Port container terminal; virtual reality; simulation tools; employee; education

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Struktura lučkih kontejnerskih terminala	2
2.1. Organizacija skladišnog prostora.....	5
2.2. Prekrcajna mehanizacija kontejnerskog terminala	6
2.2.1. Kontejnerske dizalice.....	7
2.2.2. Razvoj obalnih kontejnerskih dizalica u budućnosti	9
3. Edukacija djelatnika na kontejnerskim terminalima	10
3.1. Konvencionalna edukacija djelatnika	10
3.1.1. Razvoj operativnog sustava terminala	11
3.1.2. Osposobljavanje djelatnika za rad na terminalu	13
3.2. Uvjeti za rad na kontejnerskim dizalicama	14
4. Primjena virtualne stvarnosti u funkcioniranju kontejnerskih terminala	17
4.1. Primjena VR tehnologije u edukaciji djelatnika	18
4.2. Sigurnost na kontejnerskom terminalu	19
4.2.1. Rizici na kontejnerskom terminalu	19
4.2.2. Simulacijski model – kontejnerski terminal u Genovi.....	21
4.3. Platforma za dijeljenje informacija na terminalu.....	22
4.4. Dijeljenje informacija korištenjem VR tehnologije	23
4.5. Sustav za nadzor prekrcajne mehanizacije	25
5. Vrste simulacijskih alata u edukaciji djelatnika na kontejnerskim terminalima	27
5.1. CAVE sustav	27
5.2. HMD sustav	28
5.3. Usporedba CAVE i HMD sustava	29
6. Primjena simulacijskih alata u edukaciji djelatnika na kontejnerskim terminalima	31
6.1. Simulator obalne kontejnerske dizalice	31
6.2. S-crane sustav.....	32
6.3. Simulacija prekrcajne mehanizacije na terminalu	34
6.4. Primjena simulacijskih alata u radu u opasnim situacijama na terminalu	36
7. Zaključak.....	39
LITERATURA.....	40
POPIS SLIKA.....	45
POPIS KRATICA	46

1. Uvod

U globalnoj transportnoj mreži glavna prometna čvorišta uglavnom čine lučki terminali na obalama mora i oceana. Razvojem kontejnerizacije kao moderne tehnologije prijevoza robe i tereta, paralelno su se razvijali i kontejnerski terminali. Kontejner, intermodalna transportna jedinica, prikladan je za transport prijevoznim sredstvima iz više različitih grana prometa. Povezivanjem lučkih kontejnerskih terminala s drugim granama prometa stvorili su se intermodalni terminali.

Kontejnerskim terminalima upravljaju djelatnici koji su prošli edukaciju i trening za rad na prekrcajnoj mehanizaciji i prijevoznim sredstvima. Jednako tako rad terminala se kontrolira uz pomoć raznih sustava koji prate sve operacije na terminalu s ciljem sprječavanja rizičnih opasnih situacija i nesreća. Razina edukacije i sposobnosti djelatnika izravno utječe na produktivnost kontejnerskog terminala, ali i cijelog opskrbnog lanca. U svrhu edukacije djelatnika koriste se simulacijski alati uz koje djelatnici razvijaju vještine nužne za rad na različitim poslovnim pozicijama na terminalu. Svrha ovog rada jest prikazati strukturu lučkog kontejnerskog terminala i prekrcajne mehanizacije koja se na terminalu koristi te opisati edukaciju i trening djelatnika koji rade na terminalu. Cilj ovog završnog rada je na temelju proučenog materijala predočiti na koji način se tehnologija virtualne stvarnosti primjenjuje u edukaciji i praktičnoj obuci djelatnika na kontejnerskim terminalima. Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Struktura kontejnerskih terminala
3. Edukacija djelatnika na kontejnerskim terminalima
4. Primjena virtualne stvarnosti u funkcioniranju kontejnerskih terminala
5. Vrste simulacijskih alata u edukaciji djelatnika na kontejnerskim terminalima
6. Primjena simulacijskih alata u edukaciji djelatnika na kontejnerskim terminalima
7. Zaključak

U drugom je poglavlju opisana struktura kontejnerskih terminala i rad prekrcajne mehanizacije.

Vještine djelatnika koji rade na prekrcajnoj mehanizaciji iznimno su važne za njegov normalan rad. Treće poglavlje navodi uvjete koje kandidati za djelatnike na kontejnerskim terminalima moraju zadovoljit. Opisani su različiti načini organizacije i provedbe edukacije i treninga.

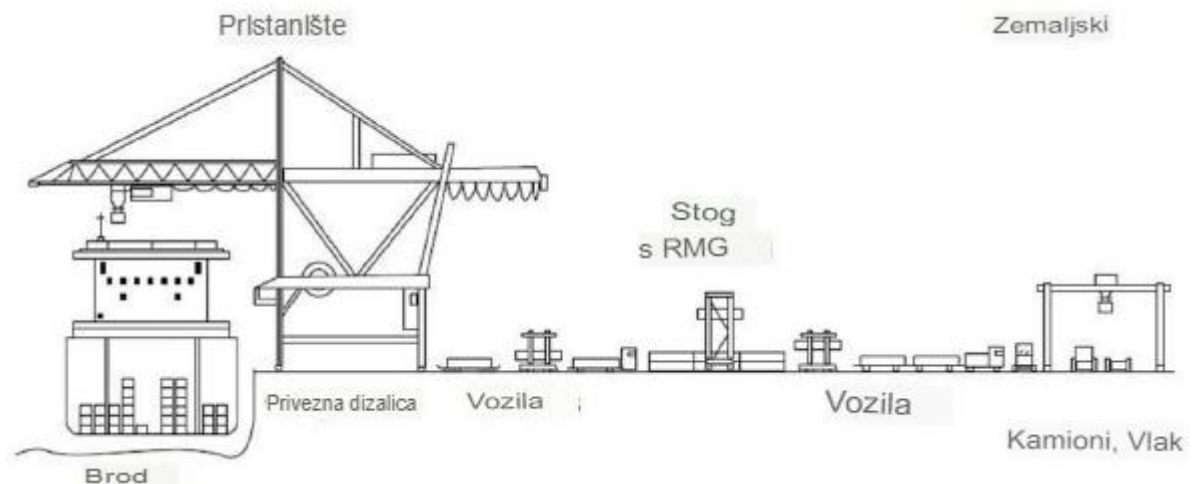
Tehnologija virtualne stvarnosti ima višestruku primjenu na kontejnerskom terminalu. Četvrto poglavlje obuhvaća opis primjene virtualne stvarnosti u radu različitih sustava za upravljanje na terminalu.

Petim poglavljem obuhvaćene su vrste simulacijskih alata. Navedene su vrste sustava uz pomoć kojih se projiciraju simulacije, te je napravljena usporedba oba sustava.

Simulacijski alati imaju široku primjenu u edukaciji djelatnika na kontejnerskim terminalima. Različiti načini primjene opisani su u šestom poglavlju.

2. Struktura lučkih kontejnerskih terminala

Uloga pomorskog kontejnerskog prijevoza drastično raste, a kontejnerski terminali su ključna poveznica između različitih modova prometa u globalnoj prometnoj mreži. Terminal je zona luke namijenjena i opremljena za pristajanje kontejnerskih brodova u svrhu obavljanja prekrcanja, odnosno iskrcaja i ukrcanja kontejnera, prikazan slikom 1. [1]

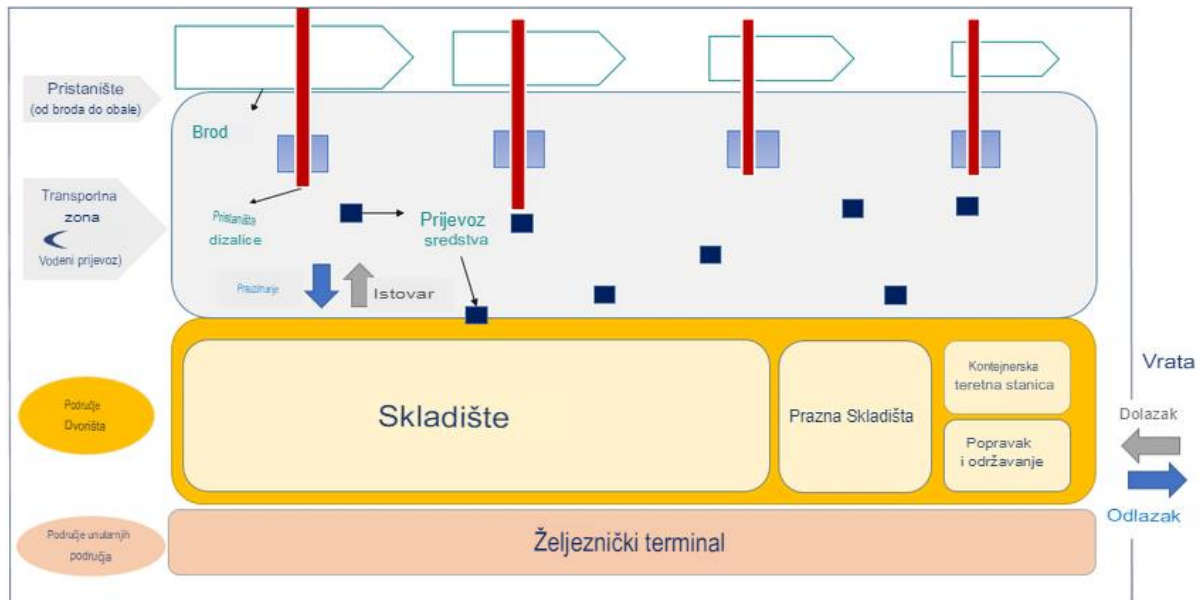


Slika 1. Shema kontejnerskog terminala
Izvor: [2]

Lučki kontejnerski terminali mogu se podijeliti na obalno i kopneno područje. Obalno područje obuhvaća pristanište kontejnerskog terminala i prekrcajnu mehanizaciju uz njega, a skladište i upravne zgrade se smatraju kopnenim područjem terminala, prikazano slikom 2. (žuta i narančasta boja). Prilikom uplovljavanja broda u luku, odnosno uvoza, kontejneri se iskrcajavaju u ranžirno područje luke, te se prevoze do skladišnog prostora. Na intermodalnim terminalima, kontejneri se prema potrebi prevoze na željezničke ili cestovne terminale za daljnji transport. Za izvoz kontejnera proces je obrnut. Kontejneri se iskrcajavaju s vlakova ili cestovnih prometnih vozila s pomoću portalne dizalice i slažu se u skladišni prostor. Mnoga istraživanja analiziraju efikasne načine skladištenja kontejnera i dodjele kontejnera određenim portalnim i obalnim dizalicama. Svrha istraživanja je smanjiti broj operacija nad kontejnerom prilikom ukrcanja i iskrcaja, odnosno smanjiti vrijeme koje brod provede na vezu u luci. Broj operacija ovisi o poziciji kontejnera na skladištu. Ako se kontejner nalazi na vrhu bloka, manipulacija kontejnerom traje kraće, u suprotnom je potrebno micati kontejnere s vrha bloka kako bi se kontejner pripremio za ukrcaj na brod. [3]

Obalno područje terminala čine pristanište i odlagalište, odnosno zona za odlaganje kontejnera koji čekaju ukrcaj na brod. Pristanište je opremljeno vezovima za brodove i pristanišnim dizalicama koje kontejnere prenose s broda na tegljače ili obratno. Tegljači prevoze kontejnere od pristaništa do zone odlaganja gdje se kontejneri slažu u blokove. Svaki

blok ima zasebnu dizalicu na kotačima ili tračnicama koje se mogu premještati s bloka na blok. Visina blokova i razmaci među njima ovise o načinu na koji se dvorište koristi. Dvorište se može koristiti ekstenzivno, tada se blokovi slažu tri do četiri kontejnera u visinu s razmakom od 150 cm između redova. Drugi način je intenzivno korištenje dvorišta kad se blokovi slažu u šest do sedam kontejnera visine s 40 cm razmaka između redova. [1]



Slika 2. Područja lučkog kontejnerskog terminala
Izvor: [4]

Razvoj i učestala promjena dimenzija i kapaciteta kontejnerskih brodova predstavljaju problem u organizaciji obalnog područja terminala, prikazano sivom bojom na slici 2. Prvenstveno, na broj vezova, obalnih dizalica i ostale infrastrukture na obalnom dijelu. Visokoproduktivni multimodalni terminali imaju velik broj vezova u nizu, kako bi mogli zadovoljiti očekivanu razinu usluge. Prijevoznici zahtijevaju visoku razinu usluge, brzu i efikasnu, s obzirom na to da prekomjernim stajanjem broda u luci znatno rastu troškovi transporta. Ne smetan rad terminala podrazumijeva izradu rasporeda za svaki njegov segment, pa tako i brodova na vezu. Svakom se brodu dodjeljuje točno određeno vrijeme za uplovljavanje, vrijeme provedeno na vezu, broj vezova i predviđeno vrijeme isplavljanja. Terminali manjih kapaciteta u manjim lukama mogu imati pristaništa u ravnoj liniji, pristanište u obliku bazena ili pristanište koje prati prirodnu liniju obale. [5]

Pristajanjem broda na vez uz terminal, započinje iskrcaj kontejnera. Iskrcaj se vrši uz pomoć pristanišne dizalice, te se proces skladištenja vrši prema ranije navedenoj shemi. Problem nastaje pri koordinaciji više istovremenih ukrcaja i iskrcaja kontejnera s dvaju ili više brodova.

Često korišten dio opreme za rukovanje kontejnerima je portalna dizalica (Gantry Crane - GC). Mogu biti projektirane na kotačima (Rubber-tyred gantry - RTG) ili na tračnicama (Rail-

Mounted Gantry Crane - RMG). Dizalice na kotačima imaju mogućnost kretanja između blokova kontejnera. Kotači su izvedeni tako da se mogu zaokrenuti za 90° što omogućuje ortogonalno kretanje, odnosno cross gantrying. Taj proces poprilično je spor, jer za manipulaciju jednog dvadesetstopnog kontejnera (Twenty-foot Equivalent Unit – TEU) potrebno je 15 minuta. Kombiniranjem više portalnih dizalica povećava se propusnost skladišnog prostora. Postoje dva načina kako se portalne dizalice mogu kombinirati: prolazne i neprolazne portalne dizalice. Kod prolaznih dizalica riječ je o kombinaciji više i niže portalne dizalice, kako bi niža dizalica mogla proći ispod više dizalice. Ova metoda se za sad koristi samo kod automatiziranih dizalica, zbog preciznosti koju prolazak ispod dizalice zahtijeva. [7]

Drugi način je korištenje neprolaznih portalnih dizalica, što podrazumijeva korištenje dvije identične dizalice, pri tome jedna može biti automatizirana. One pokrivaju veću zonu skladišta, jer mogu surađivati s pomoću zone razmjene, tako da jedna dizalica dopremi kontejner s jedne strane skladišta do zone razmjene. Druga dizalica zatim preuzima kontejner i prenosi ga na određeno mjesto na skladištu. Na terminalu u luci Hamburg u Njemačkoj razvio se sustav triju kontejnerskih dizalica koji se sastoji od jedne veće na sredini skladišta i dvije manje.

