

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET U RIJECI

Deni Antolos

**Optimizacija tehnoloških procesa na
intermodalnim terminalima**

DIPLOMSKI RAD

Rijeka, 2013.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET U RIJECI

Optimizacija tehnoloških procesa na intermodalnim terminalima

Kolegij: Tehnološki procesi u prometu
Mentor: dr.sc. Svjetlana Hess
Student: Deni Antolos
JMBAG: 0112035310
Studij: Tehnologija i organizacija prometa

Rijeka, rujan, 2013.

SADRŽAJ:

1. UVOD.....	3
2. OPTIMIZACIJA TEHNOLOŠKIH PROCESA NA TERMINALIMA.....	4
2.1. Analiza tehnoloških procesa na interodalnim terminalima.....	4
2.2. Primjena tehnoloških procesa i modeliranje procesa prijevoznih terminala	5
2.3. Transportno modeliranje	7
2.4. Optimalni transport za intermodalne kontejnerske terminale	8
2.4.1. Intermodalni kontejnerski terminal	9
2.4.2. Simulacijski model	10
3. SIMULACIJA I PLANIRANJE INTERMODALNOG KONTEJNERSKOG TERMINALA.....	13
3.1. Potpora odlučivanja za upravljanje terminalom	13
3.2. Simulacijski modul	15
3.3. Model optimizacije za konfiguraciju lučke opreme	19
4. STRUKTURA POMORSKOG PRIJEVOZA NA KRATKE UDALJENOSTI.....	21
4.1. Kapacitet dimenzija pomorskog prijevoza na kratke udaljenosti	24
4.2. Tehnologije manipulacije terminalom SSS sustava.....	25
4.3. ICT tehnologija na lučkim terminalima	27
4.3.1. Sustavi manipulacije lučkim terminalima	27
4.3.2. Sustavi za rukovanje i mjere performansi	28
4.4. Automatska i neautomatska manipulacija kontejnera.....	29
4.5. IPSI koncept terminala	34
4.5.1. Specifično opterećenje IPSI terminala	34
4.5.2. Modeliranje i pokazatelji uspješnosti	36

5. TEHNIKE MATEMATIČKOG MODELIRANJA.....	38
5.1. Tehnike matematičkog modeliranja.....	38
5.2. Primjer optimizacijskog modela cjelobrojnog linearnog programiranja za lučke terminale	39
5.3. Ograničenja	41
6. ZAKLJUČAK	43
LITERATURA	44
POPIS SLIKA.....	45
POPIS TABLICA	45

1. UVOD

Tema ovog diplomskog rada jest optimizacija tehnoloških procesa na intermodalnim terminalima. Naime, optimizacija sama po sebi predstavlja generalizaciju, odnosno odabir najboljeg rješenja iz skupa mogućih rješenja. To je rješavanje problema na način da se maksimizira ili minimizira funkcija cilja sistematskim odabirom najboljih mogućih vrijednosti varijabli iz definirane domene problema.

U ovom radu opisani su prometno-tehnološki procesi rada na intermodalnom terminalu. Razrađene su iznimno korisne metode za rješavanje problematike optimizacije lučkih operacija. Posebna razrada odnosi se na modele i sustave umjetne inteligencije, ekspertne sustave i analitičke hijerarhijske procese, a sustavno su obrađeni i modeli za donošenje odluka u pomorskom menadžmentu. Veliku pažnju posvetit ćemo simulacijskim modelima i planiranju intermodalnog terminala, kao i na tehnike matematičkog modeliranja koje bitno utječu na optimizaciju.

Rad je podijeljen na pet poglavlja. Drugo poglavlje bazira se na optimizaciji tehnoloških procesa na terminalima te analizi tehnoloških procesa kao i na optimalni transport za intermodalne kontejnerske terminale, dok treće poglavlje govori o simulacijskim modelima intermodalnih kontejnerskih terminala. Tu će biti još govora o simulaciji i planiranju intermodalnog terminala. Nadalje, četvrto poglavlje orijentirano je na strukturu pomorskog prijevoza na kratke udaljenosti i njegovom kapacitetu, kao i na ICT (*Information and communications technologies*) tehnologije i sustave manipulacije na lučkim terminalima. Tu će ujedno biti govora o IPSI terminalima (*eng. Improved Port/Ship Interface*) i njihovim značajkama. Tema petog poglavlja jesu tehnike matematičkog modeliranja te vrste linearnog programiranja.

Pri izradi rada koristila se dostupna literatura, i to ponajviše istraživački članci i Internet izvor. Važno je napomenuti da je većina literature bila dostupna isključivo na engleskom jeziku. Prilikom pisanja ovog rada korištena je metoda dedukcije, komparacije i analize.

2. OPTIMIZACIJA TEHNOLOŠKIH PROCESA NA TERMINALIMA

Analizom tehnoloških procesa i njihove optimizacije na prijevoznim terminalima omogućuje se uspješno funkcioniranje transporta tereta, čime se jamči pouzdanost i kvaliteta za primatelja. Trenutačno se na terminalima izvode inspekcije raznih operacija koje utječu na pregled vozila i tereta. Inspekcija kvalitete dijelom ima pozitivan utjecaj na sigurnost, očuvanje tereta i učinkovitu isporuku tereta klijentu. Stoga je važno analizirati tehnološke procese u prometnim terminalima, njihove mogućnosti optimizacije, kao i prijem i procjenu modela.

2.1. Analiza tehnoloških procesa na interodalnim terminalima

Za strukturiranje tehnoloških operacija transportnog procesa potrebno je početi s analizom količine potrebne opreme i izgleda terminala, radnih mjesta glavnog radnog osoblja, kao i analize trenutnih tehnoloških uvjeta i metoda organizacije operacija na odgovarajućim mjestima. Također je potrebno imati podatke o vozilima, njihovoj opskrbi, nosivosti, dužini, vremenskim normama potrebnim za tipične radne operacije, o informacijskim sustavima koji se koriste, metodama razmjene podataka, određenim normama za normalan rad i upravljanje vozilima.

Vrlo važno je ocijeniti računanje vremenskih funkcija rukovanja vozilima, u pogledu ovisnih i neovisnih pozicija kritičnog rada. Bitno je istaknuti da je generalni slijed rukovanja zapravo zbroj kritičkih operacija (ovisnih ili neovisnih).

Pouzdanost tehnološkog sustava ponajviše ovisi o tehničkoj opremljenosti rukovanja i pouzdanosti stvari. Učinkovit i neometan promet vozila do odredišta ovisi o pouzdanom rasporedu mjesta. Procedura dokumenata je zapravo ista, odnosno ponavljaju se sljedeće operacije: dokumenti se primaju, ispunjavaju, akumuliraju, strukturiraju i tada prosljeđuju. Ako je zbog krivnje osoblja normalni protok jednog od dokumenata blokiran, ukupni ciklus procesa upravljanja vozila će biti uznemiren a proces pripreme dokumenata za prosljeđivanje će biti prekinut, što će dovesti do zastoja.

Iz tog razloga organizacija odlazaka se provodi u tri smjera:¹

- na recepciji teretne pošiljke,
- u tehnološkom centru gdje su dokumenti pripremljeni i
- na distribucijskom mjestu gdje je formiran teret.

Očito je da su organizacija tehnološkog centra terminala (TCT) i djelatnosti transfera od velike važnosti. Organizacija TCT aktivnosti u procesu pripreme dokumenata mora ispunjavati mogućnosti svih karika lanca i svih jedinica povezanih s rukovanjem tereta.

Nadalje, dokumentacijsku proceduru čine:

- **postupci rukovanja glavne dokumentacije** – pokriva prijem dokumenata od vozača, provjeru putnih listova ili oznaka, prosljeđivanje dokumenata tehnološkom centru terminala, sortiranje i raspoređivanje dokumenata,
- **obavljanje pomoćnih poslova za rad s dokumentima** – tu spadaju carina i granični prijelazi, prijenos dokumenata i pregled vozila, sve ostale operacije i

¹Jarašūnienė, A.: „Optimisation of technological processes interminals“, Transport Research Institute, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania, 2004., str. 208.

radovi vezani za upravljanje teretom, tehnička i komercijalna inspekcija, te uklanjanje poslovnih i tehničkih odstupanja.

Glavni proces rukovanja dokumentima mora se provoditi postupno u procesu kretanja tereta dok pomoćni procesi moraju biti u skladu s općim rasponom tereta. Pošiljka tereta nakon dolaska u flotu (t_n) je dezintegrirana ($t_p = t_H + t_{poc}$), te se s kraja raspada javlja mogućnost pokretanja nove formacije (t_φ). Nakon formiranja nove teretne pošiljke, može se prosljediti, prenijeti u centar za prosljeđivanje. Do ovog trenutka dokumenti moraju biti obrađeni od strane TCT –a, unutar određenog vremena (t_1), razvrstani u roku određenog vremena (t_2) te pregledani u određenom vremenu (t_3). Nakon toga dokumenti su prebačeni s jedne do druge točke unutar određenog vremena (t_{per}).

$$t_n + t_p + t_\varphi = t_1 + t_{nep} + t_2 + t_3$$

gdje je,

$$t_{nep} = t_n + t_p + t_\varphi - (t_1 + t_2 + t_3)$$

U tijeku optimizacije tehnološkog procesa potrebno je na terminalu utvrditi neovisno prijenosno središte TCT baze, koje se nalazi u blizini inspeksijskih prostorija. Zatim, moraju biti locirani specijalni kupci i graničarski poslovi. Carinsko i granično – prijelazno osoblje koje je zauzeto sortirajući teret, moraju biti povezani s TCT–om i imati bilateralnu komunikaciju. Operativni sustav za prijenos dokumenata mora biti instaliran između TCT-a i posebnih mjesta te treba biti koordiniran s upraviteljom terminala.

TCT centar primi na prosljeđivanje dokument. Tamo ostaje original dokumenta, dok se njegova kopija prosljeđuje direktoru zajedno sa sortirnim listom, još jednom kopijom koja se dostavlja carini. Carinici pregledavaju vozilo s dokumentima koristeći tehnička sredstva (inspeksijski uređaji, industrijska televizija itd.). U slučaju odstupanja između trenutnog stanja teretne pošiljke i trenutne dokumentacije, carinik koordinira preko radiokomunikacije.

Nadalje, izračunato je da je organizacija takvog pregleda teretne pošiljke zapravo smanjuje vrijeme svih operacija za 8 do 10 minuta. Koordinacija oba sustava zajedno (svaki od njih je rukovanje relevantnog smjera) ima niz prednosti: olakšava se pregled vozila, poboljšava komunikacija između TCT-a i određenih mjesta.

2.2. Primjena tehnoloških procesa i modeliranje procesa prijevoznih terminala

Upravljanje kvalitetom aplikacija prijevoznih tehnologija u prijevoznim terminalima obuhvaća cjelovit višeplosni proces i sastoji se od sljedećih operacija:

- analize sistema upravljanja,
- planiranje kvalitete prijevoza (sigurnost prijevoza, osiguranje prijevoznog tereta, obrada transportnih dokumenata),
- prijem informacija šlepera koji sudjeluju u procesu prijevoza,
- analize svih ovih informacija gore navedenih,
- prijem povratnih informacija i njihova analiza.

Upravljanje kvalitetom tehnoloških sredstava predstavlja aplikaciju na intermodalnim terminalima, koja ispunjava opće teorije upravljanja prometnim terminalom, te utjelovljuje višepplanski proces koji se sastoji od sljedećih operacija:

- stvaranje programa za upravljanje,
- planiranje transportne kvalitete (prijevozna sigurnost, osiguranje tereta, obrada dokumenata i sl.),
- prijem podataka i analiza svih šlepera koji sudjeluju u transportu tereta,
- indicije koje proizlaze iz analize dobivenih informacija

Dakle, upravljanje tehnološkim procesima znači primjenu kvalitete ili tehnologije prijevoznih terminala, rukovanje i konsolidaciju. Glavna načela tehnologija upravljanja su sljedeće.²

- sistemnost,
- definiranje zadataka,
- adaptacija,
- dinamika,
- normativi kvalitete i standardizacija.

Optimalna tehnološka dostignuća standarda kvalitete definirana su na temelju organizacijsko-tehničkih troškova i ekonomskih mjera povezanih s poslovnim načelima koja utječu na određene čimbenike i uvjete. Stvaranje modela intermodalnih terminala počinje analizom modeliranog objekta, primjenom matematičkih formula, akumulacijom informacija s ciljem kvalitativne koordinacije na temelju eksperimentalnog rada, korekcijom modela pomoću dopunskih rješenja i na kraju, obavljanjem posljednjeg testiranja eksperimentalnog modela. Tek nakon ispunjenja ovih operacija modeli se mogu poslati na informacijski sustav za uporabu i ostvarenje zadaća.

Cilj analize mora se odnositi na modelirani sustav i njegove kapacitete za upravljanje. Matematička formulacija sustava će odrediti koliko će sustav biti učinkovit. Matematička formulacija sustava čini modeliranje cijelog procesa, odnosno opis gospodarskih procesa i ekonomsko-matematičkih akcija i modela. Cilj modeliranja je mogućnost upravljanja i kontroliranja konkretnog procesa. Nekoliko matematičkih modela je korišteno za optimizaciju procesa transportnih terminala, a to su:

- optimalno programiranje – linearno, nelinearno, diskretno, blokirano itd.,
- mrežne metode upravljanja i planiranja,
- teorija masovnog servisiranja, rukovanja itd.

Općenito, matematički model sa funkcijom cilja z i ograničenjima može se izraziti ovako³:

$$\begin{aligned}
 z &= f(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \max (\min) \\
 \phi_i &= (x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_i \quad (i= 1, 2, \dots, m_1) \\
 \phi_i &= (x_1, x_2, \dots, x_n) = b_i \quad (i = m+1, m+2, \dots, m_2) \\
 \phi_i &= (x_1, x_2, \dots, x_n) \geq b_i \quad (i = m_2 + 1, m_2 + 2, \dots, m) \\
 x_j &\geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n_1) \\
 x_j &(j = n_1 + 1, n_2 + 2, \dots) \\
 x_j &\leq 0 \quad (j = n_2 + 1, n_2 + 2, \dots, n)
 \end{aligned}$$

$b_i \geq$ slobodni članovi ograničenja ($i = 1, 2, \dots, m$).

²Ibidem, str. 209

³Ibidem, str. 210

Učinkovitost tehnološkog procesa može se ocijeniti prema jednom jedinom kriteriju, a to je rast nacionalnog dohotka, u odnosu na troškove proizvodnje ili povećane transportne resurse u okviru optimalnih omjera potrošnje i akumulacije fondova. Ekonomski kriterij mora ispunjavati ove uvjete:

- odražavati objektivne zahtjeve nacionalnog gospodarstva za rukovanje/servisiranje sustava,
- odražavati zahtjeve usluge nacionalnog gospodarskog sustava,
- odražavati troškove dobivenih rezultata,
- predvidjeti znanstveni napredak usluge ove vrste.

Optimalan izbor kriterija ponekad uzrokuje određene poteškoće i probleme koji se ne mogu riješiti jednoznačno. Kriterij primjene tehnoloških sredstava treba analizirati cjelovito, tako da bi se izbjegle greške u rješavanju problema.

2.3. Transportno modeliranje

Za transportno modeliranje dinamički model služi za procjenu troškova učinkovitosti operabilnosti sustava održavanja. Sljedeće označene vrijednosti su prihvaćene što je vidljivo u modelu:⁴

$G(t)$ – generalni trošak za vrijeme (t)

$V(t)$ – transportni kapacitet transportnog sustava za vrijeme (t)

m – usporedni troškovi prijevoza jedinice kapaciteta, troškovi koji su potrebni za nesmetano funkcioniranje transportnog sustava,

f – usporedni troškovi jedinice transportnog kapaciteta potrebni za obnovu transportnih sredstava,

r – jedinica transportnog kapaciteta usporednih troškova potrebna za povećanje transportnog kapaciteta,

k – koeficijent proporcionalnosti,

K_1, K_2 - konstante integracije

Opći troškovi transporta funkcioniranja vezani uz transportni kapacitet:

$$G(t) = kV(t)$$

gdje je

$$kV(t) = cV(t) + rV'(t),$$

$$c = m + f$$

Nakon što je riješena diferencijalna jednadžba u $V(t)$ dobiva se:

$$V(t) = K_1 \frac{k - c}{r} t + K_2$$

Potonji model može biti generaliziran trima sučajevima procjene troškova potrebnih za održavanje radne sposobnosti prometnih sustava na terminalu.

1. slučaj - prva generalizacija – prezentiranjem općih troškova u obliku linearne jednadžbe:

$$K_1(t) = a_i + b_i t, i = 1 \dots (l) N$$

gdje je: a – inicijalni troškovi, c_i – koeficijent povećanja troškova za jedinicu vremena
Funkcija općih troškova prikazana je na sljedeći način:

⁴Ibidem, str. 24.

$$G(t) = \sum_{i=1}^N K_i(t), i = 1, \dots, (l)N$$

Kada je $G(t) = a = \text{konst.}$, dobiti će se:

$$V'(t) = \frac{a}{r} - \frac{c}{r} V(t)$$

Iz toga slijedi:

$$V(t) = \frac{a}{c} \left[l - c \frac{c}{r} t \right] + e^{-\frac{c}{r} t}, c_1 = \frac{a}{c} - K$$

U tom izrazu prvi član ocjenjuje utjecaj vanjskih faktora na rad prometnih djelatnosti, u prometnim terminalima, dok drugi član karakterizira utjecaj čimbenika. Ako je $i=3$, dobiva se:

$$V(t) = i \frac{c}{r} t [c + A(t)],$$

2. slučaj – druga generalizacija su koeficijenti usporednih troškova koji su podijeljeni u zasebne komponente radi procjene zasebnih čimbenika. U tom slučaju model općih troškova izgleda ovako:

$$G(t) = \sum_i^N c_i V(t) + \sum_j^M r_j V'(t), i = 1(i)N, j = 1(l)M$$

3. slučaj – treća generalizacija je procjena utjecaja transportnog kapaciteta na opće troškove. Proširenje prijevoznih kapaciteta poboljšava realizaciju prijevozne usluge, i preduvjet je za rast troškova funkcioniranja prijevoza, njegove radne sposobnosti održavanja i modernizacije.

Stoga će funkcija općih troškova izgledati ovako:

$$G(t) = \sum_{i=1}^S g_i V(t), i = 1(l)S$$

gdje je g – koeficijent proporcionalnosti između troškova prijevoznog kapaciteta i odvojenih elemenata prijevoznih terminala, i on iznosi:

$$g_i = u_i + z_i V(t), i = 1(l)S$$

u_i – početni troškovi održavanja sustava radne sposobnosti

z_i – koeficijent troška povećan za jedinicu vremena

2.4. Optimalni transport za intermodalne kontejnerske terminale

Intermodalni terminali su vrlo važni objekti u kontejnerskoj mreži prijevoza, koji pružaju razmjenu kontejnera između cestovnog i željezničkog prijevoza. Sustav stabilnog stanja performanse treba analizirati u ovisnosti o dolasku i odlasku kontejnera. Performanse terminala mogu se mjeriti u smislu produktivnosti rada, ciklusa isporuke, iskorištenosti opreme, usluga vlaka, vremena kontejnerskog prometa. Ostvarenje poželjne razine usluge uglavnom ovisi o duljini propusnosti. Nadalje, protok vremena utječe na stacionarno vrijeme i na neproduktivno vrijeme

vlakova na terminalu te dugim propusnostima puta može izazvati zagušenje na terminalu.

Kontejnnerski prijenos na terminalima je relativno novo područje akademskog istraživanja. Kozan E. koristi model koji se zove sustav serija dolazaka s više poslužitelja s čekanjem ne bi li izvukao zaključke vezane za strategije usluge kontejnerskog terminala.⁵ Ovaj model je stohastičkog tipa. Kozan analizira ukupnu propusnost vremena kontejnera koja ovisi o dizalici i viljuškaru te prijevoznim strojevima na terminalu. Ovaj model utvrđuje prirodu odnosa između dva ili više čimbenika i mogućnosti za povećanje propusnosti otkrivajući mjesto uskih grla, koja ograničavaju protok entiteta kroz sustav.

Nadalje, Preston P. I Kozan E.⁶ su dizajnirali raspoređujući model te ga provjerili na kontejnerskim terminalima uzimajući pritom u obzir čimbenike kao što su: oprema za rukovanje kontejnerom, radni resursi, skladišni kapaciteti te izgled terminala. Glavni čimbenici koji utječu na učinkovitost kontejnerskog prijenosa su analizirani kako bi optimizirali korištenje resursa i time, kao rezultat, dobili niže operativne troškove a ujedno i zadovoljne kupce. Tabu pretraživanje i heuristički genetski algoritam (GA) koriste se za usporedbu standarda australskog kontejnerskog terminala. Nadalje, Preston P. I Kozan E. odredili su optimalnu strategiju skladištenja za različite rasporede kontejnerskog rukovanja. Ti rasporede smanjuju vrijeme okretanja broda.

2.4.1. Intermodalni kontejnerski terminal

Teret daleke udaljenosti često se prevozi kombinacijom cestovnog i željezničkog prometa. Učinkovitost prijenosa između načina prijevoza može utjecati na troškove prijevoza i vremena usluge. Da bi povećali kapacitet, glavni intermodalni terminali moraju imati višestruko paralelne kolosijeke, dopuštajući tako da se nekoliko vlakova ukrca i iskrca odjednom. Uobičajena konfiguracija kontejnerskog terminala vidljiva je na slici 1. Vidljivo je da konfiguracija ima vlakove jedan do drugoga s jednom ili više dizalica koje mogu iskrcati i ukrcati vlakove na svakom kolosijeku i viljuškare koji mogu iskrcati i ukrcati vlakove na pruzi najbližoj skladišnom kontejnerskom prostoru.⁷ Postoji mogućnost korištenja i auto dizalica za kontejnere koje mogu iskrcati i ukrcati vlakove na bilo koje prve dvije pruge.