Uz portalne dizalice na terminalima se koriste i portalni prijenosnici (slika 3. i slika 4.) koji mogu imati višestruku ulogu na terminalu. Osim slaganja i preslagivanja kontejnera na blokovima, mogu se na nekim terminalima koristiti i kao prijevozna sredstva između skladišta i pristanišnih dizalica. [6]



Slika 3. Portalni prijenosnik malog raspona
Izvor: [7]



Slika 4. Portalni prijenosnik velikog raspona
Izvor: [8]

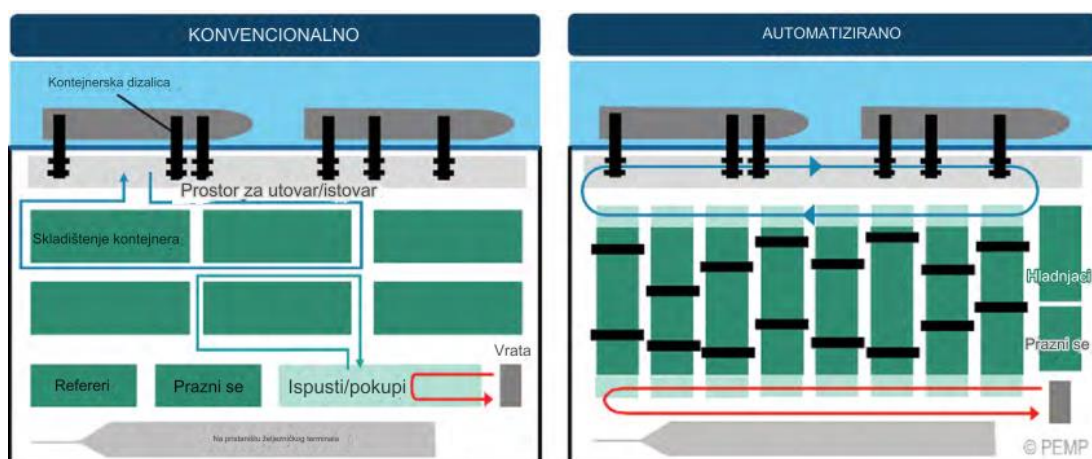
Jedan od najvećih izazova automatiziranih skladišta je usklađenost rada dizalica s transportom kontejnera brodom, odnosno, izrada optimalnog rasporeda s obzirom na brzinu rada dizalica. Najčešće se koristi djelomično automatizirana prekrcajna mehanizacija, kod koje radnik može u potpunosti preuzeti upravljanje ili odobriti određenu radnju. [6]

2.1. Organizacija skladišnog prostora

Prostor za privremeno odlaganje kontejnera podijeljen je u blokove kontejnera, čija širina i visina ovisi o karakteristikama prekrcajne mehanizacije koja opslužuje taj dio skladišta, Općenito, raspored skladišta ovisi o ulazno-izlaznim točkama kontejnera u skladište, poziciji mjesta razmjene kontejnera između prijevoznog sredstva i portalne dizalice i nivou automatizacije koja se koristi na terminalu. Prema konfiguraciji skladišta, razlikuju se dvije vrste skladišta [6]:

- **Azijski tip** – blokovi kontejnera postavljeni su paralelno u odnosu na pristanište. Primjenjuje se uglavnom na neautomatiziranim skladištima. Jedan ili više redova ostavlja se za ne smetani prolaz manipulacijskih sredstava. Dizalice u ovom slučaju preuzimaju kontejnere s prijevoznih sredstava ili ih postavljaju na prijevozna sredstva. (Slika 5. lijevo)[6]
- **Europski tip** – blokovi kontejnera postavljeni su okomito u odnosu na pristanište. Za razliku od azijskog tipa, primjenjuje se na automatiziranim terminalima. Ulazno/izlazne točke nalaze se na krajevima blokova kako bi se zadovoljili zahtjevi pristaništa i zaleđa. Automatizirano vođena vozila (Automated Guided Vehicles -

AGV) koriste se za opsluživanje pristanišne strane, dok se tegljači koriste u zaleđu terminala. (Slika 5. desno)[6]



Slika 5. Azijski tip (lijevo) i Euroski tip (desno)
Izvor: [9]

Slikom 5. prikazana je usporedba iznad navedenih vrsti organizacije skladišta, na lučkom terminalu povezanom sa željeznicom. Usporedbom performansi i troškova, europski tip ima veće investicijske troškove, ali manje troškove održavanja. Euroski tip organizacije skladišta ima bolje performanse zbog veće brzine manipulacije kontejnerima. Veći je kapacitet skladištenja, kao rezultat uklanjanja traka za prolaz prijevoznih sredstava, te generalno većih dimenzija mosnih dizalica. [6]

Negativna strana automatiziranih dizalica očituje se u konstantnoj potrebi za većom brzinom manipulacije. Povećane dimenzije blokova sprečavaju postizanje idealne brzine, te se iz tog razloga najčešće koriste poluautomatizirana rješenja. [6]

2.2. Prekrcajna mehanizacija kontejnerskog terminala

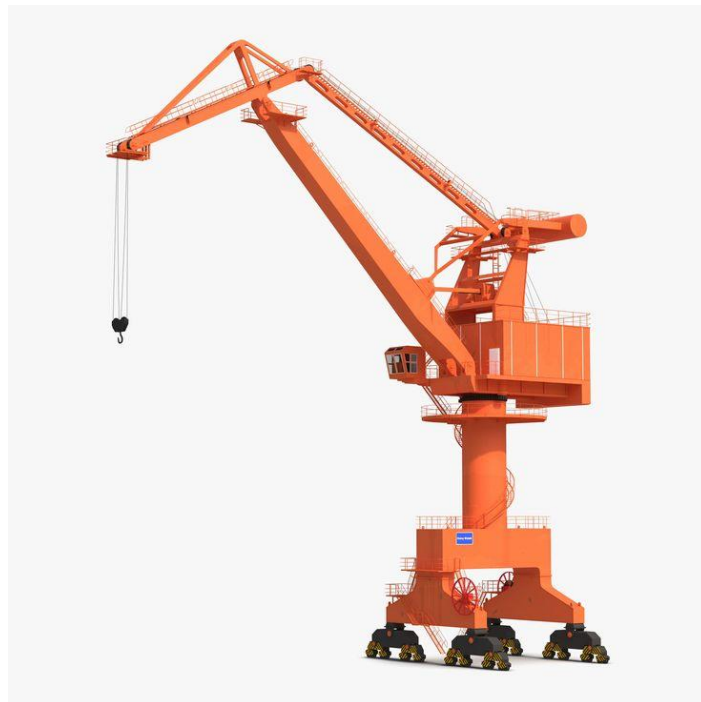
Kvaliteta logističke usluge ovisi o vremenu koje prijevozne jedinice provode na terminalima, stoga je potrebno prekrcaj kontejnera obavljati u što kraćem roku, na siguran način i bez dodatnih prekrcajnih troškova. Odnosno potrebno je izbjegavati neproduktivne manipulacije. Neproduktivne manipulacije su sve manipulacije s kontejnerom koje operater ne može naplatiti, primjerice preslagivanje kontejnera na bloku zbog nedostupnosti kontejnera predviđenog za ukrcaj. Povećanje takvih manipulacija može uzrokovati stvaranje gužvi na terminalu i kašnjenje kontejnerskih brodova na konačna odredišta, što povlači dodatne financijske troškove. Na prosječno vrijeme zadržavanja kontejnera na terminalu utječe vrijeme zadržavanja kontejnera na skladištu terminala. Upravo iz tih razloga potrebna je dobra organizacija skladišnih prostora, kako bi se traženom kontejneru moglo pristupiti na što jednostavniji i brži način, odnosno sa što manje neproduktivnih manipulacija. Izbor prekrcajne mehanizacije i prijevoznih sredstava na terminalu složen je proces, koji ovisi o nekoliko čimbenika kao što su: kapacitet, nosivost i broj potrebnih sredstava za rad. Jednako tako na izbor prekrcajne mehanizacije utječe vrsta terminala (kopneni terminal ili lučki terminal), u ovom slučaju: lučki terminal. Osim toga utjecaj imaju i veličina terminala, kapacitet terminala

i prijevozni modovi koji se susreću na terminalu. Prekrcajnu mehanizaciju lučkog kontejnerskog terminala čine portalne dizalice, manipulatori malih i velikih raspona, kontejnerski mostovi i različite vrste viličara. [10]

2.2.1. Kontejnerske dizalice

Uređaj za okomito dizanje i spuštanje kontejnera, te vodoravno premještanje kontejnera naziva se kontejnerskom dizalicom, bez obzira na to vrši li jednu, dvije ili sve tri navedene operacije. Dimenzije i raspon kontejnerskih dizalica ovise o vrsti terminala, širini brodova koje treba uslužiti, veličini kontejnera i odlagališnih površina na terminalu. [10]

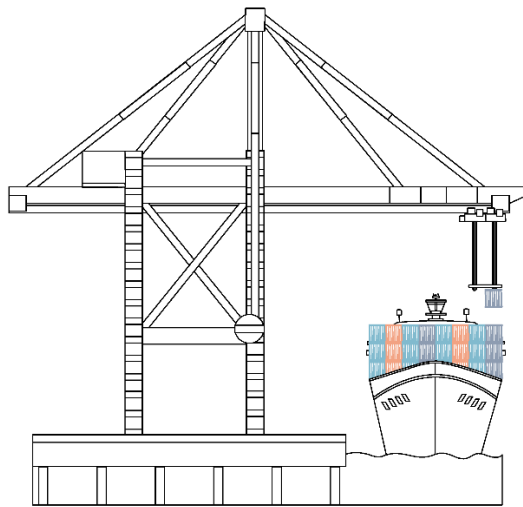
Lučke mobilne kontejnerske dizalice (slika 6.) su prijevozno-prekrcajna sredstva univerzalne namjene s dizelskim ili benzinskim motorom. Imaju elektrohidraulički mehanizam za dizanje, spuštanje i naginjanje hvataljki dizalica. Fleksibilne su i imaju veliku širinu primjene zbog svoje horizontalne pokretljivosti, te se mogu kretati s teretom za razliku od obalnih kontejnerskih dizalica. Mogu se kretati gumenim kotačima ili željezničkim kolosijecima po cijeloj površini terminala, što omogućuje njihovu primjenu na obali, ali jednako tako i u skladišnom djelu terminala. Nedostatak ove dizalice je zauzimanje velike površine terminala i veliko opterećenje koje se preko dizalice i njenih kotača prenosi na površinu terminala. [10]



Slika 6. Lučka mobilna kontejnerska dizalica
Izvor: [11]

Obalne kontejnerske dizalice (Slika 7.) svojom konstrukcijskom izvedbom podsjećaju na mostove pa se često nazivaju kontejnerskim mosnim dizalicama (Quay Crane – QC). Koriste se za prekrcaj kontejnera s broda na terminal i s terminala na brod. Kreću se po tračnicama, a

za prekrcaj kontejnera koriste hvatač, koji se kreće s kolicima duž mosta dizalice. Hvatač može biti po izvedbi krut, pa se koristi za prekrcaj samo jedne dimenzije kontejnera ili podesiv, što omogućava prilagodbu hvatača dimenziji kontejnera. Obalne kontejnerske dizalice jedan su od najvažnijih prekrcajnih sredstava lučkog terminala, te izravno utječu na cjelokupnu produktivnost terminala. Konstantnim povećanjem kapaciteta kontejnerskih brodova, dizalice dimenzija koje nisu sposobne prihvatiti povećanje kontejnera u optjecaju limitiraju produktivnost terminala. S obzirom na to tehničke karakteristike koje determiniraju rad kontejnerske dizalice su: nosivost ispod hvatača, dohvat od tračnica prema moru, visina i razina podizanja tereta i brzina vožnje kolica. [10]



Slika 7. Portalna kontejnerska dizalica
Izvor: [12]

Za napajanje dizalica može se koristiti istosmjerna ili izmjenična struja. Dizalice kod kojih se koristi istosmjerna struja spojene su u seriju i mogu se napajati s pomoću baterije. Za razliku od toga, ako se koristi izmjenična struja potrebno je dizalica konstantno spojena na generator.

Kolica na rampi dizalice pomiču se do kontejnera kojeg je potrebno iskrcati s broda, zatim se hvatač kontejnera spušta do kontejnera, osigurava se i podiže, te odlaže na terminalu. Kontejner se na velikim intermodalnim terminalima spušta na tegljač ili neko drugo prijevozno sredstvo koje se nalazi ispod dizalice.

Sukladno kategorijama dizalica, s vremenom se razvijala brzina kolica dizalice. Na modernim dizalicama brzina varira od 50 m/min do 240 m/min. Brzina ne opterećenog hvatača kontejnera je 180 m/min, a brzina opterećenog hvatača je gotovo upola manja, ovisno o dimenzijama i težini kontejnera. Usko vezana uz brzinu je produktivnost kontejnerske dizalice, ali i ukupna produktivnost cijelog kontejnerskog terminala. Produktivnost dizalice očituje se u broju prekrcaja u periodu od 60 minuta. Odnosno, koliko kontejnera dizalica prekrca od broda do prijevoznog sredstva ili obratno u sat vremena. U prosjeku dizalice obavljaju od 30 do 80 manipulacija u sat vremena, odnosno imaju od 70 % do 80 % tehnički moguće produktivnosti. Gubitci nastaju zbog elemenata iz okoline koja okružuje dizalicu, najviše vremenski uvjeti u kojima se obavlja prekrcaj i težina pojedinih kontejnera, ovisno o veličini i popunjenosti kontejnera. [13]

2.2.2. Razvoj obalnih kontejnerskih dizalica u budućnosti

Životni vijek dizalice predviđa se na 25 godina, u praksi je to bliže 20 godina zbog brzine razvoja kontejnerskih brodova. Kontejnerski brodovi razvijali su se kroz osam generacija od 1959. godine do danas. Nova generacija brodova imala je mogućnost zaprimanja većeg broja kontejnera u odnosu na prethodne. Sukladno tome nove dizalice izvedene su tako da imaju mogućnost opsluživanja velikih brodova bez produljivanja vremena koje brod provede na vezu.

Da bi se izbjeglo produljenje vremena provedenog na terminalu novije dizalice, konstruirane za opsluživanje Post-Panamax generacije brodova, koriste dvojni hvatač, prikazan slikom 8. Hvatač kontejnera ima ulogu da se kontejner osigura od pada tijekom transporta s broda na kopno ili s kopna na brod. Dvojnim hvatačem mogu se istovremeno prihvatiti dva četrdesetstopna kontejnera (Forty-foot Equivalent Unit – FEU). Trenutno se razvija tehnologija hvatača kontejnera kojim bi se moglo prihvatiti čak tri TEU kontejnera. [13]



Slika 8. Dvojni hvatač kontejnera
Izvor: [14]

Današnje dizalice mogu opsluživati brodove s 22 do 24 redova kontejnera, Daljnji razvoj ovisan je o dimenzijama Sueskog kanala, dugačkog 400 m i širokog 50 m, iako se predviđa povećanje u budućnosti. [13]

3. Edukacija djelatnika na kontejnerskim terminalima

Razvoj globalne trgovine potaknuo je razvoj kontejnerskih brodova, što je rezultiralo većim kapacitetom kontejnerskih brodova. Usprkos povećanju broja kontejnera koje je potrebno zbrinuti, broj djelatnika na kontejnerskim terminalima nije porastao jednakom brzinom. Kako bi kontejnerski terminal mogao zaprimiti povećani broj kontejnera pojavila se potreba za automatizacijom djela prijevoznih sredstava, primjerice tegljača koji prevoze kontejnere od pristanišnih dizalica do skladišnog prostora. Veći broj prekrcajnih kontejnera po radniku omogućuju prilagođeni rasporedi tereta po dizalici, kontrolirano radno vrijeme i uvjeti rada. Za uspješan rad terminala svaki djelatnik mora proći edukaciju, koja uključuje ponašanje u opasnim situacijama i u slučaju nesreće, upravljanje prijevoznim sredstvima i prekrcajnom mehanizacijom, manipulaciju kontejnerima, surađivanje s ostalim djelatnicima na terminalu i ostale vještine. Važno je da djelatnici redovito obnavljaju svoje znanje i vještine sukladno s napretkom tehnologije. [15]

Zahtjevi za obukom djelatnika na terminalima su različiti ovisno o državi u kojoj je terminal smješten. Države članice Europske Unije mogu se svrstati u tri grupe ovisno o zahtjevima za kvalifikaciju djelatnika na terminalima. U prvoj skupini država (države članice Europske Unije), edukacija djelatnika regulirana je zakonom ili ugovorom. U drugoj grupi država djelatnici koji upravljaju kontejnerskim dizalicama moraju imati certifikat o fizičkoj sposobnosti i usvojenim vještinama koje su nužne za upravljanje kontejnerskom dizalicom. To su države članice Europske Unije čiji su uvjeti regulirani lučkim upravama, odnosno: Belgija, Grčka i Portugal. Treća skupina država (Irska, Latvija, Poljska i Ujedinjeno Kraljevstvo) nema posebnih zahtjeva koji se tiču edukacije djelatnika, osim osnovne sigurnosne i zdravstvene edukacije.