Bitno je napomenuti kako su dizalice skuplje od ostalih strojeva za manipulaciju kontejnera, autodizalice za kontejnere su skuplje od viljuškara, povećavajući razinu usluge za vlakove na prugama osim prve pruge koja često nije ekonomična. Izgled terminala je pod utjecajem prekrajnih tehnika i broja kontejnera kojima se rukuje. U slučaju specijaliziranog kontejnerskog terminala, sav utovar i istovar uključuje okomite i vodoravne operacije. Oprema dostupna za ukrcaj i iskrcaj kontejnera na / iz željezničkih vagona se dijeli na dvije vrste:

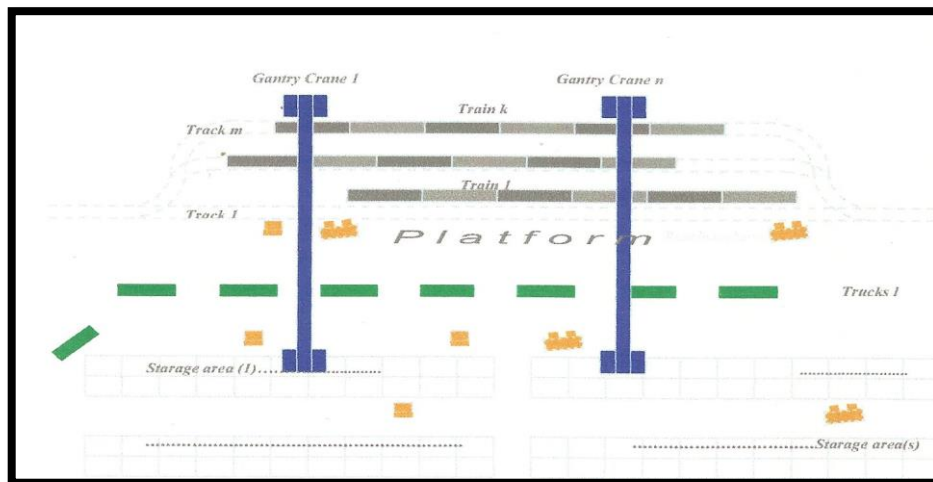
- kontejnerska dizalica (kontejnerski prijenosnici po tračnicama ili kontejnerski prijenosnici na gumenim kotačima)

⁵Kozan, E. (1994) Analysis of the economic effects of alternative investment decisions for sea port systems, *Transportation Planning and Technology*, str. 18.

⁶Preston, P., Kozan, E. (2001a) A tabu search technique applied to scheduling container transfers, *Transportation Planning and Technology*, 24(2), str. 45.

⁷Kozan, E.: Optimum Capacity for Intermodal Container Terminals, School of Mathematical Sciences, Queensland University of Technology, Australija, prosinac 2006. , str. 473.

- bočni utovarivači (viličari i/ili autodizalice za kontejnere).



Slika 1. Prikaz kontejnerskog terminala

Izvor: Kozan, E.: *Optimum Capacity for Intermodal Container Terminals*, School of Mathematica lSciences, Queensland University of Technology, Australija, prosinac 2006.

Većina cestovnih/željezničkih terminala koristi kombinaciju ove dvije vrste oprema. Izbor opreme ovisi o kontejnerskoj propusnosti, operativnoj strategiji, fizičkom operativnom prostoru, izgledu pruga, broju paralelnih pruga, stupnju standardizacije kontejnera. Ova konfiguracija za n kontejnerskih dizalica, k vlakova, m kolosijeka, f viličara, r autodizalica za kontejnere, s blokova za skladištenje i l kamiona prikazana je na slici 1. Kontejneri moraju biti pohranjeni na način kako bi se smanjila količina rukovanja koje je potrebno za polaganje i micanje kontejnera u/iz skladišnog prostora. Zatim, na izgled terminala utječu prekrcajne tehnike i broj kontejnera kojima se rukuje.

Propusnost vremena kontejnera po vlaku je pretpostavljen ekvivalent vremena vlaka na terminalu. Propusnost vremena dolaznog kontejnera po vlaku se određuje mjerenjem vremenskog intervala od dolaska vlaka do posljednjeg kontejnera koji se mora iskrcati iz vlaka. Ovaj vremenski interval uključuje vremena rukovanja kontejnerom i vremena mirovanja vlaka, i bitno utječe na kašnjenje vlaka. Ostvarenje poželjne razine usluge uglavnom ovisi o kašnjenju vlaka koje može uzrokovati zagušenja na terminalu. Učinkovitost prijenosa između načina rukovanja može značajno utjecati na kašnjenje i vremensku uslugu.

2.4.2. Simulacijski model

Simulacija je jedan od najmoćnijih alata za analizu dostupna za rad i dizajn složenih sustava. Simulacijski model razvijen je ne bi li se što bolje razumjelo ponašanje intermodalnih terminala i radi vrednovanja raznih strategija za funkcioniranje sustava. Odnosi između elemenata sustava i načina na koji su u interakciji određuju kako se sveobuhvatno sustav ponaša i koliko dobro ispunjava svoju svrhu. Dakle, simulacijski model je razvijen za opisivanje kontejnerskog napretka u sustavu koji kombinira ovaj analitički model. Nadalje, simulacija omogućuje uključivanje nestandardnih distribucija u model. Potencijal za analizu osjetljivosti je gotovo neograničen, pa smo istražili koja poboljšanja mogu biti

izgrađena na bilo kojim uskim grlima, ako imamo bilo koje varirajuće ključne parametre, kao što su vremena dolazaka i vremena rukovanja.

Simulacijski alat ARENA koristi se za izradu modela i analizu rezultata. Simulacija s ARENA alatom ima sljedeće značajke:⁸

- **isporuke i podizanja** – da bi se promijenio broj autodizalica za kontejnere, ne samo da se broj jedinica parametra u transportnom modulu mora promijeniti, već se moraju dogoditi i odgovarajuće promjene glavnog modula. Time se omogućava više kontejnerskih dizalica koje moraju biti dodijeljene u nepreklapajućim zonama kako bi se spriječio njihov sudar,
- **dolazni vlakovi** – prva petlja čita po rasporedu i stvara subjekt za svaku liniju rasporeda, dodjeljujući attribute predviđenog dolaska, raspored polaska, skretnice i sl. Druga petlja ponavlja raspored svakog dana. Blokovi dodjeljuju attribute, koji su redom broj uvoza i izvoza kontejnera. blokovi također dodjeljuju vlakove platformama i uvoze i izvoze kontejnere do skladišnog prostora,
- **dolazak izvoznog kontejnera** – kad stigne kontejner, blok i njegov blok sljedbenik koriste se za dodjelu skladišne lokacije unutar područja dodijeljenog vlaku,
- **kontejneri za iskrcaj** – kontejner na pruži 1. može biti iskrčan ili s viljuškarem ili autodizalicom za kontejnere. Međutim, ako je kontejner drugi ili treći po redu u steku, nema svrhe dovoziti kontejnersku dizalicu kada viličar može doći po njega. Kontejner na pruži 3. i 4. mora biti iskrčan kontejnerskom dizalicom. Nakon što ga je iskrčala kontejnerska dizalica, kontejner se tretira kao da je bio na pruži 1., što znači da ga prenosi viličar ili autodizalica za kontejnere.
- **kontejneri u skladišnom depou** – kada kontejner dosegne sjecište najbliže gdje treba biti složen, slaganje je odgođeno za iznos vremena potrebnog da bi prijevoznik došao do svog dodijeljenog mjesta za slaganje i istovar kontejnera. Ako je kontejner uvozni onda se provjerava da li kamion čeka da ga pokupi, ako ga ne čeka onda stoji tamo dok ne dođe kamion. Ako se pak radi o izvoznom kontejneru, onda se čeka vlak za ukrcaj i tada kontejner pronalazi svoj broj kolosijeka. Ako kontejner nije na vrhu svog staka, odnosno slaganja, tada čeka svoj red dok ne dođe na vrh. Ako je kontejner previsok za viljuškare, onda se zove autodizalica za kontejner.⁹
- **kontejneri za ukrcaj** – ako se kontejner ukrcava na drugom kolosijeku onda ga prenosi viličar, a ako se ukrcava na trećem ili četvrtom tada ga prenosi kontejnerska dizalica.
- **kamioni koji skupljaju kontejnere za uvoz**– polovica kamiona dolazi čim vlak skontejnerima dođe. Ostatak kamiona pristigne sljedeća dva dana u razdoblju između 06:00 i 21:00. Kada kamion dođe, signalizira kontejneru da je spreman pokupiti ga te čeka signal za povratak.
- **prikupljanje kontejnera za uvoz** – kad kontejner stigne na izlazna vrata, signalizira svom kamionu, oslobađa se ranijeg prijevoza i napušta simulaciju.
- **vlakovi napuštaju terminal** – kada vlak napušta terminal, oslobađa se svoje platforme izvora. Ako će se opet vratiti i ukrcati, tada postavlja svoju fazu u skladu s tim i čeka određeno vrijeme te se ponovno vraća.

⁸Ibidem, str. 477.

⁹Ibidem, str. 480.

Točan model sustava je obično vrlo teško razviti u simulaciji. Prvo, neke aproksimacije i pojednostavljenja moraju biti prisutna bez narušavanja valjanosti modela. Dakle, pretpostavljeno je da viličari i autodizalice za kontejnere nikad jedno drugome ne stoje na putu. Drugo, iako ARENA daje korisne module za simulaciju nekih uobičajenih zadataka vezanih za neke situacije, kao što su dovoljno velika skladišta i prijevozna oprema koja je djelomično izmjenjiva, upravljana je HOC metodama, koje su nespretne, oduzimaju vrijeme i vrlo su neprecizne. To prisiljava model da odabere vrstu prijevoznika prije nego što mu dodjele model.

Kontejneri za izvoz mogu biti isporučeni do pet dana prije isteka radnog vremena, što je dva sata prije predviđenog polaska vlaka. Kontejneri za uvoz se mogu podići između 06:00 i 21:00 u roku od dva dana nakon dolaska vlaka. Izvozni kontejneri su kontejneri koji ulaze na terminal kamionima a odlaze s terminala vlakom, dok uvozni kontejneri su kontejneri koji ulaze na terminal vlakom a izlaze kamionom. Vlaku je potrebno 15 minuta da uđe i izađe s lokacije iskrcaja/ukrcaja. Postoje četiri kolosijeka u sustavu, jedan pored drugog. Ako je željeni kolosijek zauzet, vlak koristi drugi kolosijek. Ako pak postoji pet ili manje kontejnera onda prvo njih treba ukrcati ili iskrcati prije nego li je željeni kolosijek dostupan.

Kontejnerska skladišna jedinica je organizirana u 84 bloka (12 dugih i 7 dubokih), svaki s kapacitetom od 42 standardna kontejnera. Vlaku su dodijeljena dva bloka za izvozne kontejnere 3 dana prije radnog vremena i dva bloka za uvozne kontejnere. Pretpostavlja se da su kontejneri iste duljine, ne bi li se time pojednostavio proces ukrcaja i iskrcaja. Viličari nisu u mogućnosti doći do drugog i trećeg kontejnera u stacku, pa su potrebe autodizalice za kontejnere. Broj izvoznih i uvoznih kontejnera prevezenih vlakovima obično je u prosjeku 71, a standardna devijacija je 12 standardnih kontejnera.¹⁰

Ukrcaj i iskrcaj kontejnera je eksponencijalno distribuiran. Neke važne značajke lučkih strojeva vidljive su u tablici 1. Pet vlakova raspoređeno je u danu s predviđenim vremenom dolaska i odlaska (tablica 2). Međutim, vrlo je često kašnjenje vlakova koje se određuje trokutastom distribucijom s parametrima (0, 15, 120). Simulacija se sastoji od 30 ponavljanja u jednom danu.

Tablica 1. Značajke lučkih strojeva

Lučki strojevi	Brzina	Dostupnost kolosijeka	Prosječno vrijeme ukrcaja i iskrcaja
Viličar	15 km/h	1	2 minute
Autodizalica za kontejnere	15 m/h	1,2	2,5 minute
Kontejnerska dizalica	10 km/h	1,2,3,4	3 minute

Izvor: Kozan, E.: *Optimum Capacity for Intermodal Container Terminals*, School of Mathematical Sciences, Queensland University of Technology, Australija, prosinac 2006.

Tablica 2. Dnevni raspored vlaka

Dolasci vlaka	6:00	7:00	7:50	8:35	13:00
Polasci vlaka	10:00	11:00	13:00	15:30	16:30

Izvor: Kozan, E.: *Optimum Capacity for Intermodal Container Terminals*, School of Mathematical Sciences, Queensland University of Technology, Australija, prosinac 2006.

¹⁰Ibidem, str. 478.