Treninge i edukaciju države mogu organizirati na nacionalnoj razini, tako da edukaciju provodi nacionalna lučka uprava ili škola specijalizirana za edukaciju i trening djelatnika. Edukacijski centri najčešće su smješteni u veće luke zbog praktičnog djela edukacije, ali ne smiju biti povezani s lukom u kojoj održavaju edukaciju. Drugi način održavanja edukacije je lokalno. Takvim pristupom uprava luke je odgovorna za edukaciju djelatnika na svojim terminalima. U nekim zemljama Europske Unije kompanije su odgovorne za edukaciju i trening svojih djelatnika. Tako organiziranu edukaciju imaju: Irska, Latvija, Poljska i Ujedinjeno Kraljevstvo. U gotovo 75 % država članica postoji neka vrta edukacije, organizirana na neki od gore navedenih načina. Operateri kontejnerskih terminala uglavnom organiziraju dobro strukturiranu obuku unutar kompanije. [15]

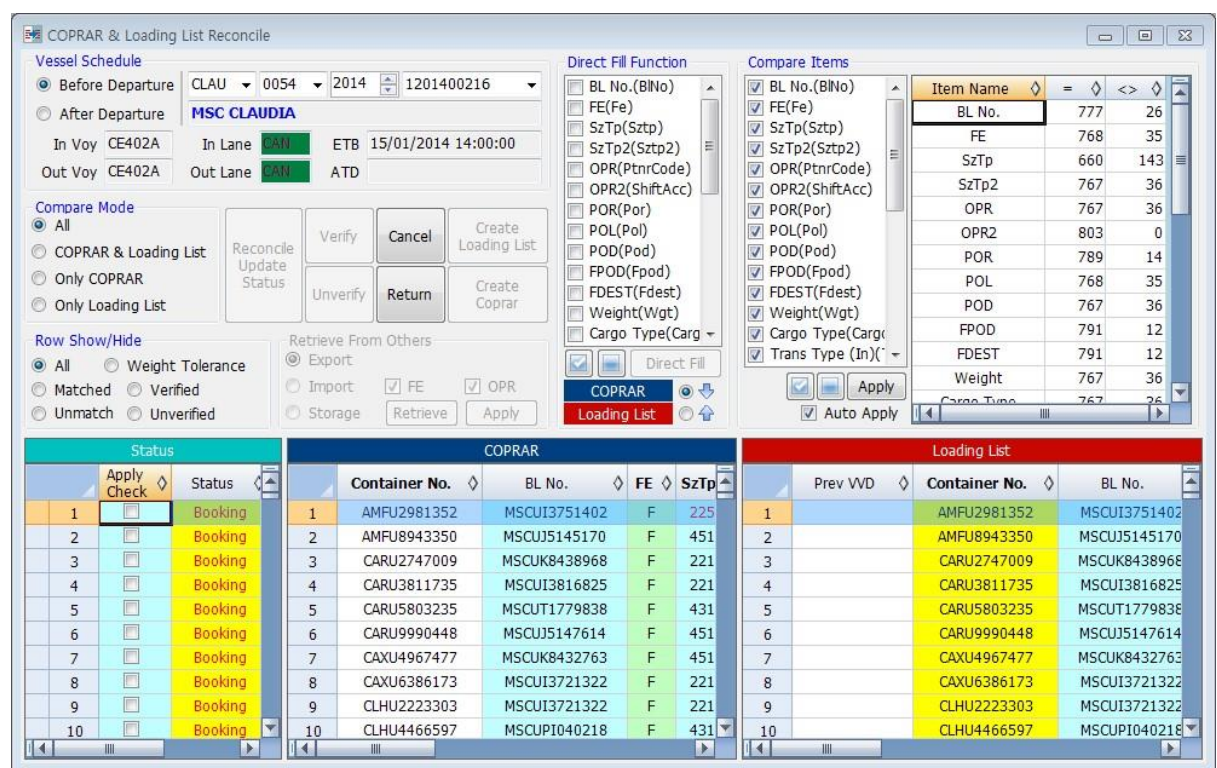
3.1. Konvencionalna edukacija djelatnika

Operativni sustav terminala (Terminal Operating System - TOS) koristi se za planiranje i kontrolu procesa na terminalu. Vještina upravljanja sustavom ovisna je o vještini i obuci djelatnika koji njime upravlja. Edukacija i treninzi djelatnika podijeljeni su u dva djela: konvencionalna edukacija i obuka na radnom mjestu. Obuka djelatnika provodi se u kontroliranom okruženju, u uvjetima u kojima djelatnici mogu najefikasnije usavršavati stare i stjecati nove vještine. Glavni cilj edukacije i usavršavanja djelatnika je povećanje njihove

produktivnosti, s obzirom na to da produktivnost kompanije ovisi o produktivnosti njezinih djelatnika. Povećanje produktivnosti znači povećanje broja prekrcajnih kontejnera u jedinici vremena, primjerice jednom satu. [16]

3.1.1. Razvoj operativnog sustava terminala

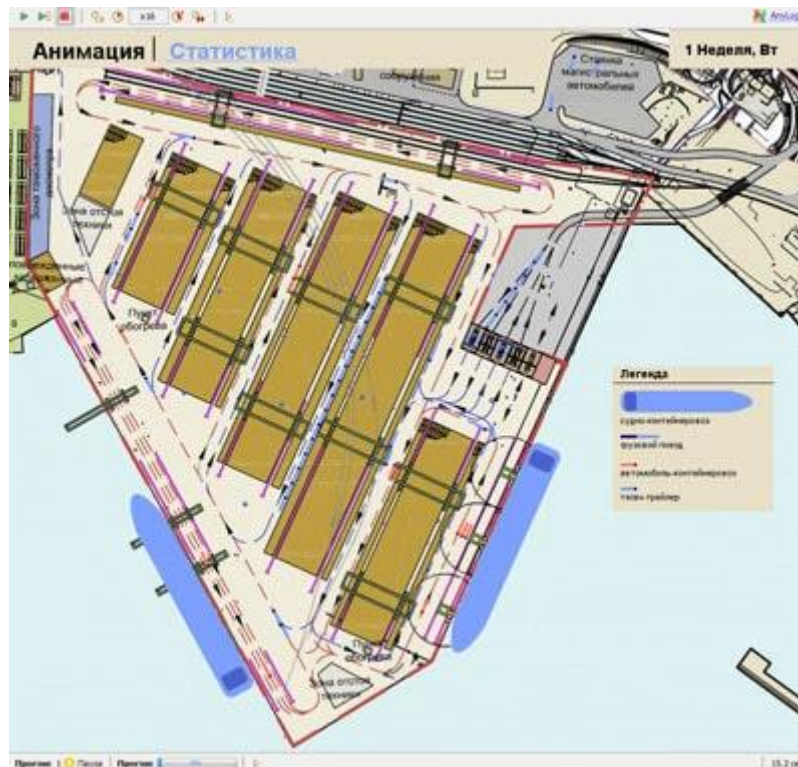
Razvojem kontejnerskih terminala, operacije i procedure na terminalu postale su sve kompleksnije. Prvim terminalima upravljali su djelatnici; određivali su kad će biti obavljen prekrcaj, na koje mjesto na skladišnom prostoru će biti iskrcan kontejner koji čeka prekrcaj na drugi oblik prijevoza i tko će obaviti prekrcaj. Kad se broj operacija na terminalu povećao, a obavljanje tih operacija postalo kompleksnije TOS (slika 9.) je postao važno sredstvo za planiranje rada. [16]



Slika 9. TOS sučelje
Izvor: [17]

Međuovisnost djelatnika i operativnog sustava terminala očituje se u kompleksnosti planiranja rasporeda skladišnog prostora (slika 10.), vezova, prijevoznih sredstava i prekrcajne mehanizacije. Donošenje odluka mora biti brzo i mora biti donesena dobra odluka, a s obzirom na broj istovremenih operacija na terminalu, donošenje odluka može biti vrlo apstraktno. Negativne posljedice loše donesene odluke mogu se odraziti na rad terminala u duljim periodima. Jednako tako, loša organizacija skladišnog prostora može uzrokovati preslagivanje kontejnera na bloku, a time stvaranje dodatnog troška zbog potrošenog vremena. Osim nepotrebnog gubljenja vremena, financijske posljedice ima i gubljenje robe, u ovom slučaju kontejnera zbog loše organizacije skladišnog prostora. TOS sustav pomaže riješiti

komplikacije na terminalu nastale pogreškom djelatnika, broдача ili nekog drugog subjekta. Na primjer ako brod ne uplovi na terminal u za to predviđeno vrijeme, uz pomoć TOS sustava, dodjeljuju mu se vezovi tako da njegovo kašnjenje ne poremeti vrijeme obrta drugih brodova na terminalu. S obzirom na to da kašnjenje u prijevozu ima domino efekt na ostatak opskrbnog lanca, kašnjenje broда na terminal uzrokuje problem pri dodjeli skladišnog prostora kontejnerima koji su s tog broда iskrcani, a namijenjeni su daljem prijevozu drugom prometnom granom. [16]



Slika 10. Simulacijski model za planiranje rasporeda skladišnog prostora kontejnerskog terminala
Izvor: [18]

Djelatnici koji nadziru TOS sustav moraju biti u toku s tehnologijom koju TOS sustav koristi za upravljanje terminalom. Osim toga, moraju biti dobro educirani i osposobljeni za rješavanje neplaniranih situacija za koje TOS ne može donijeti samostalnu odluku. To vrijedi i za najnaprednije verzije TOS sustava. Djelatnici koji njime upravljaju moraju poznavati sve operacije i procese na terminalu, ali moraju imati i iskustvo rada na terminalu, kako bi mogli adekvatno upravljati sustavim i nadomjestiti nedostatke i pogreške sustava. [16]

TOS sustav najčešće se integrira s drugim sustavima poput radiofrekvencijske identifikacije (Radio Frequency Identification – RFID) i globalnog sustava pozicioniranja (Global Positioning System – GPS) kako bi jednostavnije pratio kretanje tereta na terminalu i u što kraćem roku intervenirao u situaciji u kojoj je to potrebno. Za donošenje optimalnih odluka koristi se bazama podataka i algoritmima za donošenje odluka uz nadzor djelatnika koji mora biti osposobljen upravljati tim sustavima i programima. Općenito, implementacija TOS sustava na terminalima, bez obzira na njihovu veličinu, iznimno je bitna za funkcioniranje

terminala s obzirom na današnju potražnju za prekomorski i preoceanski prijevoz. Implementacija TOS sustava, jednako kao i svaka njegova kasnija modifikacija jedne su od najvećih i najvažnijih operacija na terminalu s obzirom na to da upravo taj sustav nadzire i kontrolira svu infrastrukturu, suprastrukturu i raspored tereta na terminalu. [19]

3.1.2. Osposobljavanje djelatnika za rad na terminalu

Pronalazak kandidata koji su fizički sposobni obavljati posao, te koji imaju potencijal u relativno kratkom periodu savladati znanja i vještine za rad na kontejnerskom terminalu jedan je od najvažnijih poslova mentora. Kandidati moraju biti sposobni u kontroliranim uvjetima naučiti tražene vještine kako bi mogli zadovoljiti zahtjeve kompanije, odnosno kako bi kompanija mogla imati traženu količinu prometa robe kroz terminal u jedinici vremena. Premda je edukacijski sistem dizajniran tako da se za posao pripreme samo najadekvatniji kandidati, neizbježnim napretkom tehnologije, infrastrukture, procedura na terminalu, djelatnici će morati usavršavati svoje vještine i usvajati nova znanja kako bi mogli upravljati novom prekrcajnom mehanizacijom ili prijevoznim sredstvima. Napredak i razvoj terminala ovisi o napretku drugih oblika prometa i međusobnoj konkurentnosti. Danas su intermodalni terminali česta i poželjna pojava s obzirom na to da cjelokupni opskrbeni lanac teži što kraćem vremenu prijevoza robe od mjesta proizvodnje do mjesta prodaje.

Razvojem tehnologije moglo bi doći do razvoja novih poslova unutar terminala koji danas ne postoje. Upravo iz takvih razloga je važna redovita edukacija djelatnika na terminalima. Kvaliteta edukacije ovisi o mentoru koji drži edukaciju, a takav posao obično imaju djelatnici koji jako dobro poznaju procese i protokole na terminalu, te su vrlo dobro upoznati s prekrcajnom mehanizacijom terminala. [20]

Dva glavna načela po kojima bi se trebala provoditi selekcija budućih djelatnika terminala jesu odabir pravih ljudi i pravilna edukacija odabranih. S obzirom na opasnosti koje rad na terminalu nosi potrebno je imati sposobne i kvalitetno educirane djelatnike na terminalu. Problem koji se javlja na terminalima, vezan uz broj djelatnika je neadekvatna iskorištenost ljudskih resursa. Odnosno, uprave terminala zapošljavaju prevelik broj ljudi u odnosu na iskorištenost njihovih sposobnosti. Usprkos tome postoje luke na čijim se terminalima pokazalo efikasnim iskorištavanje djelatnika sukladno njihovim sposobnostima, kako bi se maksimalno iskoristila radna snaga na terminalu. [20]

Prilikom osposobljavanja djelatnika za rad na terminalu postoje tri segmenta obuke: kognitivno učenje, obuka na radnom mjestu, primjerice osposobljavanje djelatnika za rad na pristanišnoj dizalici, prenosnoj dizalici ili za upravljanje tegljačem. Treći segment obuke je razvoj korektnog odnosa među djelatnicima kako bi suradnja i rad u timovima bio jednostavniji, a timovi efikasniji. Osposobljavanje počinje edukacijom o procesima na terminalu, pod pretpostavkom da nemaju svi kandidati prethodna znanja o radu terminala. Pojašnjavanjem protokola i organizacije terminala, koja se može opisati po ustrojstvu uprave i hijerarhiji djelatnika ili geografski, odnosno prostorno. Drugi dio osposobljavanja, trening za rad na radnom mjestu, održava se u kontroliranim uvjetima kako se kandidati ne bi izlagali opasnosti od ozljeda s obzirom na nedostatak znanja i iskustva pojedinih kandidata. U tu svrhu, danas se većinom koriste simulatori, a kandidata se pred kraj edukacije šalje u realno radno okruženje na radno mjesto. Edukacija o međuodnosu i suradnji djelatnika iznimno je važna

zbog komunikacije. Koordinacija djelatnika na terminalu važna je za izbjegavanje teških nesreća i katastrofa sa smrtnim posljedicama. Slika 11. prikazuje VR simulator za edukaciju o sigurnosti na terminalu. S obzirom na to da se na terminalu manipulira kontejnerima, koji su uglavnom maksimalno popunjeni zbog optimalnog iskorištenja teretnog prostora i isplativosti transporta. [21]



Slika 11. VR simulator za trening poduzimanja sigurnosnih mjera
Izvor: [21]

3.2. Uvjeti za rad na kontejnerskim dizalicama

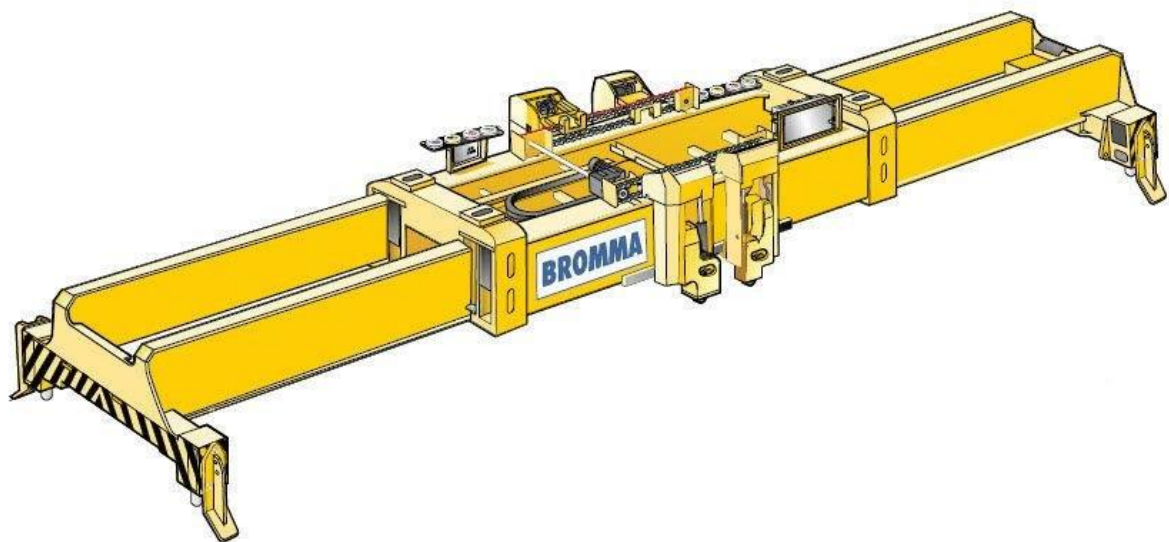
Ključan dio kontejnerskih terminala je prekrcajna mehanizacija kojom se kontejneri prekrcajavu s jednog oblika prometa na drugi ili na skladišni prostor terminala. Operacije prekrcaja kontejnera s broda na terminal obavljaju najiskusniji djelatnici terminala, koji imaju višegodišnje iskustvo rada na terminalu i dobro su upoznati sa svim rizicima koje ono nosi. Pravilna i temeljita edukacija, kao i fizička sprema kandidata najvažniji su čimbenici koji se uzimaju u obzir prilikom zapošljavanja novih djelatnika. Po završetku edukacije kandidati bi trebali usavršiti meke i tehničke vještine. [22]