3. SIMULACIJA I PLANIRANJE INTERMODALNOG KONTEJNERSKOG TERMINALA

Upravljanje jednog intermodalnog kontejnerskog terminala je složen proces koji uključuje velik broj odluka. Većina svjetskih dobara/roba kojima se trguje se svakodnevno prevozi preko intermodalnih terminala. Roba dolazi i odlazi na raznim prijevoznim sredstvima, poput kamiona, vlakova i brodova. Intermodalni kontejnerski terminal ima temeljnu ulogu u usmjeravanju robe.¹¹ Intermodalni terminal je zapravo osnovni čvor transportne mreže, gdje se donese tisuću odluka na dan vezanih za upravljanje ovim ravnomjernim protokom kontejnera.

Pojavom upravljanja informacijskim uslugama i obrade podataka uvelike je poboljšana sposobnost upravljanja terminalom, no potrebno je malo detaljnije analizirati podatke kako bi dobili uvid o uspješnosti poslovanja terminala. Simulacijski modeli su se dokazali pouzdanim i prikladnim alatom za podršku. Ti alati pružaju eksperimentalni uvid, mogu ocijeniti valjanost politike upravljanja te mogu koristiti za isticanje problema, kao što su sukobi u raspodjeli resursa i upravljanja prostorom terminala. Simulacijski alati ne daju odgovore na pitanja tipa „kako mogu smanjiti vrijeme potrebno za iskrcaj za ova dva dolazna broda?“ ili „Trebam li iskrcati brod ili da pričem da vlak dođe?“ U mnogim slučajevima te odgovore donosi upravitelj terminala, temeljeći svoje odluke na iskustvu.

Značajna pomoć upraviteljima terminala može se izvući iz Sustava za potporu odlučivanju¹². U sustavu za potporu odlučivanju planiranje i tehnike upravljanja proizlaze iz operacijskih istraživanja i polja umjetne inteligencije, mogu biti povezani sa simulacijskim modelom i statističkim alatima analize podataka. Ljudski donositelji odluka imaju tendenciju ne vjerovati racionalno generiranim politikama upravljanja, osim ako su se u potpunosti razumjeli ili imaju dokaz svoje valjanosti, stoga je tu presudna uloga simulacije. Dobro osmišljen simulacijski alat može biti središnje područje u kojem donositelji odluka uspoređuju svoje iskustvo sustavom za potporu odlučivanju. U tom smislu, jasno je da matematički pristupi imaju veliku ulogu u optimizaciji procesa terminala.

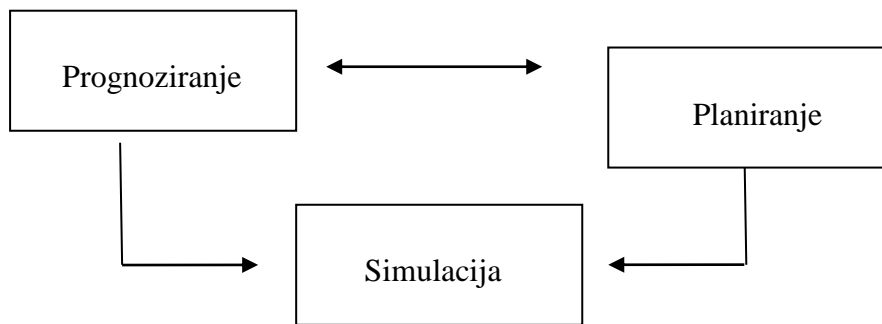
3.1. Potpora odlučivanja za upravljanje terminalom

Skladištenje kontejnera na terminalu, raspodjela resursa i raspoređivanje ukrcaja i iskrcaja broda su glavni problemi u jednom intermodalnom terminalu. Kako bi se riješili ovi problemi definirat će se arhitektura koja se sastoji od triju različitih ali strogo povezanih modula (slika 2):

- simulacijski model terminala, opisan u smislu subjekata (radna snaga, prijevozna sredstva, skladišni prostori i sl.) i procesa (brodsko opterećenje, ukrcaj, iskrcaj, kretanje kamiona, dizalice i sl.)
- skup predviđenih modela za analizu povijesnih podataka i predviđanja budućih događaja, čime se osigurava procjena očekivanog uvoza i izvoza,
- sustav planiranja za optimizaciju ukrcaja i iskrcaja, raspodjelu resursa i lokacija kontejnera na terminalu.

¹¹Gambardella, L.M., Rizzoli, A.E., Zaffalon, M.: „Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal“, Switzerland, 1998., str. 3.

¹²DSS – *DecisionSupport Systems*



Slika 2. Modularni sustav arhitekture

Izvor: Gambardella, L.M., Rizzoli, A.E., Zaffalon, M.: „Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal“, Switzerland, 1998.

Ova arhitektura podržava upravitelje terminala u ocjenjivanju.¹³

- ukrcaja i iskrcaja brodova u troškovnom i vremenskom smislu,
- raspodjele sredstava procedure,
- uvjeta za skladištenje kontejnera, u pogledu troškova, poslovanja i prostora.

Potrebno je istaknuti da postoji niz problema koji su smješteni na različitim reprezentativnim razinama, a koji se mogu riješiti uz pomoć računalnog sustava za potporu odlučivanja: prostorno raspoređeni kontejnerski terminali, raspodjela resursa terminala (radne snage, dizalica i sl.) i raspoređivanje opreme terminala (npr. pokreti kontejnera). Time bi se povećala funkcija učinkovitosti ekonomskih pokazatelja. Planiranje rasporeda operacija terminala može biti kraći od jednog sata. Obratit ćemo pažnju na modul raspodjele resursa, koji je tema sljedećeg poglavlja.

Uloga modula raspodjele resursa je rješavanje problema raspodjele sredstava za ukrcaj i iskrcaj broda. Problem raspodjele sredstava može se formulirati kao mješoviti cjelobrojni linearni programski problem¹⁴ s ciljem povećanja profita preko diskretnog i ograničenog vremenskog razdoblja (vrijeme je diskretno ovisno o smjeni, tj. 6 h je najmanja jedinica vremena za raspodjelu resursa). Nadalje, objektivna funkcija ovisi o troškovima korištenja resursa, kašnjenju ukrcaja i iskrcaja broda i o prihodu terminala za svaku vrstu posla. Algoritam koji je implementiran prihvaća kao input listu planiranih brodova, predviđeno vrijeme dolaska, predviđen broj kontejnera za ukrcaj i iskrcaj te regije terminala uključene u ukrcaj i iskrcaj. Ishod je vidljiv u rasporedu kontejnerskih jedinica i obalnih dizalica zaposlenih u predstojećem radu. Simulacijski alat je zaposlen kako bi potvrdio rješenje odobreno od algoritma.

Modul raspodjele sredstava je dizajniran za modeliranje terminala kao protok mreže gdje su sredstva korištena za distribuciju kontejnera s brodova na različite kontejnersko skladišne prostore i obrnuto.¹⁵ Ovaj modul je dizajniran da bi se utvrdio iznos sredstava potrebnih za obavljanje cijelog niza operacija terminala. Važno je napomenuti da modul raspodjele resursa koristi iste informacije dostupne upraviteljima terminala koji isti zadatak obavljaju ručno. Prije dolaska broda dostupni podaci su: očekivano vrijeme dolaska broda, ukupan broj kontejnera za ukrcaj i

¹³Gambardella, L.M., Rizzoli, A.E., Zaffalon, M.: „Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal“, Switzerland, 1998.g., str. 3.

¹⁴ MILP – *Mixed Integer Linear Programming*

¹⁵Ibidem, str. 5.

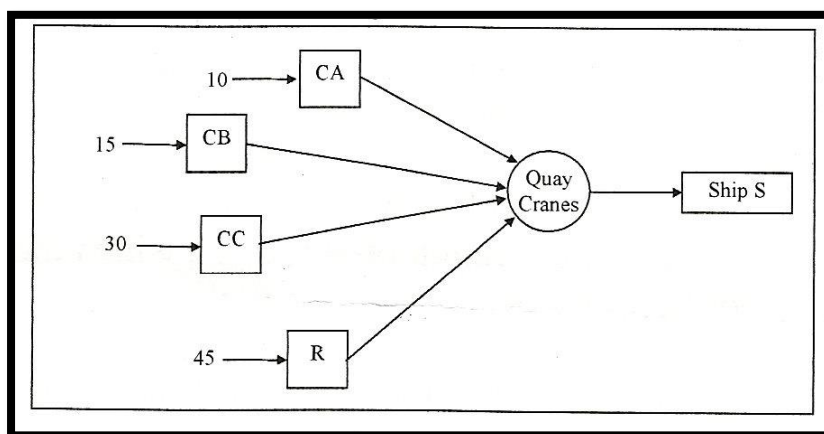
iskrcaj, kontejnerska distribucija na terminalu depoa i raspodjela uvoznih i izvoznih područja depoa. Što se tiče raspodjele sredstava, terminal se može protumačiti kao mehanizam koji omogućuje kontejnerskim tokovima da budu usmjereni prema odgovarajućem odredištu, s ciljem povećanja profita.

Tablica 3. *Distribucija kontejnera za brod S*

Ime broda	Obala	CA	CB	CC	A	R
S	1	10	15	30	0	45

Izvor: Gambardella, L.M., Rizzoli, A.E., Zaffalon, M.: „Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal“, Switzerland, 1998.g

Tablica 3 pokazuje kako se količina kontejnera povezana s brodom S distribuirala u kontejnerski skladišni prostor (CA, CB, CC, A i R). Konkretno, 10 kontejnera je pohranjeno u CA, čekajući da se premjeste na brod, drugih 15 kontejnera čekaju u CB, 30 kontejnera je u CC i 45 u R. Ovaj proces opisan je pomoću grafa na slici 3.



Slika 3. *Protok mreže za primjer broda S*

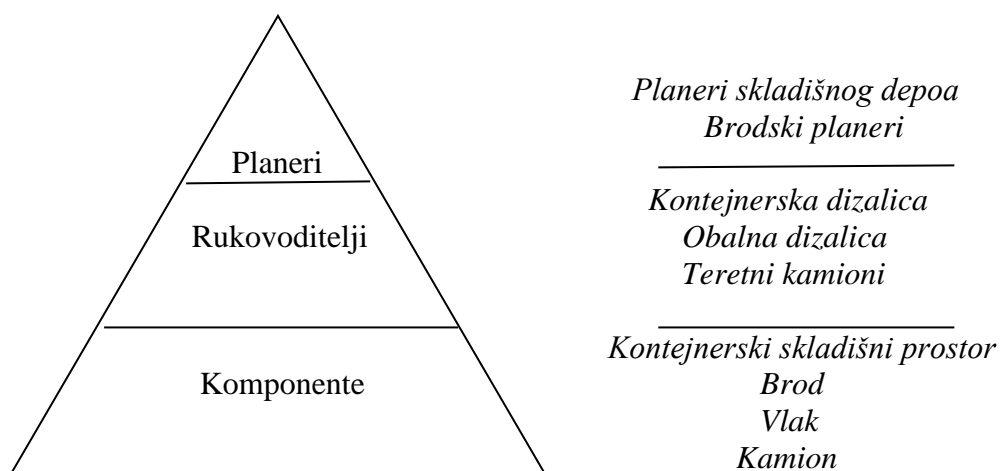
Izvor: Gambardella, L.M., Rizzoli, A.E., Zaffalon, M.: „Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal“, Switzerland, 1998.g

Dijagram na slici 3 je graf u kojem kvadrati predstavljaju područja skladišnog prostora kontejnera (kvadrat koji odgovara A nije prikazan jer ne postoje kontejneri u području A za brod S), krug predstavlja obalnu dizalicu koja služi brod S a pravokutnik predstavlja sam brod S. Protok mreže na slici 3 predstavlja moguće putove kontejnera unutar terminala. Na primjer, put „CA – obalna dizalica – S brod“ označava da se kontejneri pohranjeni u području CA moraju preseliti na obalnu dizalicu a zatim na brod S.

3.2. Simulacijski modul

Arhitektura simulacijskog alata temelji se na podjeli simulacijskih objekata između simulacijskih agenata i simulacijskih komponenata. U intermodalnom terminalu postoje dva paralelna toka: informacija i kontejneri. Simulacijski agenti

koriste protok informacija ne bi li tako donijeli odluke o tome kako usmjeriti protok kontejnera.



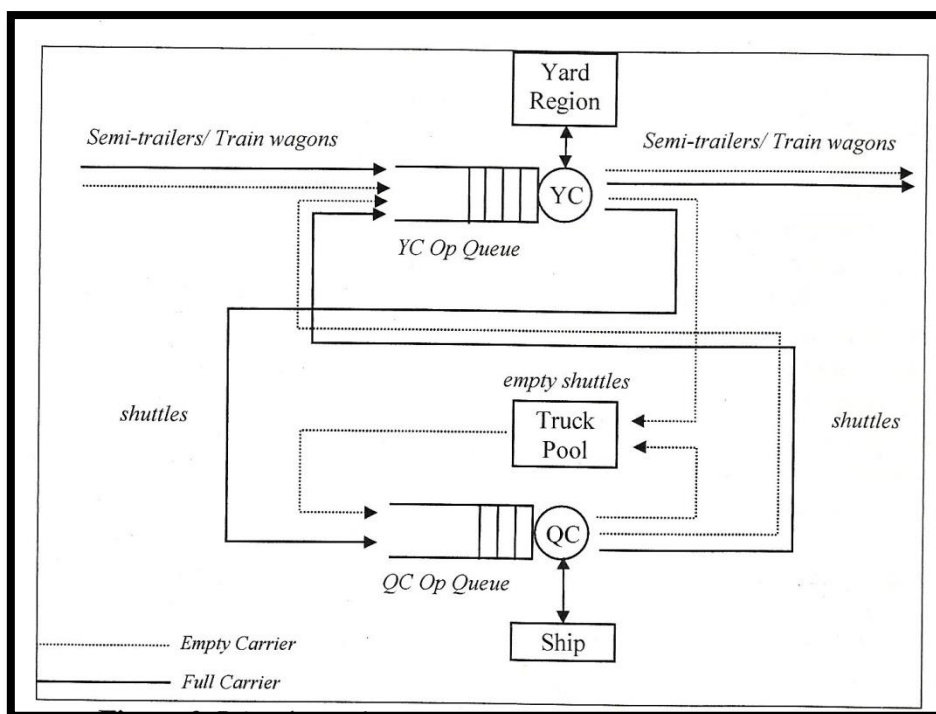
Slika 4. *Hijerarhija simulacijskih agenata*

Izvor: *Gambardella, L.M., Rizzoli, A.E., Zaffalon, M.: „Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal“, Switzerland, 1998.g*

Bitno je istaknuti kako simulacijski agenti i komponente pohranjuju i razmjenjuju informacije o ulaznim i izlaznim komponentama terminala. Ne postoji jedinstven nadzor agenata koji kontroliraju cijelu simulaciju, već je simulacija rezultat interakcije pojedinačnih agenata, svaki od njih obdaren „lokalnim“ znanjem o svojim akcijama koje su odgovor na ponašanje drugih agenata. Nadalje, postoji hijerarhija simulacijskih objekata određena prema njihovoj „inteligenciji“ (slika 4). Planeri, kao što su to planeri skladišnog depoa i brodski planeri, nalaze se na vrhu jer su preuzeli informirane odluke o resursima i raspodjelama prostora. Rukovoditelji dizalica i vozači teretnih kamiona zauzimaju srednji sloj, budući da oni imaju znanje koje im omogućava pokretanje kontejnera, izbjegavanje lokalnih sukoba. Na dnu se nalaze komponente terminala, kao što su kontejnerski skladišni prostori i kontejneri te ostala sredstva (brodovi, vlakovi i kamioni koji su u principu „inteligentni“ ali su modelirani kao „glupi“ jer je njihovo ponašanje nametnuto vanjskim utjecajem a ne izravno od strane upravitelja terminala.).

Simulacijski alat replicira aktivnosti terminala i temelji se na načelu da vanjski događaji stvaraju reakcije simulacijskih agenata koji pak djeluju na simulacijskim komponentama.¹⁶ Odazivi simulacijskih agenata određeni su u skladu s politikom koja može biti ili generirana od strane optimizacijskih modula ili od strane subjekata terminala i njihovog iskustva. Vanjski događaji su: dolazak kamiona na ulaz terminala, vlakovi koji dolaze na terminal, brodovi koji odlaze na gat terminala. Dolazak generatora je dio simulacijskog alata koji generira ove dolaske.

¹⁶Ibidem, str. 6



Slika 5. Shematski prikaz protoka kontejnera

Izvor: Gambardella, L.M., Rizzoli, A.E., Zaffalon, M.: „Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal“, Switzerland, 1998.g

Na slici 5. prikazan je primjer kontejnerskog protoka u terminalu ograničen na obalnu dizalicu i dizalicu skladišnog depoa (portalnu dizalicu ili lučka dizalica) na pravom yard terminalu postoji 7obalnih dizalica i kranova i 20 dizalica depoa. Brodovi, vlakovi i kamioni ulazeći u terminal moraju imati tovarni list kontejnera za uvoz i iskrcajni list kontejnera za izvoz. Brodski agent je simulacijski agent namijenjen za organiziranje ukrcaja i iskrcaja jednog broda. On obavlja sljedeće zadatke:¹⁷

- dodjeljuje smjene za rad obalnim dizalicama koje su potrebne za ukrcaj i iskrcaj broda, te daje brodu uvoznju i izvoznju listu,
- izračunava plan zaljeva – općenito, iskrcaj se događa prije ukrcaja i ove dvije aktivnosti moraju poštivati brodska strukturalna ograničenja stabilnosti. Trenutačno plan zaljeva je jednostavno izračunati uz pretpostavku da su obalne dizalice u istom smjeru dok rade na brodu (npr. s desna na lijevo). U više sofisticiranijoj i realnijoj verziji planera broda, plan zaljeva bi se trebao izračunati raspoređenim algoritmima koji su zaduženi za pripremu radnih lista za obalne dizalice,
- pita planera depoa da dodjeli određena mjesta u kontejnerskom skladišnom prostoru i to prema kontejnerima koji se iskrcavaju. Ti iskrcani kontejneri će biti pohranjeni u podregijama kontejnerskog skladišnog prostora, pod nazivom uvoznih područja.
- komunicira s agentom kontejnerskih skladišnih prostora da bi se izvršio ukrcaj kontejnera. tu treba voditi računa o poštivanju slijeda slaganja kontejnera na brod prema njihovoj veličini, težini, luci određena te nizu osobnih značajki kao što su razredi opasnosti, vrsta robe koja se prevozi i sl.

¹⁷Ibidem, str. 8.

- pušta u rad obalne dizalice prema unaprijed određenom planu. Nadzire ukrcaj i iskrcaj, prikuplja podatke i procjenjuje učinkovitost.

Još jedan veliki zadatak simulacijskog agenta kontejnerskog skladišnog prostora jest organizacija kontejnera u kontejnerskom skladišnom prostoru, kako bi se povećala učinkovitost dizalica depoa, izbjegli zastoji dizalica te smanjilo vrijeme pristupa kontejnerima tijekom skladištenja. Njegovi zadaci su sljedeći:¹⁸

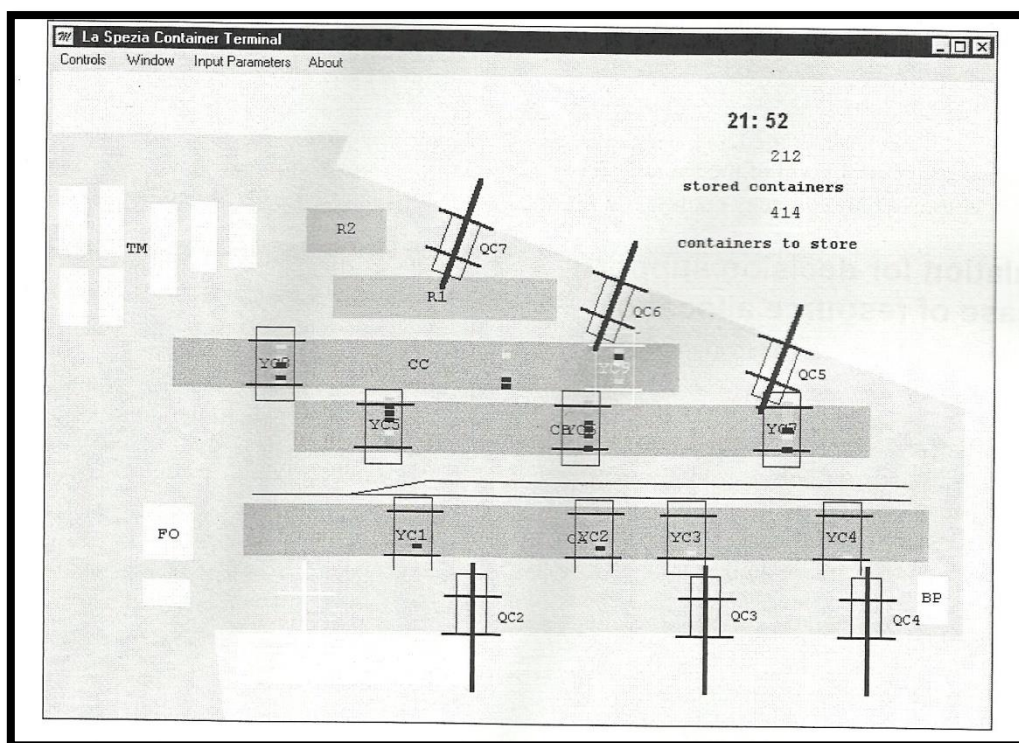
- dodijeliti radne smjene dizalicama depoa, ovisno o popisu kontejnera za ukrcaj i iskrcaj pomoću brodova i vlakova koji se tamo nalaze ili trebaju doći,
- organizirati kontejnerski skladišni prostor prema određenoj politici koja procjenjuje optimizaciju modula (automatsko parkiranje),
- riješiti *job – shop* probleme raspoređivanja, koristeći raspoložive podatke o vlakovima, brodovima i kamionima za ukrcaj i iskrcaj. Rezultat je radna lista (popis) za svaku dizalicu depoa i za svaku obalnu dizalicu. Ovi popisi se računaju pomoću raspoređivanja algoritma implementiranog u optimizaciju modula. Zbog stohastičnosti procesa terminala, zadatak raspoređenog algoritma je proizvesti ostvarivo rješenje uz početne uvjete. Tijekom operacija terminala, na ponavljajućim intervalima, potrebno je pokrenuti reaktivno raspoređene algoritme radi suočavanja neočekivanih problema kao što su kašnjenja i zastoji dizalica.

Obalne dizalice počinju raditi kada ih planer broda dodijeli u radne smjene te im dodijeli popis kontejnera koje treba ukrcati ili iskrcati. Zatim, obalne dizalice prestaju raditi kad završe obradu svoje radne liste, čak i kad je njihova smjena gotova oni moraju obraditi svoju radnu listu. One premještaju kontejnere na i s kamiona koji se kreće između obalnih dizalica i dizalica depoa. Kada obalna dizalica iskrca kontejner, pita planera depoa kojoj je dizalici depoa dodijeljena. Dok su lokacije depoa kontejnera unaprijed određene, dizalica depoa nije dodijeljena sve dok se kontejner ne preseli.