- **Meke vještine** podrazumijevaju: komunikaciju, prilagodljivost, opreznost u radu, suradnja s drugim djelatnicima, rješavanje problema u relativno kratkom vremenu, dobro podnošenje stresa, dobra koordinacija i osjećaj za detalje. [22]
- **Tehničke vještine** podrazumijevaju: upravljanje različitim vrstama kontejnerskih dizalica, održavanje prekrcajne mehanizacije, čitanje shema dizalice i operativnih programa, poznavanje protokola za otpremu i prijem robe, upravljanje logističkim procesima i opskrbnim lancem, poznavanje propisa i postupanje u skladu sa standardima sigurnosti, osnovne mehaničke vještine u slučaju manjih kvarova na opremi i poznavanje carinskih uvoznih i izvoznih propisa. [22]

Većina djelatnika na pozicijama upravljanja kontejnerskom dizalicom posjeduje diplomu, ali za upravljanje kontejnerskom dizalicom dovoljna je i srednja stručna sprema uz položen ispit upravljanja dizalicom. Sukladno postojanju većeg broja organizatora edukacije za djelatnike, različite škole ne nude jednaku razinu obrazovanja. Djelatnici uglavnom započinju svoju karijeru rada na terminalu na nekim od nižih pozicija, kao pomoćni radnici ili vozači, zatim rade na manjim dizalicama dok je rad na pristanišnim dizalicama povjeren najiskusnijima. [22]

S obzirom na to da su terminali najvažnija čvorišta u globalnoj transportnoj mreži, radno vrijeme terminala je sedam dana u tjednu 24 sata. Odnosno, djelatnici rade u smjenama na način da terminal nikad ne stoji, odnosno da se konstantno vrši prekrcaj kontejnera. Takav rad vrlo često podrazumijeva rad u noćnim smjenama, na državne i religijske praznike, posebno u periodima pred blagdane kao što je Božić. Djelatnici moraju znati prilagoditi svoj rad različitim vremenskim uvjetima, jer kiša, snijeg i vjetar mogu bitno otežati rad s kontejnerskom dizalicom zbog mogućeg zanošenja hvatača kontejnera. [22]

Kontejnerske dizalice su jedan od najvažnijih elemenata infrastrukture kontejnerskih terminala. Na njima ključnu ulogu ima hvatač kontejnera kojim upravlja djelatnik terminala. Hvatač kontejnera (slika 12.) je uređaj na kontejnerskoj dizalici kojim se manipulira kontejnerima. Glavna uloga mu je omogućiti podizanje i spuštanje kontejnera, te omogućiti njihovo premještanje po terminalu i prijevoznim sredstvima. Dizajniran je tako da se zahvaća kontejner na rubovima i zaključava se kako bi omogućio sigurnu manipulaciju. Hvatačem se upravlja iz kabine djelatnika na dizalici, bez obzira o kojoj dizalici je riječ. Nakon što je kontejner prenesen na odgovarajuću poziciju hvatač se otključava i može ga se odvojiti od kontejnera. Postoje različite izvedbe hvatača, mogu biti poluautomatski i elektrohidraulični, za prilagodbe različitim vrstama kontejnera. [23]



Slika 12. Hvatač kontejnera
Izvor: [24]

U dnevne obveze djelatnika na početku svake smjene ubraja se provjera ispravnosti funkcija dizalice, kako bi se osigurala ispravnost i sigurnost obavljanja posla i time smanjila opasnost od nastajanja rizičnih situacija. Prije početka smjene potrebno je provjeriti sve dijelove dizalice u slučaju istrošenosti materijala. Slikom 13. prikazana je platforma s koje se obavljaju provjere i po potrebi popravci kontejnerske dizalice. [22]

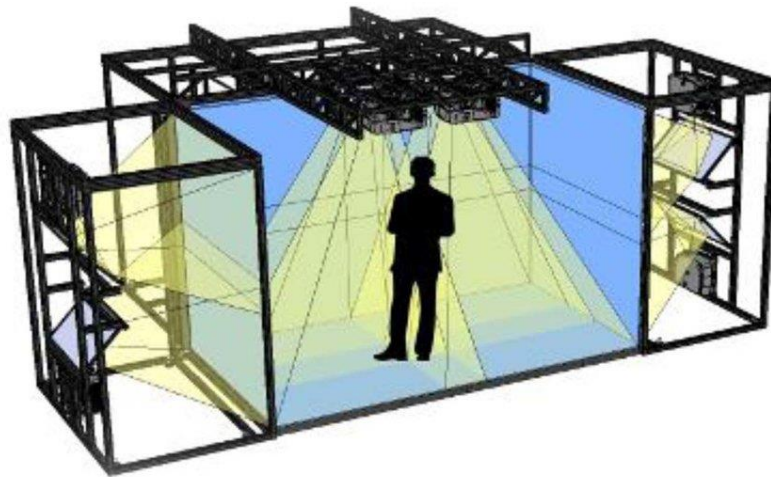


Slika 13. Platforma za obavljanje provjera i popravaka na kontejnerskoj dizalici
Izvor: [25]

Svaka dizalica ima svoj operativni program kako bi se osiguralo da se ispravni kontejneri iskrcaju s brodova i ukrcaju na brod točno oni kontejneri koje treba tim brodom otpremiti prema krajnjoj destinaciji. Kako bi se osigurao kontejner prilikom podizanja s broda brodari moraju komunicirati s djelatnicima na dizalicama i postupati po protokolu. Kad se s pomoću hvatača kontejner prenese s broda na kopno, potrebno ga je spustiti na tegljač koji je pozicioniran pod dizalicom. Za vrijeme iskrcaja, oko tegljača se nalaze djelatnici koji aktivno komuniciraju s djelatnikom na dizalici, te se na taj način osigurava precizno spuštanje kontejnera na tegljač. Taj proces vrlo je opasan i u slučaju pada kontejnera može doći do ozljeda opasnih po život djelatnika. [22]

4. Primjena virtualne stvarnosti u funkcioniranju kontejnerskih terminala

Kompjuterski generirano digitalno okruženje koje pruža korisniku mogućnost interakcije s virtualno okolinom razvijeno je 1960-ih godina. Virtualna stvarnost je kompjutersko okruženje, čija je primjena danas široka, te se implementira u računala, u zaslone za glavu (Head-mounted display – HMD), te Cave automatsko virtualno okruženje (Cave automatic virtual environment – CAVE). HMD uređaji se stavljaju na glavu korisnika, dok CAVE sustav predstavlja prostoriju u kojoj se projicira virtualna stvarnost okružujući korisnika (slika 14.). HMD sustavi (slika 15.) pružaju široko vidno polje i visoku rezoluciju, te su dostupni javnosti, primjerice Oculus Rift, HTC Vive i Sony PlayStation. [26]



Slika 14. CAVE sustav
Izvor: [27]



Slika 15. HMD sustav
Izvor: [28]

4.1. Primjena VR tehnologije u edukaciji djelatnika

Stvaranje scena uz pomoć simulacije omogućilo je novi pristup edukaciji, planiranju i odlučivanju. VR tehnologija ima široku primjenu u svijetu, od virtualnih igara, za što tehnologiju koristi javnost do planiranja i edukacije, za što tehnologiju koriste kompanije. Jedan od glavnih razloga zašto se koristi tehnologija virtualne stvarnosti u obuci djelatnika na kontejnerskim terminalima je mogućnost usavršavanja znanja i vještina koji su potrebni za obavljanje prekrcaja u stvarnom svijetu, bez ugrožavanja ljudskih života ili nanošenja štete robi zbog neispravnog rukovanja kontejnerom. Obuka se odrađuje uz pomoć posebno dizajniranih simulatora unutar kojih postoje scenariji u kojima kandidat mora rješavati zadatke. Zadaci se mogu sastojati od prekrcaja kontejnera s broda na tegljač ili obratno, prekrcaja kontejnera s broda na vlakove koji su opremljeni plato teretnim vagonima za prijevoz kontejnera i prekrcaj kontejnera na skladišni prostor terminala. [19]

Kandidati imaju mogućnost isprobati svoje vještine i usavršiti osnove rada na dizalicama, a istovremeno mogu doživjeti posljedice svojih pogrešaka na radnom mjestu bez da pritom predstavljaju opasnost drugim djelatnicima ili procesima na terminalu. Uz pomoć simulacija mogu se simulirati različiti vremenski uvjeti, po kojima je otežan rad dizalice. Također težina kontejnera nije uvijek jednaka već ovisi o tome je li kontejner pun, polupun ili prazan, kao što postoji razlika između FEU kontejnera, koji se najčešće koristi i TEU kontejnera.

Tehnologija se može koristiti i za isprobavanje novih strategija, rasporeda i organizacije terminala. Rezultati simulacije mogu pokazati nedostatke u strategijama bez da produktivnost terminala pada zbog donošenja loših odluka. [19]

Trening na simulatoru ima tri osnovne faze: priprema treninga, proces treninga i evaluacija treninga kojom se utvrđuju slabosti kandidata i procesi koji još nisu usvojeni. U prvoj fazi, fazi pripreme, kandidati se prema zahtjevima uprave terminala podučavaju korištenju TOS sustava. Kad se usvoji upravljanje TOS sustavom, započinje druga faza, faza treninga. Trening se odrađuje na simulatoru koji posjeduje određena škola za obuku djelatnika na kontejnerskim terminalima ili uprava terminala, ovisno o vrsti organizacije same edukacije. [19]

Postavljanje ciljeva koji se očekuju po završetku procesa edukacije i treninga jako je važno zbog ciljanog treninga kandidata za određenu poslovnu poziciju na terminalu. Prema tome neki od ciljeva edukacije i treninga VR simulatorom su: planiranje raspodjele vezova i dizalica po brodovima ovisno o njihovoj veličini, planiranje skladišnog prostora kako bi proces prekrcaja na terminalu bio što kraći, uz to trenira se i održavanje prekrcajne mehanizacije, upravljanje tegljačima i dizalicama. Rad na terminalu zahtjeva konstantno obnavljanje znanja zbog napretka u tehnologiji, primjerice upotreba automatiziranih vozila za prijevoz kontejnera od pristaništa do skladišnog prostora. Svako unaprjeđenje TOS sustava zahtjeva ponovno usavršavanje znanja i vještina, jer s napretkom tehnologije dolazi i do povećanja prometa, a time i brzine protoka kontejnera kroz terminal. Sukladno tome, koriste se različiti nivoi edukacije i treninga. Obuka kandidata za djelatnika na kontejnerskom terminalu podrazumijeva edukaciju i trening za upoznavanje sustava, za što se koristi jedna vrsta simulacije. Kad je riječ o usavršavanju znanja, postavlja se pitanje koliko djelatnik ima iskustva na određenoj poziciji? Prije početka usavršavanja djelatnici odgovaraju na određena pitanja na temelju koji se slažu grupe za edukaciju i trening. Obuka se prilagođava svakoj grupi, te može biti fokusirana samo

na samo određeni set vještina, za to se kreiraju simulacijska okruženja sa zadacima koji imaju za cilj usavršiti određene meke ili tehničke vještine. [19]

Organizacija treninga na simulatoru je odgovornost mentora koji je zadužen za usavršavanje. Trening ne smije predugo trajati kako djelatnici ne bi izgubili volju i koncentraciju, već mora biti dobro isplaniran. Cilj obuke je u što kraćem roku i na što bolji način usavršiti vještine djelatnika kako bi se povećala njihova produktivnost, a da posao odrade na siguran način i time omogućće nesmetan rad terminala. [19]

4.2. Sigurnost na kontejnerskom terminalu

Pojava nesreća u visoko-rizičnim okruženjima je česta pojava, posebice kad je u pitanju lučki terminal. Sigurnost na terminalu može biti ugrožena robom koja se prekrcava i skladišti, neispravnom ili nedovoljnom edukacijom djelatnika ili manjkom iskustva. VR se koristi kako bi se djelatnicima približio izgled okruženja i postupka u slučaju opasnosti na određenom dijelu kontejnerskog terminala. Opasnost od ugrožavanja sigurnosti na terminalu predstavljaju: visoke temperature, opasne kemikalije, manjak iskustva, ali i samouvjerenost djelatnika. [29]

4.2.1. Rizici na kontejnerskom terminalu

Razvoj opasnih situacija i nastajanje velikih materijalnih, pa tako i novčanih šteta uzrokuje neispravno rukovanje prekrcajnom mehanizacijom, pogreška u radu strojeva ili osjetljivost materijala koji se transportira. Razina sigurnosti na terminalima raste, ali do uvođenja novih sigurnosnih mjera najčešće dolazi povodom nastanka opasne situacije praćene štetom velikih razmjera. Postoje tri glavne kategorije štete na terminalima [30]:

- ozljeda djelatnika,
- oštećenje kontejnera,
- oštećenje sustava.

Od navedenih kategorija šteta najčešće se pojavljuju oštećenja kontejnera (slika 16.) i oštećenje različitih elemenata sustava, dok se ozljede djelatnika rijetko događaju, ali mogu imati smrtne posljedice. [30]



Slika 16. Oštećenje kontejnera
Izvor: [30]

Oštećenja kontejnera mogu imati različite uzroke, slikom 16. prikazano je vanjsko oštećenje kontejnera najčešće uzrokovano padom kontejnera s kontejnerske dizalice. Šteta na kontejneru može nastati prodorom morske vode pri čemu se može oštetiti kontejner, ali i roba u kontejneru. Osim toga, kontejneri mogu biti ukradeni što predstavlja izazove za prijevoznike. [31]

Rad na kontejnerskom terminalu predstavlja velike rizike za djelatnike koji rade u određenim sektorima terminala. Do najvećeg broja ozljeda dolazi prilikom iskrcaja i ukrcaja kontejnera s broda na kopno i obrnuto. Razvoju sigurnosti se proteklih godina posvećuje velika pažnja, implementacijom sigurnosnih mjera i protokola, te pravilnom edukacijom radnika. U svrhu pravilne edukacije radnika potrebno je identificirati sve relevantne opasnosti i rizike koji se mogu pojaviti na kontejnerskom terminalu. Nesreće se mogu kategorizirati na [32]:

- nesreće nastale prilikom prekrcaja,
- nesreće nastale zbog požara,
- ekološka šteta,
- ozljeda na radu i
- sudari.

Ozbiljnost nesreće karakterizira razinom nastale štete, prema tim kriterijima nesreće variraju od neznčajnih i malih do katastrofa vrlo velikog značaja. [31]

- Neznčajna nesreća – nije došlo do ozljede djelatnika, nema zastoja u radu i nema negativnih posljedica za okoliš.
- Mala nesreća – ima za posljedice manje ozljede djelatnika, manja oštećenja opreme
- Nesreća srednjih razmjera – ozbiljnije ozljede djelatnika i značajniji kvarovi na opremi
- Teška nesreća – može imati za posljedice teške ozljede ili smrt djelatnika, velika oštećenja na opremi
- Katastrofa – višestruki smrtni slučajevi, zamjena opreme.