Dizalice skladišnog depoa dižu i spuštaju kontejnere na depou. One imaju red operacija koje izvode. Operacija je pokret kontejnera neovisno o akciji dizanja ili spuštanja.. Čak i privremeni potezi micanja su također operacije. Kao što smo vidjeli ranije, ovaj red poslova (radna lista) može se automatski optimizirati i to raspoređivanjem poslova, ili unaprijed upravljanim lokalnim propisima, koji pokušavaju oponašati ljudskog operatera. Dizalice depoa su također opremljene s „tie – breaking“ mehanizmom kako bi se izbjegao zastoj. Nadalje, dizalice skladišnog depoa mogu potvrditi potencijalni zastoj i dodijeliti jedan od pokreta kontejnera susjednoj dizalici – optimalno rješenje, izbjegava se ponovno računanje cijelog problema poslova.

Na slici 6. vidljivo je tipično izvješće na terminalu tijekom simulacije. Brod je usidren na zapadnom gatu (sjever je s lijeve strane slike) i iskrcava se pomoću dvije obalne dizalice. QC1 i QC2 (samo je QC1 aktivna). Kontejneri se moraju postaviti na lokacije depoa CA, CB i CC. Na tim područjima dizalice depoa YC rade od 1 do 9.

¹⁸Ibidem, str. 9.



Slika 6. Simulacijski alat korisničkog sučelja

Izvor: Gambardella, L.M., Rizzoli, A.E., Zaffalon, M.: „Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal“, Switzerland, 1998.g

U ovom poglavlju pokazano je korištenje optimizacije i simulacijskog alata kao podrške odlučivanja u upravljanju intermodalnim terminalom. Usredotočili smo se na problem raspodjele resursa i pokazali kako se operativne istraživačke tehnike mogu koristiti za generiranje raspodjele resursa koji se mogu koristiti kao podrška upraviteljima terminala prilikom njihovog odlučivanja oko strategije upravljanja. U tu svrhu, simulacijski alat je temeljni alat za procjenu valjanosti računalnog generiranog rješenja.

3.3. Model optimizacije za konfiguraciju lučke opreme

Tema ovog poglavlja jest razvoj modela optimizacije koji može biti uključen u računalni sustav podrške odlučivanja (DSS – *Decision Support System*), koji služi za odabir opreme na strateškoj razini, za ulaganja u unitizirani teret na lučkim terminalima u kontekstu pomorskog prijevoza na kratke udaljenosti (eng. *ShortSeaShipping/SSS*). Najjednostavnije rečeno, pomorski prijevoz na kratke udaljenosti je prijevoz putnika ili tereta morem bez prelaska oceana. Vrsta broda pogodna za SSS rad (RO-RO, LO-LO) određena je na temelju isplativosti i kompatibilnosti s opremom terminala. Treba istaknuti kako unitizirani teret, u usporedbi sa sustavima rukovođenja, se temelji na vektorima troškova i kapaciteta. Stoga je potrebno kombinirati sve ove modele kao jedan sustav s ciljem formuliranja cjelovitog linearnog optimizacijskog modela (ILP).

U nastojanju modeliranja selekcije opreme za cijeli kontejnerski terminal, treba uzeti u obzir veliki broj ograničenja i varijabli. Izazov modeliranja takvog sustava je da ta ograničenja i varijable međusobno ovise o logističkim vezama koje pak zahtijevaju intuiciju. Ta se ograničenja mogu minimizirati modeliranjem različitih

segmenata problema (npr. podsustavi) i rješavanje u integriranom modelu. Bitno je istaknuti kako modeliranje opreme na kontejnerskom terminalu koristi linearno programiranje kao metodu optimizacije, izgrađujući tako znanje na performansama rukovođenja na unitiziranom terminalu, pogotovo u interdisciplinarnom području logistike, računalne znanosti, operativnih istraživanja i inženjeringa. Glavni doprinos rada je primjena tehnika računalne znanosti u području strateškog odlučivanja, vezanih za konfiguraciju složenih sustava (npr. međuodnosi opreme i broda) s izborom opreme rukovođenja. Takav pristup mogao bi biti koristan u prekrcaju tereta, zrakoplovnoj industriji, industrijskim procesima planiranja proizvodnje, životnom ciklusu proizvoda duž opskrbnog lanca i sl.

4. STRUKTURA POMORSKOG PRIJEVOZA NA KRATKE UDALJENOSTI

Koncept pomorskog prijevoza na kratke udaljenosti (SSS – eng. *Short Sea Shipping*) široko je poznat te se koristi protiv zagušenja i ostalih prometnih problema. Potreba za pronalaženjem alternativnih načina prijevoza roba u Europi proistekla je iz činjenice da se u posljednjih 20 godina za 50 % povećao broj teških cestovnih vozila na europskim cestovnim koridorima. Budući da je takvo povećanje cestovnog prometa dovelo do smanjenja protočnosti europskih cestovnih koridora, Europska komisija razvila je projekt *Short Sea Shipping*. Osnovni cilj jest pronalaženje načina za premještanje tereta s cestovnih koridora na alternativne putove, u prvom redu more, željeznicu i unutarnje vodene putove.

Pomorski prijevoz na kratke udaljenosti definira se kao kretanje roba i putnika morskim putem između luka koje su smještene unutar Europe u geografskom smislu i/ili između tih luka i luka smještenih u zemljama izvan Europe, a koje imaju obalnu liniju na moru koje graniči s Europom. Pomorski prijevoz na kratke udaljenosti također se proteže na pomorski promet između zemalja članica EU-a te Norveške, Islanda i drugih zemalja na Baltičkom i Crnom moru te na Mediteranu. Iz navedene definicije vidljivo je da *Short Sea Shipping* uključuje i Republiku Hrvatsku. U Europskoj zajednici *Short Sea Shipping* uključuje domaći i međunarodni pomorski promet, feeder servise, dužobalni promet i veze prema otocima, odnosno od njih prema obali, te promet po rijekama i jezerima.

Provedena statistička istraživanja pokazala su da se na kratkim relacijama za prijevoz tereta većinom koristi cestovni promet, dok se za duge relacije više koristi pomorski prijevoz. Takva podjela navodi na zaključak da cestovni i pomorski prijevoz privlače različite segmente tržišta. Zadatak pomorskog prijevoza za kratke udaljenosti jest promijeniti tako uspostavljeni odnos te stalnim promotivnim djelovanjem nastojati privući, u što većoj mjeri, i dio tržišta koji je sada, prvenstveno, usmjeren na cestovni promet, tj. Terete koji se prevoze na kratkim relacijama. Takvom preraspodjelom *Short Sea Shipping* bi mogao, između ostalog, i smanjiti duljinu putovanja za koje se koristi pomorski prijevoz integriranjem tog načina prijevoza u transportne lance "od-vrata-do-vrata". Suradnja s ostalim načinima prijevoza u logističkom lancu te s krcateljima i špediterima također je od izuzetne važnosti za stvaranje sveobuhvatne mreže koja će nuditi usluge " od-vrata-do-vrata " po prihvatljivim cijenama. Nadalje, pomorski prijevoz na kratke udaljenosti podrazumijeva integraciju pomorskog prijevoza u logističke prijevozne lance kojima bi trebala upravljati te ih predstavljati na tržištu samo jedna komercijalna osoba/tijelo, tzv. "one-stop shop".

Glavni razlozi za razvoj pomorskog prijevoza na kratke udaljenosti su:

- povećavanje protočnosti prometa njegovim premještanjem s cestovnih koridora na alternativne pravce,
- pojačavanje povezanosti Europske zajednice, olakšavanje međusobne povezanosti država članica i europskih regija te revitalizacija perifernih regija,
- ekološki aspekt pomorskog prijevoza na kratke udaljenosti

Osnovni zadatak koji se nameće transportnom lancu jest prebaciti robu od proizvođača do krajnjeg korisnika u što kraćem vremenu i uz što manji trošak. S obzirom da je zbog povećanja robne razmjene unutar Europe smanjena protočnosti prometa, kao rješenje nameće se skretanje prometa s cesta na druge transportne putove. Zadatak pomorskog prijevoza na kratke udaljenostima jest naći način za skretanje što više tonskih kilometara (*tkm*) s cestovnih koridora.

$$Rtk = Ctk - SSStk [tkm]$$

gdje je:

Rtk – razlika tonskih kilometara

Ctk – cestovni tonski kilometri

SSStk – tonski kilometri u *ShortSeaShipping*-u

Pomorski prijevoz na kratke udaljenosti u najkraće rečeno, pruža svojim korisnicima jednostavniji, brži, jeftiniji i ekološki prihvatljiviji vid transporta roba po sustavu "vrata do vrata". Da bi Short Sea Shipping bio uspješan, potrebna je dobra suradnja nositelja svih oblika transporta koji, u konačnici, čine jedan intermodalni lanac prometnih usluga. Da je pomorski prijevoz na kratke udaljenosti uspješan projekt, govori činjenica da je u 2005. godini, od ukupne robne razmjene unutar Europe, gotovo 40% provedeno baš putem pomorskog prijevoza na kratke udaljenosti.

Zatim, kada govorimo o troškovima tada moramo istaknuti kako je teško procijeniti trošak, ali glavni izazov leži u kalkuliranju koristi koje nisu uvijek očite. Iako lučka uprava razumije pomorski prijevoz na kratke udaljenosti s operativnog stajališta, često joj je teško izmjeriti, odnosno kvantificirati koristi i troškove. Ne samo da brodari i operateri terminala ne žele podijeliti svoje vitalne informacije o cijenama, nego cijene aspekata kao što su utjecaji okoliša, kvaliteta usluge, upravljivost rukovanjem i sl. imaju nedostatak standarda.

Procjene troškova pokazuju da je osnivanje novih redovitih pomorskih veza mnogo jeftinije nego izgradnja nove infrastrukture zemljišta. Nadalje, gledajući s ekonomskog aspekta, temelj učinkovitih cijena treba biti marginalan umjesto tradicionalnog prosjeka troška cijena.¹⁹ Ekonomski razmjeri postoje i u pružanju obalne infrastrukture i u rukovođenju opremom tereta. To zahtijeva lučke subvencije ne bi li se tako pokrio ukupni troškovi, osim ako se isplati kapitalni izdatak s fiksnim elementom, predstavljajući značajan udio u ukupnom trošku, 80% za kontejnere i 60% za rasuti teret.

- **TROŠAK BRODOVA**

Troškovi se generalno mogu podijeliti na fiksne i varijabilne troškove. Fiksni troškovi uključuju izgradnju (kapital), posadu, održavanje i osiguranje, dok cijene goriva, kao što je deprecijacija i amortizacija, spadaju u varijabilne troškove. Dio kapitala varira između 20% do 70% i zapošljavanja između 5% do 30%. Stjecanjem plovila, odnosno broda, utvrđuju se ključni pokazatelji, kao brodogradilište, tip broda, kvaliteta broda, veličina broda , učinkovitost i uvjeti isporuke broda. Većina ulagača koji su uključeni u sustav pomorskog prijevoza na kratke udaljenosti matraju da su vrlo brzi brodovi (brodovi koji razvijaju brzinu od 25 do 30 čvorova) potrebni za podršku pomorskom prijevozu na kratke udaljenosti operacija, no ti brodovi su vrlo skupi za izgradnju i održavanje te zahtijevaju dugoročnu predanost broдача.

- **TROŠAK TERMINALA**

Zbog ekonomskih i geografskih čimbenika terminalske luke mogu znatno varirati. Takve varijacije mogu igrati veliku ulogu u oblikovanju nove investicijske strategije i pogodnih sustava rukovođenja na danom terminalu. Trošak terminala uključuje:

- vrste objekata i opreme za servis brodova i premještanje tereta,
- poteškoće izgradnje vezova i stjecanje rampa,

¹⁹ Pettersen Strandenæs, P., Marlow, B.; Port Pricing and Competitiveness in Short Sea Shipping, Publisher; International Journal of Transport Economics, 2007.g. str. 45

- odlaganje tereta i pristup terminalu,
- vrsta osiguranja,
- uzorak slaganja kontejnera,
- ekološki utjecaj i intermodalna kompatibilnost.

Bitno je istaknuti da u slučaju gdje zemljište nije tako skupo za steći (npr. u Švedskoj), troškovi ulaganja u terminal uglavnom se odnose na vrstu opreme i objekte potrebne terminalu. Američko istraživanje prijevoza dalo je procjenu poslovnog omjera za terminal te je ustanovljeno da 33,5% troškova otpada na projekt pomorskog prijevoza na kratke udaljenosti

- **TROŠAK OPREME I RUKOVANJA**

Kao rezultat različitih okolišnih promjena, sistemi rukovođenja predstavljaju središnje mjesto na današnjim suvremenim terminalima koji imaju povećanu potrebu za točnim, racionalnim i brzim kretanjem materijala. Rukovanje teretom je od posebne važnosti, budući da trošak ove usluge općenito predstavlja 80% troškova koje je brod imao ukrcajem i iskrcajem robe. Gledano iz perspektive pomorskog prijevoza na kratke udaljenosti, brodski operateri moraju platiti lučke radnike za ukrcaj i iskrcaj tereta na/s brodova. Upravo taj trošak će učiniti usluge SSS – a manje konkurentnim s drugim načinima. Operativni omjer za opreme u *ShortSeaShipping*- u iznosi 12% uključujući održavanje i popravke.

- **TROŠAK UPRAVE I PRODAJE**

Upravni postupci također predstavljaju značajan dio (procjenjuje se na 21,5% troška strukture pomorskog prijevoza na kratke udaljenosti U definiranju pomorske politike EMPA²⁰ uključuje mjere koje potičumeđuobalnu plovidbu i korištenje unutarnjih plovnih putova. EMPA posebno predlaže da se administrativno opterećenje svede na razinu usporedivu s drugim načinima prijevoza koji se koriste za prijevoz unutar Europe. Međutim, administrativni trošak uprave nije problem za luke koje se jednostavno rekonstruiraju da bi se tako prilagodile pomorskom prijevozu na kratke udaljenosti, jer takve luke se mogu osloniti na postojeće upravno tijelo.

- **EKOLOŠKI UTJECAJI**

Zbog svojih posebnih obilježja, morske luke su vrlo složeni sustavi sa širokim rasponom pitanja vezanih za zaštitu okoliša, kao na primjer, ispuštanja vode (otpadne vode, slučajna ispuštanja tijekom ukrcaja/iskrcaja...) i onečišćenja zraka. Naime, u pomorskom prijevozu energetska učinkovitost mnogo je veća nego u drugim oblicima transporta te se izlučuje znatno manje CO₂ po tonskom kilometru ili putniku nego li je to slučaj kod ostalih oblika transporta. Što se tiče smanjenja ispuštanja SO₂, ono se može postići smanjenjem sadržaja sumpora u gorivu ili opremanjem brodova sustavima za čišćenje ispušnih plinova. Mjere za smanjenje ispuštanja NOx podrazumijevaju korištenje katalitičkih konvertera, recirkulacije ispušnih plinova, emulzije vode i goriva te niske razine ispuštanja NOx. Zbog toga su vrlo stroge mjere u lukama kada govorimo o zaštiti okoliša.

Dok *Short Sea Shipping* implementacija može biti sposobna za čak 2.400 kontejnera ili 6.400 kamiona na vrlo zagušenim koridorima, visoko povezane frekvencije mogu značajno doprinijeti povremenom ispuštanju onečišćujućih tvari s brodova. Dakle, potrebno je osigurati ekološke prednosti pomorskog prijevoza na kratkim udaljenostima na regionalnoj osnovi. Nadalje, treba raditi na smanjenju emisije dizela u urbanim koridorima.

Takvi ciljevi mogu se postići kroz snažne mjere zaštite okoliša te političkim propisima. Tu moramo istaknuti Marco Polo projekt koji je izabran od 13 ostalih

²⁰ EMPA - *European Maritime Pilot Association*

projekata, za promicanje vladine inicijative za pomorski prijevoz na kratke udaljenosti.

4.1. Kapacitet dimenzija pomorskog prijevoza na kratke udaljenosti

Rast svjetske trgovine kontejnerskog tereta nadmašio je rast svjetske trgovine u cjelini od uvođenja kontejnera 50-tih godina dvadesetog stoljeća. U 2001. godini prekomorski kapacitet dosegao je nevjerojatnih 73 milijuna TEU, što pak predstavlja 230 milijuna operacija u lukama. S prosječnim rastom u kontejnerskom teretu od 7%, nije nevjerojatno za očekivati udvostručenje prekomorskog tereta u razdoblju od 2001. do 2010. godine. Iako ovaj porast kapaciteta ne može predstavljati veliki izazov za pomorski prijevoz, natjecanje tržišnih snaga nameće nevjerojatnu trgovinu između kapaciteta i brzine. Povećanje kapaciteta postići će ekonomsku ravnotežu i općenito dovesti do smanjenja brzine.

Ključna pitanja kapaciteta odnose se na:

- **kapacitet broda** - kao rezultat potrebe za intermodalnim rješenjima i ekonomskim razmjerima. Kontejnerski brodovi će biti isporuka izbora. Konkretno, dizajn brodova velikih kapaciteta (više od 1.000 TEU) bez obzira na rast tereta, brzina je i dalje ostala ozbiljan izazov. Dok je brodski kapacitet važniji za određivanje prijevoznih troškova tereta, važnost brzine se smanjuje s povećanjem veličine broda. To znači da za isti porast brzine u brodu malog kapaciteta (kapacitet 100 do 500 TEU), kao i brodu velikog kapaciteta (iznad 1.000 TEU), postoji značajna jedinica cijene udjela povećanja troškova u manjem brodu nego u većem. Stoga postoji potreba za još naprednijom tehnologijom koja je sposobna postizati bolji način iskorištavanja brzine ili kapaciteta.
- **dimenzija manipulacijskog kapaciteta** - značajna razlika kapaciteta između kopnene prometne opreme (kamioni i vlakovi) i pomorske prometne bazne opreme (brodovi) postavlja ozbiljno ograničenje na terminalima. Terminal treba ponuditi rješenje koje balansira ovu kapacitetnu razliku. Nadalje, postoji vjerojatnost zagušenja i rastućih troškova ako se terminalom ispravno ne upravlja. Napredak u skladištenju dizalica i tereta te korištenje suvremene opreme kao što su: mega dizalice, robotski kranovi, pametni sprederi, imaju značajan utjecaj na učinkovitost poslovanja terminala. Procjenjuje se da najnaprednija dizalica napravi 75 do 100 pokreta u jednom satu. Visoka propusnost povećava kapacitet terminala, što dovodi do ravnoteže robnih tokova između kopna i mora.

Iz gore navedenog vidljivo je da unatoč tome što je zabilježen stalni rast u posljednjih nekoliko godina u Europi i SAD-u, industrija pomorskog prijevoza na kratke udaljenosti ima tešku strukturu troškova, s neželjenim vremenskim slijedom u rukovanju terminalom. Poboljšanje rukovanja kroz optimizaciju doprinijet će poboljšanju SSS usluga. Nameće nam se pitanje da li postojeći terminali moraju biti modificirani radi poboljšanja performansi rukovanja ili naglasak treba biti stavljen na modificiranje opreme kako bi odgovarala postojećim terminalima? Nadalje, nastoji se dovesti SSS sustav na konkurentsku razinu s drugim načinima prijevoza (pogotovo cestovnim) i nadogradnjom opreme kombiniranog načina prijevoza (LO – LO, Ro – Ro, automatski vođena vozila i sl.). Malo je učinjeno po pitanju ocjenjivanja i

uspoređivanju opreme za rukovanje s drugim paralelnim složenim sustavima na intermodalnom terminalu.

Fleksibilnost poslovanja pomorskog prijevoza na kratke udaljenosti proširuje se i na njegovo fizičko mjesto u luci, gdje se može organizirati u nekoliko konfiguracija i vrsta objekata. Tehnički gledano, SSS objekti nalaze se u bilo kojoj postojećoj luci, ali posebno onoj namijenjenoj za rukovanje SSS-om. Bitno je istaknuti kako se ti objekti SSS –a mogu se razviti kao zasebni terminal ili se pak mogu razviti na određenom području u okviru postojećeg terminala poslužujući preookeanske brodove. S obzirom na to da je velika potražnja za prostorom kontejnerskog terminala, vrlo je vjerojatno da će SSS objekti bitismješteni na području postojeće obnovljene luke kada govorimo o SSS uslugama, tada treba reći da luka može zahtijevati izgradnju rampa koje omogućavaju premještanje kamiona s/na brod ili dodatni prostor doka gdje kamioni s prikolicama čekaju ukrcaj i iskrcaj s rampe. Brodovi pomorskog prijevoza na kratke udaljenosti su manji od preookeanski brodova, a upravo ta razlika u veličini stvara zabrinutost da SSS brodovi neće biti kompatibilni s dokovima dizajniranim za veće preookeanske brodove. Tako da se ne može točno odgovoriti na pitanje da li postojeći lučki terminali moraju biti izgrađeni za smještanje SSS infrastrukture. SSS luke moraju ispuniti neke osnovne uvjete, kao što je mogućnost ukrcaja ili rasterećenja brodova, brzo i učinkovito, kako bi se osiguralo odgovarajuće rukovanje teretom, posebno za intermodalnu manipulaciju teretom, i mogućnost partnerstva s manjim lukama koje mogu služiti kao „ublažavajući“ objekti. Te manje luke mogu pomoći u ublažavanju tereta na opterećenim centrima, učiniti ih učinkovitijima te im omogućiti da privuku više prometa.

4.2. Tehnologije manipulacije terminalom SSS sustava

Iz prethodnog poglavlja može se zaključiti kako je sustav pomorskog prijevoza na kratke udaljenosti osjetljiv na cijenu i kapacitet. Stoga predložena rješenja nastoje smanjiti troškove i povećati kapacitete kako bi se postigla ekonomska ravnoteža. No, kako bi se postigla takva rješenja na razini upravljanja, odnosno rukovanja, potrebno je izabrati opreme i brodove s obzirom na njihov output u integriranom radu. To se može ostvariti jedino ako se postavi standard učinkovitosti koji omogućuje usporedbu različitih outputa opreme. Međutim, ako smo izabrali određeni vremenski period pod sličnim uvjetima, tada možemo usporediti kako će dvije različite kombinacije opreme djelovati ovisno o outputu i nastalom trošku.

Općenito, problem rukovanja promatran je iz dvije dimenzije: služeći vrijeme, trošak i učinkovitost kapaciteta kroz korištenje standardnih teretnih jedinica (npr. unitizirani teret, palete, prikolice, itd.) ili dizajn rukovanja opremom sa sposobnošću učinkovitog upravljanja različitim varijacijama tereta (npr. dizalice za opće, generalne terete, sprederi, RO –RO tehnologija i sl.) ostali pristupi rješavaju problem na obje dimenzije (npr. mega dizalice djeluju na unitiziranom teretu).