Nesreće uzrokovane požarom na kontejnerskim terminalima najčešće su uzrokovane kvarovima na strojevima i prijevoznim sredstvima, štoviše čak 55 % nesreća nastalo je zbog požara na prijevoznim sredstvima i ostaloj infrastrukturi kontejnerskog terminala. Razlozi nastanka požara mogu biti neispravno rukovanje djelatnika, nesreće u kojima su djelatnici pregaženi ili usisani pod strojeve. Vremenski uvjeti poprilično utječu na požare i pridonose nastanku istih, primjerice kad se rukuje robom koja je osjetljiva na visoke temperature. U razloge nastanka požara može se ubrojiti nepravilno upravljanje kontejnerskim dizalicama u pristanišnom ili skladišnom djelu terminala, nepoštivanje sigurnosnih pravila, te ostavljanje mehanizacije bez nadzora u opasnim situacijama i prekovremeni rad strojeva. [32]

Prilikom iskrcaja kontejnera s broda na terminal ili ukrcanja kontejnera s terminala na brod do nesreća dolazi pogreškom djelatnika u 42 % slučajeva. Promatrajući nesreće nastale tijekom prekrcaja kontejnera mogu se podijeliti prema mjestu nastanka, odnosno: nesreće nastale na obalnom djelu terminala i nesreće nastale na skladišnom dijelu terminala. Do nesreća u kojima sudjeluju kontejnerske dizalice može doći zbog pogreške djelatnika u upravljanju, održavanju ili nadzoru dizalice. Jednako tako, nesreću može uzrokovati kvar na dizalici u obliku elektroničkog kvara ili mehaničkog oštećenja. Nepovoljni vremenski uvjeti utječu na vidljivost na terminalu, posebno djelatnicima koji upravljaju dizalicama. Upravo iz tih razloga se korištenjem VR simulacije mogu simulirati različiti vremenski uvjeti prilikom edukacije djelatnika. [32]

4.2.2. Simulacijski model – kontejnerski terminal u Genovi

U svrhu edukacije i pripreme za postupanje u opasnim situacijama, koriste se modeliranje i simulacija (Modeling and Simulation - M&S) i proširena stvarnost (Extended reality - XR). Ovi sustavi omogućuju stvaranje virtualnog svijeta kako bi se simulirale opasne situacije u kojima bi djelatnici učili o ispravnim postupcima u slučaju krizne situacije. U sklopu istraživanja razvio se trodimenzionalni simulacijski model na temelju podataka sakupljenih na jednom od većih terminala. Podatci su prikupljeni tijekom prekrcajnih radnji nad opasnim tvarima na skladišnom prostoru terminala. Iz prikupljenih podataka utvrđeno je da su najvažnije komponente za smirenost i kontrolu nad situacijom, znanje i snalažljivost djelatnika. Simulacijskim modelom analizirani su elementi prekrcajnih radnji u odnosu na rizike kojima se djelatnici izlažu za vrijeme izvođenja istih. [29]

Ulogu u smanjenju sigurnosti na terminalima imalo je naglo povećanje trgovine. Povećao se promet robe te se pojavila potreba za proširenjima terminala i novom radnom snagom. Usprkos analizama uzroka nastanka nesreća na terminalima, zbog kompleksnosti prekrcaja opasnih tvari i povećanja transporta pomorskim putem, broj nesreća je u porastu. Nastanku nesreće na kontejnerskom terminalu najviše pridonose čimbenici pogreške djelatnika: propusti iskustvo, nesporazum u komunikaciji, ne pravilna zaštita na radu, preopterećenost i stres. Drugi čimbenici koji utječu na sigurnost su način skladištenja rizične robe koja čeka daljnji transport i neispravno osigurana prijevozna sredstva. Zbog takvih scenarija od iznimne je važnosti kontinuirano educirati djelatnike i stvarati sigurnije radno okruženje. Zahvaljujući razvoju softvera i hardvera kroz proteklih nekoliko godina moguće je stvoriti scenarije za edukaciju djelatnika o novim tehnikama. Pristupačnost HMD sustava, koriste se inovativne metode uz

pomoć VR tehnologije. Simulacijskim modelom kontejnerskog terminala obuhvaćeni su svi ranije navedeni rizici, od vremenskih nepogoda i opasnih tvari do ozljeda radnika i mehaničkih oštećenja prekrcajne mehanizacije. Implementirani su svi elementi kontejnerskog terminala: dizalice na pristaništu, prekrcajna mehanizacija, skladišni dio terminala i djelatnici. Korištenje modela omogućilo je proučavanje najefikasnijeg načina izvođenja radnji na terminalu uz što manji rizik od nastanka štete. [29]

4.3. Platforma za dijeljenje informacija na terminalu

Tradicionalni način prikupljanja i upravljanja informacija na terminalu podrazumijeva numeričku obradu podataka uz pomoć dijagrama. Napretkom logistike kontejnerskih terminala s ciljem povećanja efikasnosti i smanjenja troškova, teži se ka upotrebi novih tehnologija, odnosno VR i geografskog informacijskog sustava (Geographical Information System - GIS) (slika 17.). Novi sustav za upravljanje informacijama temelji se na VR tehnologiji. Predstavljen je i testiran u Kini na jednom od kontejnerskih terminala. Istraživanje je pokazalo da je sustav adekvatan za primjenu na kontejnerskim terminalima pri upravljanju operacijama i popratnom logistikom. [33]



Slika 17. GIS sustav
Izvor: [34]

Razvojem logistike na terminalima, promijenio se i značaj terminala u transportnoj mreži. Terminali su nekad predstavljali točke prekrcaja s jednog oblika prijevoza na drugi oblik prijevoza. Danas imaju proširenu funkciju u transportnoj mreži kao logistički centri. Lučka se logistika može razdvojiti na dva segmenta: mikro i makro logistiku. Mikro logistika se bavi fizičkim radnjama na terminalima: ukrcaj, iskrcaj, prekrcaj, skladištenje i slično, dok se makro logistika bavi popratnom dokumentacijom. Novi sustav temeljen na VR tehnologiji kreiran je kako bi se što efikasnije obradila popratna dokumentacija kontejnera, jer je to preduvjet za daljnje nesmetano obavljanje transporta.

Lučki informacijski sustav povezuje više informacijskih sustava, te prikuplja podatke o poduzećima i korisnicima. Interna informacijska povezanost između više odjeljenja terminala ima veliku ulogu u radu svakog terminala u luci zasebno, ali i luke kao cjeline. Odnosno, razmjena informacija omogućuje povezanost poslovnih subjekata u luci. Prijevozne kompanije se koriste tehnologijom elektroničke razmjene podataka (Electronic Data Interchange - EDI) za slanje brodske dokumentacije, uključujući teretnicu s popisom robe ukrcane na brod, djelatnicima na terminalu. Kontejneri se na području kontejnera prate uz tehnologiju radiofrekvencijske identifikacije (RFID) i sustav globalnog pozicioniranja (GPS) u svrhu kreiranja dinamičkog rasporeda manipulacija nad kontejnerima.

Prostorne informacije o skladišnom prostoru terminala, pristaništu, pozicijama prekrcajne mehanizacije i tereta važne su zbog upravljanja skladišnim prostorom, vezovima i zbog izrade optimalnog rasporeda za kontejnerske dizalice na pristaništu, ali i na skladišnom djelu terminala. Na terminalu postoje različiti podsustavi za upravljanje i dijeljenje informacija, svaki od njih može funkcionirati samostalno, ali su svi međusobno povezani. Sustav upravljanja proizvodnjom u stvarnom vremenu upravlja proizvodnim procesima na terminalu u što se ubrajaju usluge dodatne vrijednosti. Sustav financija upravlja podacima o radu terminala, servisni sustav terminala obavlja redovne servise i popravke nad prekrcajnom mehanizacijom terminala; tegljača, dizalica i prijenosnika. Sustav daljinskog upravljanja ima ulogu kontrole i nadzora nad opremom terminala. Sustavi ovise jedan o drugome jer sve informacije prolaze kroz sustav upravljanja proizvodnjom u stvarnom vremenu, koje šalje sustav upravljanja na daljinu u slučaju kvara kako bi se isti što prije otklonio i nastavio nesmetani rad terminala. U slučaju kvara na dizalici, informacije se šalju sustavu za upravljanje financijama; vrijeme ukrcaja i iskrcaja. Sustav za upravljanje informacijama računa potrebne zalihe. Jednako tako financijskom sustavu šalju se vrijeme popravka, vrijeme održavanja i sredstva potrošena u svrhu održavanja.

Problemi u komunikaciji među sustavima javljaju se zbog potrebe višestrukog unosa iste informacije i netočnog unosa informacija. Postoji nekoliko tehnika koje se koriste na terminalima kako bi se izbjegle pogreške u komunikaciji [33]:

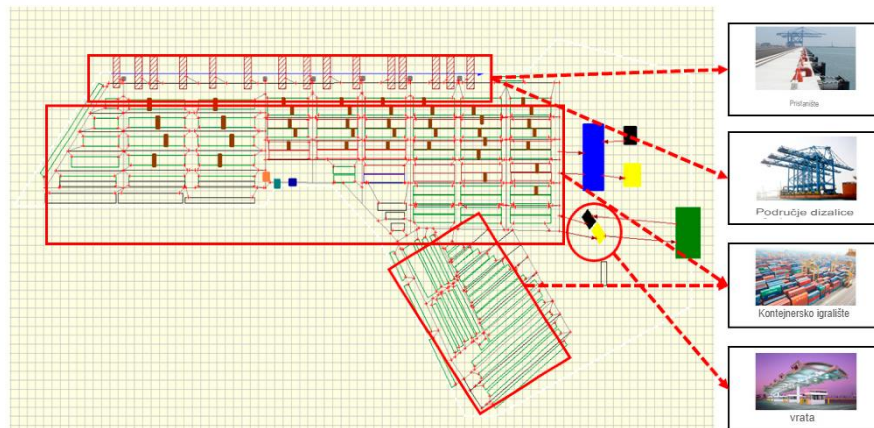
- a) Postupak razvoja informacijskog sustava,
- b) bliska suradnja programera informacijskog sustava i inženjera na terminalu i
- c) uspostavljanje jedinstvenih standardnih kodova za robu i prekrcajnu mehanizaciju na terminalu.

Zajednička odgovornost programera i djelatnika na terminalu je održavanje sustava za upravljanje informacijama i obnavljanje informacija u sustavu. [33]

4.4. Dijeljenje informacija korištenjem VR tehnologije

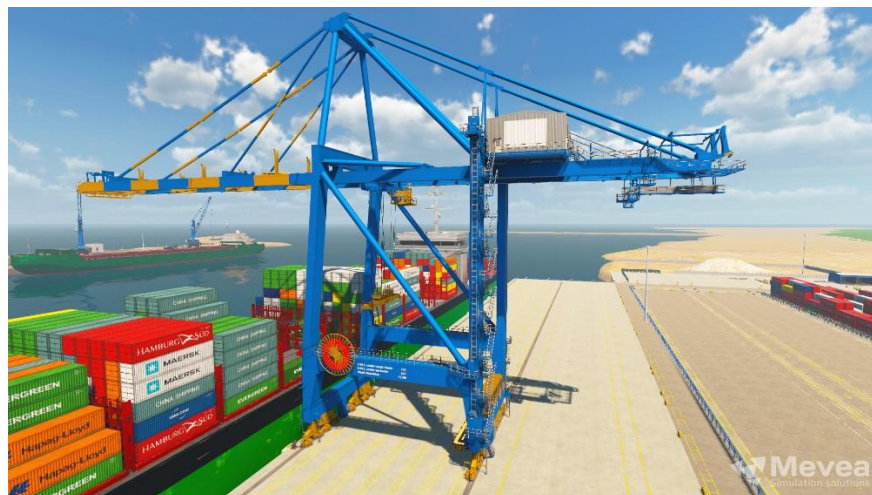
Sustavi za upravljanje radom temeljeni na VR tehnologiji na kontejnerskim terminalima (Container Operation Management System - COMS) koriste informacije iz naslijeđenih sustava. Koristeći postojeće baze podataka stvaraju se trodimenzionalne scene u VR simulatorima. Scene predstavljaju realne aktivnosti na terminalu koristeći postojeću prekrcajnu mehanizaciju i prijevozna sredstva. Postojeći COMS sustav (slika 18.) prilagođen je tehnologiji virtualne stvarnosti kako bi kontejnerski terminali mogli saznati informacije te na njih prikladno odgovoriti u realnom vremenu. [33]

U tradicionalnim sustavima za upravljanje informacijama koriste se informacije u tekstualnom obliku, kako bi se mogla koristiti VR tehnologija potrebne su geografske informacije za projekciju u trodimenzionalnom sustavu. Geografske informacije podrazumijevaju raspored na skladišnom prostoru terminala, razmještaj i vrste brodova nad kojima se vrši prekrcaj. Ovisno o generaciji kontejnerskog broda razlikuje se kapacitet zapremnine, odnosno skladišnog prostora na brodu. VR simulacija modelira se na temelju dvodimenzionalnih prostornih informacija na karti skladišnog prostora. [33]



Slika 18. Prikaz kontejnerskog terminala u sustavu za upravljanje
Izvor: [35]

Modeliranje statične scene u VR simulatoru podrazumijeva stvaranje nepomičnih objekata kao što su: pristanište, more, skladišni prostor terminala i infrastrukturne objekte. Modeliranje pokretnih scena uključuju stvaranje pokretnih objekata na terminalu, odnosno suprastrukturu, kao što su kontejnerske dizalice, tegljači i prijenosnici. Slikom 19. prikazan je rad obalne kontejnerske dizalice u VR simulatoru. [34]



Slika 19. Obalna kontejnerska dizalica u VR simulatoru
Izvor: [36]

Putanje kretanja i koordinacija tih objekata modeliraju se na temelju baze podataka. U simulaciji postoji više vrsta kontejnera, dvadesetstopni kontejner prikazan je trodimenzionalnim objektom duljine od dvadeset inča, a četrdesetstopni kontejner prikazan je kao objekt duljine četrdeset inča.

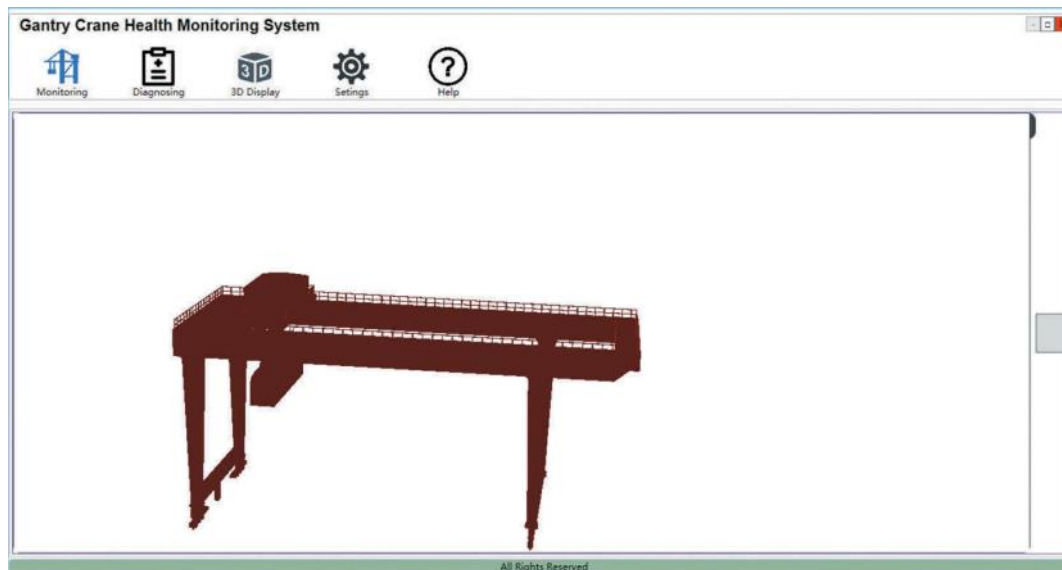
Portalne dizalice su najkompleksnije za modeliranje jer je njihovo kretanje ovisno o promjeni veličine i lokacije objekata koji ih okružuju. [33]

4.5. Sustav za nadzor prekrcajne mehanizacije

Portalne i pristanišne dizalice ubrajaju se u jedne od većih strojeva na terminalu. Njihovo održavanje od iznimne je važnosti za obavljanje procesa na terminalu. Za nadzor radne sposobnosti dizalica koristi se Braggova rešetka (Fiber Bragg Grating - FBG). Razvijen je trodimenzionalni sustav virtualne stvarnosti kojim se nadzire prekrcajna mehanizacija terminala. Sukladno potrebama korisnika, ovim je sustavom moguće predvidjeti rizike koje nose određeni kvarovi na prekrcajnoj mehanizaciji. Redovno održavanje koje se obavlja u fiksnim intervalima se korištenjem virtualne stvarnosti može zamijeniti prediktivnim održavanjem.

Simulacija terminala u VR sustavu modelirana je na temelju podataka sa stvarnog terminala, što omogućuje predviđanje budućih kvarova i potreba za servisom. Prediktivno održavanje provodi se kad se utvrdi visoka mogućnost pojave određenog kvara na stroju. Takvim održavanjem smanjuje se mogućnost zastoja u proizvodnim procesima terminala. [37]

FBG sustav senzora analizira stanje dizalica tako da su FBG senzori raspoređeni po dizalicama na mjestima gdje je dizalica najviše opterećena, odnosno na mjestima na kojima najčešće dolazi do kvarova ili trošenja materijala. Senzori su povezani s centralom s pomoću optičkih vlakana. Sustav (slika 20.) zatim obrađuje dobivene podatke kako bi utvrdio moguće opasnosti od nastajanja kvarova, a dobiveni rezultati omogućuju pravovremeno uklanjanje rizika. Sustav za dijagnozu stanja pruža stručnjacima informacije o količini „stresa“ na najopterećenijim točkama dizalica, prema podacima preuzetih od FBG sustava. Uspoređuju se podaci iz realnog sustava s referentnim vrijednostima, a ako se utvrdi određena podudarnost šalje se informacija o potrebi za popravkom nastale štete na dizalici. Za analizu i identifikaciju uzroka nastalog kvara koristi se online sustav za nadzor. Sustav radi na jednostavnom principu prikupljanja i analize podataka i uočavanja kvarova ili rizičnih stanja na prekrcajnoj mehanizaciji. [37]



Slika 20. Sustav za dijagnozu stanja prekrcajne mehanizacije terminala
Izvor: [38]

Kreiranje trodimenzionalno sustava dizalice se može podijeliti u dva djela: geometrijsko modeliranje i modeliranje pokreta. Prilikom modeliranja VR simulacije dizalice potrebno je pravilno okarakterizirati pokrete svakog od njezinih pokretnih dijelova, kako bi vjerno predstavljala realno funkcioniranje dizalice u stvarnosti. Za ispravan rad simulacije potrebno je izraditi tri koordinatna sustava: globalni, koordinatni sustav dizalice i lokalni koordinatni sustav. Nakon što su koordinatni sustavi kreirani potrebno je analizirati kretanje prekrcajne mehanizacije, primjerice kod portalne dizalice, potrebno je analizirati radnje kao što su: kretanje dizalice po skladišnom prostoru terminala između blokova kontejnera, rotacija dizalice i rad hvatača, odnosno spuštanje i dizanje kontejnera. [37]

5. Vrste simulacijskih alata u edukaciji djelatnika na kontejnerskim terminalima

Održavanje obuke na sredstvima korištenim na terminalu može biti opasno i skupo. Za potrebe edukacije novih djelatnika razvili su se sustavi koji mentorima i upravi terminala nude mogućnosti edukacije i treninga u okruženju kreiranom uz pomoć VR tehnologije. Korištenje modeliranja i simulacije u obuci nudi platformu na kojoj se može pripremati djelatnike za više različitih pozicija na terminalu, a svi detalji obuke mogu se pohraniti za kasniju analizu. Vrste simulacija koje se koriste podrazumijevaju simulaciju obalne kontejnerske dizalice, upravljanje prenosnicima, viličarima i drugim prijevoznim sredstvima na terminalu. [39]

5.1. CAVE sustav

Simulacijski alat kojim se u prostoriji po zidovima, podu i stropu projicira stereo slika virtualnog svijeta. CAVE sustav (slika 21.) izrađen je na sveučilištu u Chicagu. Za vrijeme simulacije u sustavu može biti više korisnika, kojima su podijeljene uloge. [40]



Slika 21. CAVE sustav u kojem se nalazi više korisnika
Izvor: [41]

Slikom 21. prikazan je CAVE sustav u kojem se projicira slika ulice, te dva korisnika imaju podijeljene uloge. Korisnici se u sustavu koriste stereo naočale (slika 22.) i štapićem na kojemu se nalazi lokator, koji omogućava usmjereno kretanje po virtualnom okruženju. Prostor je ozvučen, što pridonosi osjećaju stvarnosti. [40]



Slika 22. Stereo naočale za CAVE sustav
Izvor: [42]

5.2. HMD sustav

Računalo koje je izvedeno kao zaslon za postavljanje na glavu korisnika služi za simulaciju virtualne stvarnosti. Namijenjen je nošenju na glavi, a može biti izveden u obliku kacige. Specifičnost sustava je to što korisniku pruža potpuno uranjanje u virtualno okruženje, a sensorima se prate pokreti korisnika kako bi bez obzira o pokretu korisnika ispravna slika virtualnog okruženja bila projicirana na zaslon uređaja. Razvojem sustava, razvilo se nekoliko sučelja koja se temelje na HMD sustavu. Jedan od njih je Oculus Rift (slika 23.) koji je u primjeni od 2016. godine, a sve njegove verzije kroz razvoj dostupne su javnosti. Podržava rezoluciju od 1080x1200 piksela po oku i 110° pokrivenosti prostora. [40]



Slika 23. Oculus Rift naočale
Izvor: [43]

Drugo sučelje koje za razliku od Oculus Rifta koristi dva zaslona, je HTC Vive (slika 24.). Koristi se jedan zaslon za svako oko dok Oculus Rift koristi jedan zaslon podijeljen na dva oka. Svaki zaslon ima rezoluciju od 1920x1080 piksela. [41]



Slika 24. HTC Vive
Izvor: [44]

Za praćenje pokreta ovaj uređaj koristi nešto više od 70 senzora, a u prostoriju se za vrijeme simulacije postavljaju dvije laserske bazne stanice koje prate pokrete korisnika i zajedno pokrivaju do 20 metara kvadratnih. Osim senzorskog praćenja pokreta u svrhu projiciranja slike na zaslonim HTC Vive razvio je i dva uređaja koja korisnik drži u rukama. Uz pomoć tih uređaja prate se pokreti ruke, što je korisno za simulaciju upravljanja kontejnerskom dizalicom, jer svaka ruka upravlja jednom stranom virtualne konzole. [40]

5.3. Usporedba CAVE i HMD sustava

Kvaliteta simulacije i osjećaja stvarnosti ovisi o tome koji sustav se koristi s obzirom na to da na dva potpuno različita načina reproduciraju simulaciju virtualne stvarnosti. Usporedba je napravljena na temelju simulacije mosta broda sa svim upravljačkim konzolama. Simulacijski sustavi iznimno su skupi, stoga se škole, upravitelji luka ili dužnosnici na nacionalnoj razini moraju odlučiti za jednu varijantu simulacije. [45]



Slika 25. CAVE sustav (lijevo) i HMD sustav (desno)
Izvor: [45]

CAVE sustav, najčešće zauzima cijelu prostoriju i kao što je prikazano slikom 25. (lijevo) ima dodatnu opremu koja se sastoji od dodatnih monitora koji se koriste za praćenje simulacije i rezultata. Okruženje broda projicira se uz pomoć nekoliko projektor, a za upravljanje simulacijom dizajnirana je konzola, izgledom i funkcijama u potpunosti jednaka konzoli na pravom brodu. S druge strane VR simulator pruža impresivan osjećaj prisutnosti u virtualnom okruženju, uz pomoć vizualnih i audio efekata koji se koriste kod simulacije s HMD sustavom. Slikom 25. (desno) prikazana je percepcija virtualnog okruženja koje uvjerljivo imitira sustav u stvarnom svijetu. [45]

Za usporedbu ova dva sustava, generirana je virtualna simulacija prilagođena HMD sustavu na temelju CAVE sustava i popratne opreme. Kako bi se ispitala tehničke performanse sustava, skupina korisnika izvršavala je iste zadatke u CAVE sustavu i u HMD sustavu. Tijekom istraživanja oba sustava su pokazala svoje manjkavosti u radu. U CAVE sustavu došlo je do kvarova pojedinih komponenti konzole, što je uzrokovalo promjenu načina upravljanja istom, također, kvarovi na projektorima i monitorima uzrokovali su otežano praćenje simulacije i orijentaciju u sustavu, ali isto tako rezultati simulacije nisu bili u potpunosti dostupni. HMD sustav također je imao manjih tehničkih poteškoća, zbog zapinjanja određenih komponenti simuliranog sustava. Isti problem mogu se jednako tako pojaviti i u simulaciji kontejnerskih dizalica bez obzira na vrstu, odnosno može doći do zapinjanja hvatača između kontejnera nakon čega se više ne može osloboditi i potrebno je simulaciju pokrenuti iznova. [45]

Prema prikupljenim podacima na kraju istraživanja ustanovilo se da je za obavljanje zadataka u HMD sustavu korisnicima trebalo nešto manje vremena u odnosu na vrijeme koje su potrošili za obavljanje zadataka u CAVE sustavu. Jednako tako, obavljanje zadatka ispostavilo se jednostavnije korištenjem HMD sustava u odnosu na CAVE sustav. [45]

Uzevši u obzir sve aspekte od tehnoloških performansi, financija i ponajviše učinkovitosti simulatora u obavljanju svoje namjene, što je u ovom slučaju edukacija kandidata za djelatnike i usavršavanje djelatnika, izveo se zaključak istraživanja. Na temelju rezultata i iskustva korisnika zaključak istraživanja navodi kako bi najefikasniji simulacijski alat za edukaciju bio spoj određenih dijelova CAVE sustava i HMD sustavom simulirane virtualne stvarnosti. [45]

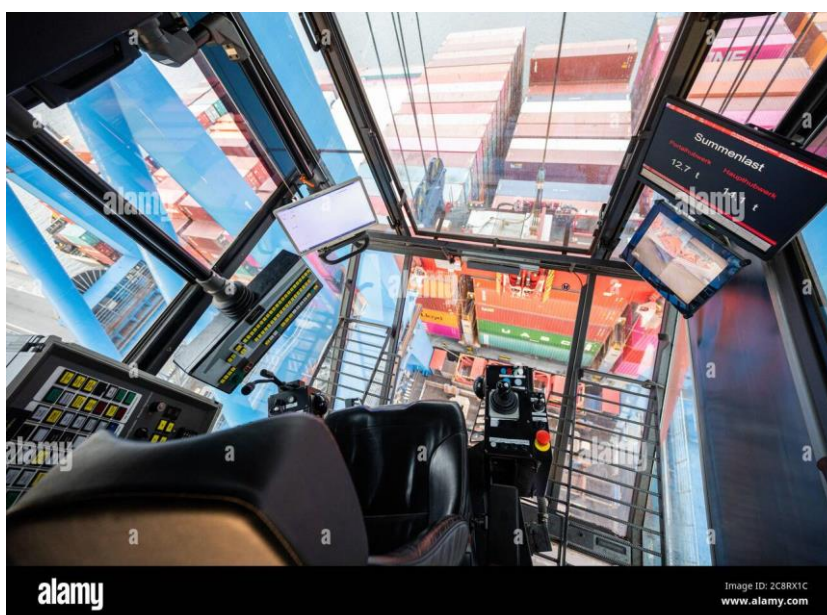
Korištenjem HMD sustava korisnici imaju osjećaj kao da su uistinu na brodu, ali nedostaje fizički kontakt s konzolom za upravljanje brodom, dok je u CAVE sustavu konzola stvarna, nedostaje osjećaj realnosti, koji se u virtualnoj stvarnosti simuliranoj HMD sustavu ostvaruje korištenjem dodatnih efekata. U konačnici, jedan od zaključaka je da je VR tehnologija HMD sustava pogodnija za simulaciju različitih brodova, s obzirom na to da brodski most nije na svakom brodu jednak, već ovisi o veličini i funkciji brod. [45]

6. Primjena simulacijskih alata u edukaciji djelatnika na kontejnerskim terminalima

Uvođenje tehnologije virtualne stvarnosti u edukaciju djelatnika na kontejnerskim terminalima u potpunosti je promijenilo pristup usavršavanju novih ili već iskusnih djelatnika. Korištenjem simulacijskih alata uklonili su se brojne opasne situacije kojima bih se u suprotnom izlagali neiskusni kandidati, koji još nisu zadovoljili sve uvjete potrebne za početak rada na terminalima. Simulatori koji se koriste u edukaciji nude mogućnost simulacije više različitih scenarija, zabilježene rezultate na kraju simulacije na temelju kojih se kasnije zadaci prilagođavaju djelatniku. Svrha toga je usavršavanje slabih točaka kod upravljanja prekrcajnom mehanizacijom terminala. [46]

6.1. Simulator obalne kontejnerske dizalice

Prekrcaj kontejnera s broda na kopno jedan jedna je od ključnih funkcija kontejnerskog terminala. Portalna dizalica sastoji se od nosača i hvatača koji se može pomicati po nosaču. Kabina, prikazana slikom 26., u kojoj se nalazi djelatnik je smještena je na nosaču hvatača, te se sa hvatačem kreće po nosaču. Kabina je obložena staklom sa svih strana kako bi djelatnik mogao kontrolirati situaciju i obratiti pažnju na detalje, s obzirom na to da mala pogreška u upravljanju može imati velike posljedice. [47]

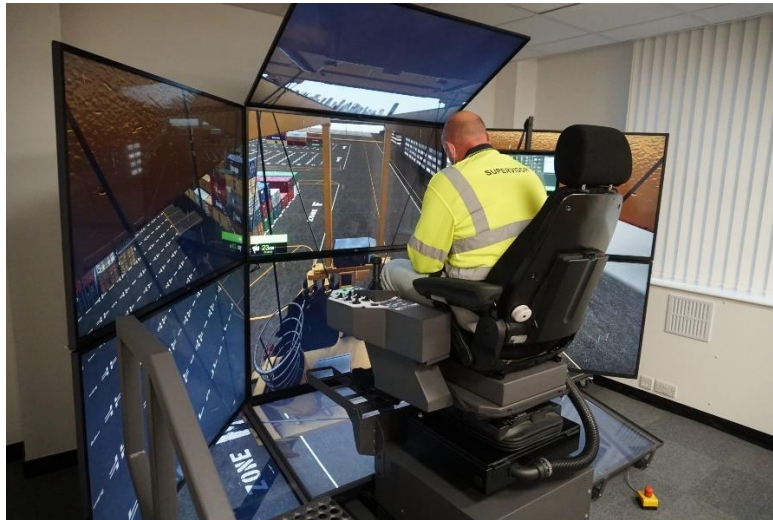


Slika 26. Kabina kontejnerske dizalice

Izvor: [48]

Simulator se sastoji od više monitora koji zajedno projiciraju simulaciju kontejnerske dizalice. Primjer takvog simulatora je Vortex Master Simulator s pomičnim sjedalom, slika 27.

Scene se simuliraju na 10 monitora, a mentor ima pomoćne monitore za praćenje simulacije uključujući konzole za kontrolu glavnog simulatora i izbor scenarija. Vortex Master Simulator se koristi u Bristolu u Engleskoj, čija luka ima renovirani edukacijski centar. [47]



Slika 27. Vortex Master Simulator
Izvor: [49]

Simulator pruža mogućnost obuke rada na obalnoj dizalici, portalnom prijenosniku i RTG dizalici. Moguće je kreirati situacije koje je su iznimno rijetke na stvarnom radnom mjestu, odnosno priprema djelatnika za rad u stvarnom sustavu je temeljita, a u Bristolu se pokazala i vrlo učinkovita, jer je istovremeno povećala produktivnost po djelatniku i povisila razinu sigurnosti u radnom okruženju. [47]

6.2. S-crane sustav

Simulacijski sustav dizajniran tako da prikazuje realne situacije za obuku djelatnika. Za razliku od Vortex Master simulatora koji koristi monitore, S-crane sustav koristi HMD sustave. Djelatnik stavlja HMD sustav na glavu, te jednostavnim pokretima glave percipira simuliranu scenu kao što bi to bio slučaj u stvarnosti. HMD sustav povezan je s dva senzora koji prate pokrete djelatnika i na temelju pokreta se na zaslonu HMD sustava projicira određeni dio scene. Tijekom simulacije djelatnik sjedi na sjedalu posebno dizajniranom tako da imitira sjedalo i kontrole koje se koriste na dizalicama terminala, kao što je prikazano slikom 28. Koristeći S-crane sustav, djelatnici imaju osjećaj kao da sjede na pravoj kontejnerskoj dizalici, što je realističnija projekcija u odnosu na upotrebu monitora. Po završetku vježbi rezultati se analiziraju u usporedbi s kriterijima koji se koriste kod izdavanja certifikata o sposobnosti djelatnika za upravljanje dizalicom. [50]



Slika 28. Demonstracija S-Crane sustava
Izvor: [50]

Sličnost u usporedbi s Vortex Master simulatorom su mogućnosti koje ima mentor ili upravitelj simulatorom. Važno je napomenuti da se u lukama koriste različiti sustavi čije mogućnosti variraju. Odnosno kvaliteta simulacije ovisi primjerice o broju monitora koji se koriste, ali i o kvaliteti simulacije scena. [50]

Specifičnost S-crane simulatora su dodatni efekti poput otpornosti dizalice na vjetar i ostale vremenske nepogode koje su poprilično uvjerljivo dočarane HMD sustavom. Pokretanje dizalice u simulaciji kontrolirano je uz pomoć sjedala na kojem sjedi djelatnik za vrijeme simulacije. Na sjedalu se nalaze lijeva i desna konzola. Pomicanjem lijeve konzole, pomiču se kabina i hvatač prema naprijed i nazad, te se krak dizalice pomiče lijevo i desno. Desnom konzolom upravlja se hvatačem. Konzolom se hvatač spušta na kontejner, a krakovi hvatača se prilagođavaju ovisno o tome podiže li se TEU ili FEU kontejner. Zatim se hvatač zaključava i kontejner je spreman za prekrcaj, prikazano slikom 29. [50]



Slika 29. Simulacija hvatača na obalnoj dizalici
Izvor: [45]

6.3. Simulacija prekrcajne mehanizacije na terminalu

Portalni prijenosnik jedno je od sredstava koje čine prekrcajnu mehanizaciju terminala uz kontejnerske dizalice. Njegova glavna uloga je premještanje kontejnera po skladišnom prostoru terminala po predviđenom rasporedu. Sastoji se od strukture u obliku portalne dizalice i hvatača. Za vrijeme kretanja prijenosnika po terminalu kontejner je smješten u šupljini strukture. Kabina djelatnika smještena je na vrhu prijenosnika kako bi imao maksimalnu vidljivost u kretanju. [46]

Simulator portalnog prijenosnika (slika 30.) koristi se u edukaciji i treningu djelatnika kako bi se izbjegle rizične situacije poput priklještenja radnika ili druge opreme, nesreće prilikom ukrcaja, požara ili drugih nepogodnih situacija uzrokovanih kvarovima na prijenosniku. [30]



Slika 30. Simulator portalnog prijenosnika
Izvor: [51]

Simulatorom portalne dizalice s gumenim kotačima (RTG) nastoji se skratiti vrijeme edukacije i treninga, a istovremeno povećati produktivnost dizalice u stvarnosti. Simulatorom upravlja djelatnik koristeći se kontrolama na konzoli koje imitiraju kontrole u pravoj portalnoj dizalici. Za vrijeme edukacije i treninga kandidati i već iskusni djelatnici usvajaju vještine manipulacije kontejnerom i kretanja dizalice po terminalu. Izazov rada na ovoj dizalici je slaganje kontejnera u blokove na skladišnom djelu terminala (slika 31.), pri čemu je važno voditi računa o visini blokova i dizalice. Dodatnu opasnost i smetnje u radu s portalnom dizalicom predstavljaju druga prijevozna sredstva, odnosno tegljači i specijalizirani viličari. [46]



Slika 31. Simulacija portalne dizalice
Izvor: [46]

Manipulacijsko sredstvo koje se koristi za premještanje kontejnera po skladišnom prostoru terminala na srednje velikim i malim terminalima je dohvatni viličar. Ne ubraja se uobičajenu prekrcajnu mehanizaciju velikih svjetskih terminala. Obuka djelatnika za rad na ovom sredstvu odvija se u specijaliziranoj kabini dizajniranoj tako da simulira vožnju po terminalu i interakciju s drugim sredstvima i djelatnicima na terminalu. Kabina simulatora opremljena je audio opremom kako bi se omogućila komunikacija između mentora i kandidata, odnosno djelatnika koji se nalazi u kabini za simulaciju. Uz to, simulator ima mogućnost generirati druge djelatnike na terminalu, te na taj način potaknuti suradnju osobe u simulatoru sa simuliranim djelatnicima terminala. Ciljevi takve simulacije su: osposobljavanje djelatnika za rad na sredstvu, usvajanje ispravnog ponašanja u slučaju opasnosti na terminalu, razvoj mekih vještina, odnosno komunikacije i suradnje s drugim djelatnicima. [46]



Slika 32. Dohvatni viličar
Izvor: [46]

Simulacija se projicira na tri ekrana visoke rezolucije, jedan frontalni i dva bočna. Kozola za upravljanje ima sve upravljačke elemente realnog dohvatnog viličara. Uključujući pedale za pokretanje, kabine smještene na platformu sa šest stupnjeva slobode kretanja. Simulaciju je moguće pokrenuti u različitim scenarijima i po različitim vremenski uvjetima, uključujući snijeg i kišu. Slikom 32. prikazan je dohvatni viličar za vrijeme slaganja kontejnera na za njega predviđen blok na skladišnom prostoru. Osim konzole za kandidata ili djelatnika simulator je opremljen i konzolom za mentora s pomoću koje može upravljati simulacijom. [46]

6.4. Primjena simulacijskih alata u radu u opasnim situacijama na terminalu

Procjenjuje se da oko 80 % robe koja se prevozi u svijetu barem jedan dio svog puta prijeđe koristeći pomorski promet. Iz toga se da zaključiti da 80 % robe u svjetskom opskrbnom lancu prođe kroz lučke terminale. Velika količina robe povećava rizike od opasnih situacija i nesreća, zbog brzine kojom se vrši prekrcaj na terminalu. Unatoč postojanju povećeg broja zabilježenih nesreća na terminalu uzrokovanih upravo velikom količinom tereta i brojnošću operacija koje se istovremeno provode na terminalu. Međunarodna pomorska organizacija uglavnom prati nesreće na moru i brodovima, poput sudara dvaju brodova, prevrtanja broda ili puknuća broda zbog loše raspoređenih kontejnera u skladištu kontejnerskog broda. Podaci o nesrećama na terminalima ne prate se toliko precizno, iako je riječ o okruženju u kojem svakog trenutka može doći do nesretnog slučaja uzrokovanog pogreškom djelatnika koji upravlja prekrcajnom mehanizacijom. Osim ljudske pogreške na povećanje rizika utječu i vremenski uvjeti i doba dana u kojem se prekrcaj ili bilo koja druga manipulacija obavljaju. Iz tih se razloga u obavljanju radnji na terminalu zahtjeva visoka razina profesionalnosti i redovito provođenje sigurnosnih mjera. Poduzimanje sigurnosnih mjera na terminalu povećava kvalitetu rada na terminalu. [52]

Prikupljanjem velike količine podataka moguće je stvoriti simulacijske modele uzimajući u obzir podatke kao što su: kiša, vjetar, vlaga, magla, vremenski period, temperatura i prevezena roba moguće je uz pomoć simulacijskih alata napraviti procjenu rizika koji određeni uvjeti predstavljaju u radu. U slučaju vremenskih nepogoda, na terminalu je smanjena vidljivost što djelatnicima otežava rad i povećava rizik nastajanja nesreće velikog materijalnog troška. Uvjeti rada za vrijeme maglovitog vremena, modelirani u simulacijskom alatu prikazani su slikom 33. Za modeliranje simulacije rizika na terminalima koriste se M&S i proširena stvarnost. [52]



Slika 33. Narušena vidljivost uzrokovana maglom
Izvor: [52]

M&S simulacijski alat se u lukama koristi za simulaciju ponašanja brodova na pristaništima i prekrcajne mehanizacije koja nad njima obavlja ukrcaj i iskrcaj kontejnera. Uz pomoć simulacije donose se najefikasnije odluke upravljanja terminalom za vrijeme prirodnih nepogoda. Tehnologijom virtualne stvarnosti u virtualnom se okruženju kreira simulacija terminala, te se simulacijom različitih rizika kojima je određeni terminal izložen. Simuliraju se potencijalne mjere u slučaju nepovoljne situacije, a zatim se iste primjenjuju na stvarnom terminalu. Uz to proširenom stvarnošću prate se radnje djelatnika na terminalu, ali i kretanje prekrcajne mehanizacije, što omogućuje brže uočavanje kvara na strojevima i nepravilnosti u radu terminala. Kombiniranjem XR i M&S alata kreiraju se simulacije kojima se djelatnici obučavaju za rad u različitim vremenskim uvjetima. [52]

Primjer simulatora koji se koristio za edukaciju djelatnika na terminalima europskih luka (Genova i Gioia Tauro) sastojao se od tri zadatka koje su djelatnici morali obaviti u zadanom vremenu prije završetka simulacije. Svakom djelatniku bila su dodijeljena tri nasumično odabrana kontejnera. Kontejneri su se nalazili na skladišnom prostoru terminala, a djelatniku su bile poznate identifikacijske oznake kontejnera i lokacije. Točna pozicija kontejnera bila je definirana brojem bloka na kojem se kontejner nalazi, redom, kolonom i razinom. Kad djelatnik pronade kontejner prema danim uputama, mora pregledati kontejner izvana. Zadatak je na temelju vanjskog pregleda kontejnera ustanoviti sljedeće [52]:

- Postoji li na kontejneru mrlja od ulja? Ako postoji kolikog je promjera (mala mrlja ili velika)
- Postoji li na vratima kontejnera pečat?

Ako pečat postoji na vratima kontejnera, to znači da nije bio otvaran od trenutka kada je završio ukrcaj robe u kontejner. Odsustvo pečata na vratima kontejnera može ukazivati na dvije situacije, jedna od njih je potencijalna krađa djela robe iz kontejnera. Uklanjanje pečata s vrata kontejnera moglo je uzrokovati curenje ulja ili kakve opasne tvari iz kontejnera po brodu ili na terminalu. Treći mogući ishod u simulaciji je u potpunosti ispravan kontejner sa svim oznakama i bez vanjskih oštećenja uzrokovanih kemijskim reakcijama opasnih tvari ili djelovanjem sile u slučaju pada drugog kontejnera. Nakon završetka simulacije rezultati će biti vidljivi na zaslonu. Kasnije se ti rezultati koriste za daljnje usavršavanje vještina. [52]

Isti simulator moguće je prilagoditi već iskusnim djelatnicima podešavajući efekte poput vremenskih uvjeta i dodajući u simulaciju prekrcajnu mehanizaciju i druge djelatnike s ciljem ometanja djelatnika koji koristi simulator u ispunjavanju njegovih zadataka. U najjednostavnijoj verziji zadatka djelatniku je dodijeljena točna lokacija kontejnera koje mora pregledati, ali to ne mora biti tako. Općenito, na terminalima se može dogoditi gubitak kontejnera ako se ne prati raspored kontejnera na skladišnom prostoru i plan iskrcaja kontejnera s broda, te ukrcaja kontejnera na brod. Iz tih i tome sličnih razloga na simulatoru postoji mogućnost dodjele kontejnera djelatniku, bet točnih koordinata njegove lokacije. [52]

Kontejnerski terminali iznimno su opasno okruženje i svaki djelatnik mora svoj posao obavljati s oprezom kako ne bi ugrozio druge. Kako bi se djelatnici osvijestili o tome koje im opasnosti prijete u stvarnom svijetu izvan virtualnog okruženja u simulator su dodani svi djelatnici i sva prekrcajna mehanizacija koja se aktivno i nepredvidivo kreće po simulaciji. Dodatnu opasnost u radu predstavlja rad u noćnoj smjeni, za simulaciju rada po noći koriste se zvučni i svjetlosni signali. Djelatnicima je cilj u što kraćem vremenu, na siguran način obaviti zadatke u simulatoru. Ako djelatnik nastrada u simulaciji, odnosno bude pregažen prekrcajnom mehanizacijom ili prignječen kontejnerom, simulacija se prekida, rezultati se automatski spremaju, a vježba se smatra neuspješnom. S druge strane, ako je vježba uspješno izvršena, prikazat će se sažetak glavnih dijelova koji će biti spremljen u sustav simulatora.

Na kraju provođenja testova u luci Genova, uspoređeni su rezultati prve četvrtine provedenih ispita s rezultatima zadnje četvrtine. Uočeno je povećanje brzine i produktivnosti djelatnika, što potvrđuje efikasnost simulatora. [52]

7. Zaključak

Lučki kontejnerski terminali složeni su sustavi koji zahtijevaju točnost i brzinu u izvođenju operacija. Strukturirani su tako da je omogućen što brži protok kontejnera uz pomoć prekrcajne mehanizacije na obalnom i kontinentalnom djelu terminala. Produktivnost djelatnika mjeri se po broju prekrcajnih kontejnera u minuti, s obzirom na broj kontejnera koje treba iskrcati s broda, a zatim ukrcati kontejnere koje brod prevozi do sljedeće luke.

Produktivnost lučkih kontejnerskih terminala ovisi o sposobnosti djelatnika da izvršavaju procese i operacije na kontejnerskom terminalu. Edukacija i usavršavanje znanja i vještina na kontejnerskim terminalima iznimno su važni zbog svog utjecaja na sigurnost rada na terminalu. Edukacija može biti organizirana na više načina, koristeći se različitim simulacijskim alatima, ali trening djelatnika na kontejnerskim terminalima bazira se na tehnologiji virtualne stvarnosti. Osim edukacije, simulacijski alati se koriste za praćenje rada terminala i u slučaju intervencija.

Proces osposobljavanja novih djelatnika na terminalu dodatno se provodi tehnologijom virtualne stvarnosti čemu služe CAVE i HMD sustavi. Kandidati moraju imati položen certifikat koji se stječe po završetku edukacije. Za uspješno funkcioniranje terminala poželjne su meke i tehničke vještine djelatnika kako bi se izbjegle opasne situacije i nesreće na terminalu. Odabir simulacijskog alata ovisi o potrebama terminala, performansama simulacijskog alata i financijske isplativosti.

Analizom iznesenih činjenica utvrđena je važnost provođenja edukacije djelatnika na kontejnerskim terminalima, zbog opasnosti koje nosi rad na kontejnerskim terminalima. Sukladno tome, neprestani napredak tehnologije i sve veća potreba za većim kapacitetima konstantno stvaraju izazove i iskusnim djelatnicima na terminalu, zbog čega je potrebno provođenje usavršavanje i prilagodba na nove tehnologije. Tehnologija virtualne stvarnosti ima ključnu ulogu u provođenju navedenih aktivnosti zbog sigurnog okruženja koje pruža djelatniku, a uz to, omogućava nesmetani rad lučkog kontejnerskog terminala.

LITERATURA

- [1] I. Vacca, M. Bierlaire, M. Salani. Optimization at Container Terminals: Status, Trends, and Perspectives. *7th Swiss Transport Research Conference. 12. – 14. September 2007., Monte Verita / Ascona. Pp. 2 – 21*
- [2] ResearchGate. *Schematic-representation-of-a-container-terminal-Steenken*. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-representation-of-a-container-terminal-Steenken-et-al-2004_fig1_275531709 [Pristupljeno: 22. kolovoza 2024.]
- [3] Preston P., Kozan E. An approach to determine storage locations of containers at seaport terminals. *Computers & Operations Research*. 2001.;28: 983 – 995. Preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305054800000204> [Pristupljeno: 14. srpnja 2024.]
- [4] ResearchGate. *Schematic container terminal layout*. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-container-terminal-layout_fig3_325056450 [Pristupljeno: 27. Kolovoza 2024.]
- [5] N. Grubisic, T. Krljan, L. Maglic. The Optimization Process for Seaside Operations at Medium-Sized Container Terminals with a Multi Quay Layout. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2020. Preuzeto s: <https://www.mdpi.com/2077-1312/8/11/891> [Pristupljeno: 15. srpnja 2024.]
- [6] H. J. Carlo, I. F. A. Vis, K. J. Roodbergen. Storage yard operations in container terminals: Literature overview, trends, and research directions. *European Journal of Operational Research*. 2014; 235(2):412-430. Preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221713008771> [Pristupljeno: 19. srpnja 2024.]
- [7] Dreamstime. *Straddle Carrier Stock Photos*. Preuzeto s: <https://www.dreamstime.com/photos-images/straddle-carrier.html> [Pristupljeno: 19. srpnja 2024.]
- [8] Henan Province Mine Crane. *Pokretna dizalica*. Preuzeto s: <https://hr.mine-cranes.com/gantry-crane/rail-mounted-container-gantry-crane.html> [Pristupljeno: 23. kolovoza 2024.]
- [9] ResearchGate. *Conventional versus automated container terminals*. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/figure/Conventional-versus-automated-container-terminals-1_fig1_354176489 [Pristupljeno: 23. kolovoza 2024.]
- [10] T. Rožić, T. J. Mlinarić. *Robno-transportni centri*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2023.
- [11] Turbosquid. *Container crane*. Preuzeto s: <https://www.turbosquid.com/3d-models/level-luffing-port-crane-obj/1041663> [Pristupljeno: 24. kolovoza 2024.]

- [12] Y: Yang, H. Yu, X. Zhu. Study of the Master Bay Plan Problem Based on a Twin 40–Foot Quay Crane Operation. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2023;11(4):807. Preuzeto s: <https://www.mdpi.com/2077-1312/11/4/807> [Pristupljeno: 22. srpnja 2024.]
- [13] A. Bartošek, O. Marek. Transaction on Transport Science. *Quay Cranes in Container Terminals*. 2013; 6(1):9-17. Preuzeto s: <https://tots.upol.cz/pdfs/tot/2013/01/02.pdf> [Pristupljeno: 22. srpnja 2024.]
- [14] Direct industry connect. *Container spreader*. Preuzeto s: <https://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/container-lifting-beam-258010.html> [Pristupljeno: 30. srpnja 2024.]
- [15] V. Hinkka, J. Echardt, A. Permal, H. Mantsinen. Changing Training Meeds of Port Workers Due to Future Trends. *6th Transport Research Arena, 18 – 21 April 2016*. Finska. Pp. 4085 – 4094.
- [16] C. A. Boer, Y. Saanen, M. Bruggeling, N. Koumaniotis. Near–to–live training for container terminal planners: Bridging the gap between training and live operation. 2016. Finska.
- [17] Altexsoft. *CATOS interface*. Preuzeto s: <https://www.altexsoft.com/blog/terminal-operating-system/> [Pristupljeno: 24. kolovoza 2024]
- [18] Anylogic. *Simulation model for maritime container yard planning*. Preuzeto s: <https://www.anylogic.com/resources/case-studies/container-yard-planning-and-management-system-built-with-anylogic-simulation/> [Pristupljeno: 24. kolovoza 2024.]
- [19] M. Hervas-Peralta, S. Proveda-Reyes, G. D. Molero, F. E. Santarremigia, J. P. Pastor-Ferrando. Improving the Performance of Dry and Maritime Ports by Increasing Knowledge about the Most Relevant Functionalities of the Terminal Operating System (TOS). *Sustainability*. 2019; 11. Preuzeto s: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/6/1648> [Pristupljeno: 13. kolovoza 2024.]
- [20] M. Meletiou. Improved port performance through training: The contribution of the International Labour Organization. *22nd International Port Conference – „Human Resources and Sea Ports Performance“*. 12. – 14. March, Alexandria, Egipat.
- [21] Marine in Sight. *MOL Releases New 360° VR Training Sessions For Mariner Safety Education*. Preuzeto s: <https://www.marineinsight.com/videos/watch-mol-releases-new-360-vr-training-sessions-for-mariner-safety-education/> [Pristupljeno: 25. Kolovoza 2024.]
- [22] GLADEO. *Container Crane Operator*. Preuzeto s: <https://foothill.gladeo.org/career/container-crane-operator#facts> [Pristupljeno: 15. kolovoza 2024.]
- [23] MAXTECH. *Understanding the Function of a Container Spreader*. Preuzeto s: <https://www.maxtechcorp.com/news/understanding-the-function-of-a-container-spreader/> [Pristupljeno: 25. Kolovoza 2024.]

- [24] ResearchGate. *An example of a container spreader*. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/figure/An-example-of-a-container-spreader-quoted-from-a-brochure-of-Bromma_fig3_322666203 [Pristupljeno: 25. Kolovoza 2024.]
- [25] BemoRail. *Rail Tehnology*. Preuzeto s: <https://bemorail.com/rail-technology/> [Pristupljeno: 25. kolovoza 2024.]
- [26] Y. Min Kim, I. Rhiu, M. Hwan Yun. A Systematic Review of a Virtual Reality System from the Perspective of User Experience. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 2020; 36(10):893 – 910. Preuzeto s: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10447318.2019.1699746> [Pristupljeno: 31. srpnja 2024.]
- [27] ResearchGate. *An example of a CAVE virtual reality system*. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/figure/An-example-of-a-CAVE-virtual-reality-system-Visbox-2018_fig1_335887320 [Pristupljeno: 31. srpnja 2024.]
- [28] Samsung Newsroom. *HMD Odyssey*. Preuzeto s: <https://news.samsung.com/global/hands-on-get-ready-to-explore-windows-mixed-reality-with-samsungs-hmd-odyssey> [Pristupljeno: 31. srpnja 2024.]
- [29] A. Bruzzone, M. Massei, A. Giovannetti, R. Ferrari, C. Giliberti, G. Fancello, F. Longo, F. Tarone. Evaluation of Risk Awareness by Simulation & Extended Reality in Industrial Plants. *Proceedings of the 34th European Modeling & Simulation Symposium (EMSS), 050 19th International Multidisciplinary Modeling & Simulation Multiconference*. 19 – 21. September 2022., Rome, Italy.
- [30] C. I. Cholomoudis, P. A. Kostagiolas, P. L. Pallis. An Analysis of Formal Risk Assessments for Safety and Security in Ports: Empirical Evidence from Container Terminals in Greece. *Jurnal of Shipping and Ocean Engineering*. 2012;2: 45 – 54. Preuzeto s : https://www.researchgate.net/profile/Constantinos_Chomoudis/publication/241685051_An_Analysis_of_Forma_Risk_Assessments_for_Safety_and_Security_in_Ports_Empirical_Evidence_from_Container_Terminals_in_Greece/links/00b7d51c9898415115000000/An-Analysis-of-Formal-Risk-Assessments-for-Safety-and-Security-in-Ports-Empirical-Evidence-from-Container-Terminals-in-Greece.pdf?origin=publication_list [Pristupljeno: 1. kolovoza 2024.]
- [31] Recoupex. *4 Most Common Types of Cargo Damage*. Preuzeto s: <https://recoupex.com/4-most-common-types-of-cargo-damage/> [Pristupljeno 3. kolovoza 2024.]
- [32] M. A. Budiyo, H. Fernanda. Risk Assessment of Work Accident in Container Terminals Using the Fault Tree Analysis Method. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2020;8(6):466. Preuzeto s: <https://www.mdpi.com/2077-1312/8/6/466>
- [33] F. Shu, W. Mi, Z. Xu. The Information Sharing Platform for Port Container Terminal Logistics using Virtual Reality. *International Conference on Automation and Logistics*. 18 – 21. August 2007, Jinan, China.

- [34] Envision. *The role of Geographic Information System (GIS) in Sea Ports*. Preuzeto s: <https://www.envisionesl.com/blog/the-role-of-geographic-information-system-gis-in-sea-ports> [Pristupljeno: 22. Kolovoza 2024.]
- [35] G. Cho, S. H. Lee. Cloud-Based Virtual Port-Container Terminal Establishment and Operation Analysis. *Computer science & Engineering*. 2020; 9(10):1615. Preuzeto s: <https://www.mdpi.com/2079-9292/9/10/1615> [Pristupljeno: 23. Kolovoza 2024.]
- [36] Mevea simulation solutions. *Ship-To-Shore*. Preuzeto s: <https://mevea.com/solutions/training-simulators/port-equipment/port-cranes/ship-to-shore/> [Pristupljeno: 10. kolovoza 2024.]
- [37] Y. Zhang, J. Ruan. Large-scale machinery monitoring system based on the visual reality. *Electronics and Automation Control Conference*, 2018. China. Pp. 863 – 867.
- [38] H. Su, T. Chen, Y. Zhang. On the visual reality and monitoring of gantry cranes using FBG sensing. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 2019. China.
- [39] A.G. Bruzzone, F. Longo. 3D simulation as training tool in container terminals: The TRAINPORTS simulator. *Journal of Manufacturing Systems* 2013.; 32(1): 85 – 98. Preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278612512000672> [Pristupljeno: 16. Kolovoza 2024.]
- [40] B. Rigo, L. S. Jovetić. *Izrada virtualne stvarnosti lučkog kontejnerskog terminala*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2019.
- [41] AV Magazine. *UK's 'first multi-view stereoscopic VR CAVE' installed at uni*. Preuzeto s: <https://www.avinteractive.com/news/projection/uks-first-multi-view-stereoscopic-vr-cave-installed-at-uni-05-09-2022/> [Pristupljeno: 25. Kolovoza 2024.]
- [42] Driving technology news. *Dacia's Cave Automatic Virtual Environment helps design the new Jogger*. Preuzeto s: <https://drivingtechnology.news/dacia-cave-jogger/> [Pristupljeno: 25. Kolovoza 2024.]
- [43] Mikronis. *Oculus Rift Virtual Reality headset*. Preuzeto s: <https://www.mikronis.hr/Proizvod/oculus-rift-virtual-reality-headset-p-n-301-00204-01-/2179> [Pristupljeno: 25. Kolovoza 2024.]
- [44] Ars Tehnica. *Gaming*. Preuzeto s: <https://arstechnica.com/gaming/2016/05/why-vive-has-won-the-early-vr-race-in-my-house/> [Pristupljeno: 25. Kolovoza 2024.]
- [45] R. Leder, M. Laudan. Comparing a VR Ship Simulator Using an HMD With a Commercial Ship Handling Simulator in a CAVE Setup. *23rd International Conference on Harbour, Maritime & Multimodal Logistics Modeling & Simulation*, 2021, Bremen, Njemačka. Preuzeto s: <https://www.cal-tek.eu/proceedings/i3m/2021/hms/001/pdf.pdf> [Pristupljeno: 19. kolovoza 2024.]
- [46] LSYM. *Port*. Preuzeto s: <https://lsymserver.uv.es/LSyMWeb/en/systems/harbour> [Pristupljeno: 18. Kolovoza 2024.]

- [47] LSYM. *Ship-to-Shore crane simulator*. Preuzeto s: <https://lsymserver.uv.es/LSyMWeb/en/simulators/sts-crane> [Pristupljeno: 16. kolovoza 2024.]
- [48] Alamy. *The workplace of container crane operator*. Preuzeto s: <https://www.alamy.com/hamburg-germany-16th-july-2020-the-workplace-of-a-crane-operator-on-a-container-gantry-crane-at-container-terminal-altenwerder-in-the-port-of-hamburg-credit-daniel-reinhardt-dpa/alamy-live-news> [Pristupljeno: 17. kolovoza 2024.]
- [49] Installation. *ST Engineering Antycip delivers 10-screen simulator*. Preuzeto s: <https://www.installation-international.com/technology/immersive-tech/st-engineering-antycip-delivers-10-screen-simulator-to-the-bristol-port-company> [Pristupljeno: 17. Kolovoza 2024.]
- [50] H. Song, T. Kim, J. Kim, D. Ahn, Y. Kang. Effectiveness of VR crane training with head-mounted display: Double mediation of presence and perceived usefulness. *Automation in Construction*. 2021; 122. Preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580520310864> [Pristupljeno: 17. Kolovoza 2024.]
- [51] Kalmar. *New simulator straddles virtual, real world operations*. Preuzeto s: https://www.kalmarglobal.com/news--insights/articles/2018/20180516_new-simulator-straddles-virtual-real-world-operations/ [Pristupljeno: 18. Kolovoza 2024.]
- [52] A. G. Bruzzone, M. Masei, K. Sinelshchikov, M. Gotellini, A. Giovannetti, A. De Paoli, R. Ferarri, M. Cardelli. Operations in Ports supported by Simulation, XR and AI. *25th International Conference on Harbor, Maritime and Multimodal Logistic Modeling & Simulation*. 2023. Preuzeto s: <https://www.cal-tek.eu/proceedings/i3m/2023/hms/009/pdf.pdf> [Pristupljeno: 20. kolovoza 2024.]

POPIS SLIKA

Slika 1. Shema kontejnerskog terminala	2
Slika 2. Područja lučkog kontejnerskog terminala	3
Slika 3. Portalni prijenosnik malog raspona	4
Slika 4. Portalni prijenosnik velikog raspona	5
Slika 5. Azijski tip (lijevo) i Europski tip (desno)	6
Slika 6. Lučka mobilna kontejnerska dizalica	7
Slika 7. Portalna kontejnerska dizalica	8
Slika 8. Dvojni hvatač kontejnera	9
Slika 9. TOS sučelje.....	11
Slika 10. Simulacijski model za planiranje rasporeda skladišnog prostora kontejnerskog terminala ..	12
Slika 11. VR simulator za trening poduzimanja sigurnosnih mjera	14
Slika 12. Hvatač kontejnera	15
Slika 13. Platforma za obavljanje provjera i popravaka na kontejnerskoj dizalici	16
Slika 14. CAVE sustav.....	17
Slika 15. HMD sustav	17
Slika 16. Oštećenje kontejnera	20
Slika 17. GIS sustav	22
Slika 18. Prikaz kontejnerskog terminala u sustavu za upravljanje	24
Slika 20. Sustav za dijagnozu stanja prekrajne mehanizacije terminala.....	26
Slika 21. CAVE sustav u kojem se nalazi više korisnika	27
Slika 22. Stereo naočale za CAVE sustav	28
Slika 23. Oculus Rift naočale	28
Slika 24. HTC Vive.....	29
Slika 25. CAVE sustav (lijevo) i HMD sustav (desno).....	29
Slika 26. Kabina kontejnerske dizalice	31
Slika 27. Vortex Master Simulator	32
Slika 28. Demonstracija S-Crane sustava.....	33
Slika 29. Simulacija hvatača na obalnoj dizalici	33
Slika 30. Simulator portalnog prijenosnika	34
Slika 31. Simulacija portalne dizalice	35
Slika 32. Dohvatni viličar.....	35
Slika 33. Narušena vidljivost uzrokovana maglom.....	37

POPIS KRATICA

VR	(Virtual Reality) virtualna stvarnost
HMD	(Head-mounted display) zaslون na glavi
CAVE	(Cave Automatic Virtual Environment) cave automatsko virtualno okruženje
GC	(Gantry Crane) pokretna dizalica
RTG	(Rubber-tyred gantry) portalna dizalica s gumama
RMG	(Rail-Mounted Gantry Crane) portalne dizalice na tračnicama
TEU	(Twenty-foot Equivalent Unit) jedinica ekvivalentna dvadeset stopa
AGV	(Automated Guided Vehicles) automatizirano vođena vozila
QC	(Quay Crane) obalna dizalica/ kontejnerska mosna dizalica
FEU	(Forty-foot Equivalent Unit) jedinica ekvivalentna četrdeset stopa
M&S	(Modeling and Simulation) modeliranje i simulacija
XR	(Extended reality) proširena stvarnost
GIS	(Geographical Information System) geografski informacijski sustav
EDI	(Electronic Data Interchange) elektronička razmjena podataka
RFID	(Radio Frequency Identification) radiofrekvencijska identifikacija
GPS	(Global Positioning System) globalni sustav pozicioniranja
COMS terminalima	(Container Operation Management System) sustav za upravljanje kontejnerskim terminalima
FBG	(Fiber Bragg Grating) Braggova rešetka
TOS	(Terminal Operating System) operativni sustav terminala

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad isključivo rezultat mogega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nečopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom „Primjena virtualne stvarnosti u educiranju djelatnika kontejnerskih terminala“, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 28.8.2024.

Vanda Afirević