Što se tiče prvog pristupa (standardizacija tereta), B.O. Hansen²¹ istaknuo je novi koncept za automatski, veliki kapacitet. Taj sistem je pogodan za dvije morske luke koje se bave visokim frekvencijama otpreme, kao što je pomorski prijevoz na

²¹Hansen, B. O. ; CPT Container Pallet Transfer- An Automatic High Capacity Ship/Shore Loading System, Proceeding from the third European Roundtable Conference on SSS Bergen Norway, str. 125-126., 1996.

kratke udaljenosti. Konkretno, kako bi se zadovoljili zahtjevi velikih brzina, smanjenjem vremena, pojavila se TTS²² grupa s dizajnom sustava za prijevoz kontejnera paletama²³ koji se temelji na preopterećenju kontejnera i prikolica na mega paletama sposobnim prenijeti 20*20stopnikontejner s ukupnom težinom od 400 tona. Nadalje, B.O.Hansen tvrdi da ovaj sustav može podnijeti optimalan kapacitet do 900 TEU, djelujući neovisno od plime i oseke i uvjeta gaza te se može prilagoditi stvarnim specifikacijama broda.

Bitno je istaknuti kako B. Zigic i V. Renner²⁴ još jedan napredan koncept paleta, a to je koncept za prekrcaj brodova na unutarnjim plovnim putevima. Ovaj koncept bi mogao dovesti do uštede energije (a i time smanjenje troškova) kao i uštede vremena. Oba koncepta temelje se na standardiziranim jedinicama (kontejnerske palete) koje pogoduju korištenje RO-RO broskog sustava za visoku frekvenciju otpreme. Tu je i standard ISO kontejnera s jedinicama kontejnera koje se mogu prenijeti cestovnim vozilima, željezničkim vozilima/vagonima ili brodovima. Najviše prevladavaju standardizirane serije ISO kontejnera: 20-stopni i 40-stopni kontejneri.

U travnju 2003. godine Europska unija je donijela dokument o stvaranju europskih intermodalnih ukrcajnih jedinica (EILU), koje su optimizirane za transport paleta koristećikontejner i zamjenu komunalnih tijela.

Korištenje multiagenata u upravljanju kontejnerskim terminalima pokazalo se prikladnim potencijalom za rješavanje nekih složenosti u kontejnerskom terminalu, kao što je korištenje multi agenata u jačanju odnosa ulagača kako bi se poboljšala produktivnost terminala. U sklopu IPSI projekta²⁵ razvijen je novi koncept fleksibilnih i učinkovitijih sučelja između kopna i vodenih prijevoznih sredstava. Nekoliko aspekata je proučeno u IPSI projektu, kao što su: novi koncepti jeftinog ukrcaja i iskrcaja brodova, dizajn opreme terminala, dizajn luke, brodski dizajn i logistika terminala.

²² TTS Group- Međunarodna tehnološka tvrtka koja stvara i opskrbljuje inovativne sustave i opreme za pomorsku industriju.

²³ CPT = ContainerPallet Transfer System

²⁴ Zigic, B, Renner, V., ; One new Concept for Container Reloading on inland Vessels Proceeding form the third European Roundtable Conference on SSS Bergen Norway, 1996. str.171 i 179

²⁵ IPSI – *ImprovedPort/ShipInterface*

4.3. ICT tehnologija na lučkim terminalima

Informacijski i komunikacijski sustavi igraju važnu ulogu na lučkim terminalima. Informacijski sustav opisan je kao sredstvo kojim su elementi logističkog sustava integrirani. Kako se TEU kapacitet povećava, tako se složenosti, uključene u identifikaciju i rukovanje kontejnerima, moraju riješiti pomoću ICT tehnologije. Kao rezultat toga, učinkoviti protok informacija za kontejnerske terminale omogućuje veći potencijal za poboljšanje produktivnosti. Strategije usmjerene na optimiziranje izbora rukovanja opreme mogu iskoristiti potencijal koji ICT tehnologije imaju, posebno u praćenju podataka za pokretanje modela. Učinkovito upravljanje informacijskom tehnologijom može poboljšati korištenje optimizacijskih modela. Ako se učinkovito upravlja protokom informacija na kontejnerskim terminalima, tada je moguće poboljšati:

- raspored kontejnera u skladišnim lokacijama, kako bi se smanjile poteškoće u lociranju kontejnera,
- raspoređivanje opreme i kontejnera na način koji minimizira prazan hod (prazne poteze),
- redoslijed strategija reprezentativnih za prioritete povezane s kontejnerima,
- usklađivanje otpreme vozila s terminala kada dođe teret i kontejneri,
- smanjenje u inspekcijskom vremenu koje proizlazi iz slabog protoka informacija robe,

Bez obzira na nekoliko pokušaja primjene ICT tehnologije u lukama (npr. Navis, SPARCS, OPTIMA itd.) pomorska industrija još uvijek koristi automatiziranu tehnologiju ulaska podataka radi ostvarivanja svojih ciljeva. U pomorstvu ICT tehnologije možemo svrstati u sljedeće kategorije:

- brodska komunikacija i upravljanje informacijama,
- interoperabilnost pomorskog sustava, upravljanje i navigacijske usluge,
- poboljšano upravljanje resursima u lukama i terminalima.

U cilju poboljšavanja upravljanja resursima za intermodalne lučke terminale koriste se različite vrste ICT sustava. Velika pozornost se pridaje logističkim, informacijskim i komunikacijskim sustavima za intermodalne robne terminale. Neki značajni ICT sustavi: Electronic Data Interchange (EDI) sustavi, *Radio Frequency Identification* (RFID) Transpoderi, *Global Positioning Systems* (GPS) i sve popularniji DGPS (*Differential GPS*) Istraživanje od 12 pomorskih terminala pokazalo je da se svi ovi sustavi zajedno s EDI koriste od strane brodara ne bi li se omogućio fizički tok kontejnera (teretnice, odobrenja i sl.). Većina tih sustava nastoji oponašati lučke operacije (pomoću simulacijskih modela) i optimizirati resurse (pomoću modela optimizacije) ne bi li se tako poboljšale performanse u intermodalnim lučkim terminalima, na primjer kontejnerska identifikacija i procesi lokacije (RFID). U području RFID-a vidljivi su glavni izazovi koji se primjenjuju u tehnologiji intermodalnog prometa.

4.3.1. Sustavi manipulacije lučkim terminalima

U cilju smanjenja prijevoznih troškova, postizanja maksimalne učinkovitosti i pouzdanosti, razvijene su različite vrste sustava manipulacija. Radi usporedbe kako ti sustavi funkcioniraju razvrstani su u različite kategorije (npr. sustavi na kotačima i prizemljeni sustavi, automatizirani i neautomatizirani sustavi, LO-LO i RO-RO). Međutim, većina sustava se razvija kao po mjeri rješenja ne bi li se zadovoljile

specifične potrebe terminala, a time i nedostatak prikladnih standarda za njihovo kategoriziranje.

Pohrana i preuzimanje kontejnera iz skladišta može se učiniti s ljudskom posadom ili automatiziranom opremom. Iako različiti sustavi rukovanja mogu raditi po različitim principima, primarni ciljevi su tehnički izgrađeni na principu četiri koordinatna vektora s dimenzijama x,y,z koje lociraju položaj kontejnera (u bilo kojem trenutku). Kompleksni i napredniji sustavi mogu imati sposobnost rotiranja tereta, kao na primjer svestrana samohodna plutajuća dizalica , dok većina tradicionalnih sustava koristi dva osnovna principa pretovara, a to su: vertikalni (load on/loadoff) i horizontalni (rolla –on/rolla – off). Kada je pravi kontejner, koji se mora premjestiti, lociran, vertikalno načelo nastoji poštivati aplikaciju koja će postići vertikalni pomak kontejnera za najnižu moguću cijenu. Osnovni sekvencijski sustav je:

- podizanje kontejnera,
- izvođenje vertikalnog pomaka,
- ispuštanje kontejnera.

To upravo dovodi do load on / loadoff ili LO – LO tehnologije prijenosa. Na isti način funkcionira horizontalni pretovar, osim što mu je cilj postići horizontalni pomak, što dovodi do RO – RO tehnologije. Nadalje, postoji još jedna kategorizacija koja se tiče sustava na kotačima i onih bez kotača ili prizemljeni sustavi. U slučaju sustava na kotačima, postoji potreba da se kontejneri pokreću horizontalno na kućištu a onda se dignu s njih. Nedostatak ovih sustava je da je otežano učinkovito slaganje kontejnera u depoupravu zbog kotača.

Primjer sustava na kotačima su poluprikolice, podvozje kotača, MAFI, prikolice terminala i sl. S druge strane, sustavi bez kotača zahtijevaju dizanje i spuštanje kontejnera bez uporabe kućišta. Rezultat toga je lakše i učinkovitije slaganje kontejnera. Ponekad je potrebno raspodijeliti kontejnere kako bi se kontejner duboko stogu mogao podići. To može biti skupo i uključuje opremu kao što su: hostleri, kontejnerske dizalice, portalni prijenosnici malih raspona, autodizalice zakontejnere. Nedostatak sustava bez kotača je veća propusnost nego kod sustava na kotačima. Sustave za rukovanje možemo podijeliti na temelju njihovih operacija:

- ukrcaja/iskrcaja opreme,
- prijenosa ili pokretne opreme,
- opreme skladištenja.

4.3.2. Sustavi za rukovanje i mjere performansi

Različite vrste mjera performansi se može koristiti za različite namjere, identificirajući kvantitativne (npr. troškovi) i kvalitativne (npr. okruženje) elemente. U slučaju kontejnerskih terminala, visoka produktivnost je privlačna performansa, no često je povezana s rastućim troškovima, što nije prihvatljivo.

Za procjenu performansi terminala korišteno je nekoliko pristupa:

- „*movesperhour*“ - kretanje po satu u okviru poznatih geometrijskih udaljenosti, izvedba opreme za manipuliranje može biti procijenjena kao broj TEU jedinica preseljenih u jednom satu.
- **distribucija broda u lukama** (SDP – *ShipDistribution at Ports*) – koja se oslanja na pretpostavka da se analiza popunjenosti veza može dobiti

pomoću promatrane distribucije broda u lukama, a time broj brodova u lukama je slučajna varijabla,

- **teorijaredova** (QT – *QueuingTheory*)– većina QT aplikacija uzima u obzir samo sučelje brodskog veza. U tim aplikacijama korišteni su „birth- dead“ procesi u ravnoteži ne bi li se time postigla procjena uspješnosti.
- **simulacijske aplikacije** – simuliranje sve više služi kao moćan alat za procjenu performansi lučkih terminala. Neke nove studije uključuju lučke simulacije kao što je *Multi – Agent Based Simulation* (MABS) koja poboljšava učinkovitost terminala.

4.4. Automatska i neautomatska manipulacija kontejnera

Vrlo važna i sve popularnija aplikacija na terminalu je aplikacija automatskih operacija. Automatsko manipuliranje kontejnerima postaje vrlo važan aspekt terminala, koje nudi točna i brza intermodalna rješenja. Većina inovativnih pomorskih tehnologija temelji se na posebnim tipovima brodova, inovativnim prekrcajnim sredstvima usmjerenim prema visokoj razini automatizacije. Automatizacija se ovdje uglavnom koristi za kontrolu mehanizma rukovanja opremom, odnosno koliko stupanj pažnje je potreban opremi ili sustavu od strane ljudskog operatera. Automatizirani sustav će biti autonoman u odnosu na pravu lokaciju kontejnera, $p(x, y, z)$ u pravo vrijeme t , u određenom području rada. Takav sustav obično prima naredbu od ljudskog operatera (npr. uspješno vezivanje broda) i nastavlja s kasnijim operacijama s vrlo malo ili bez uplitanja ljudskog operatera.

Automatski vođena vozila (AGV – eng. *Automated Guided Vehicles*) su klasičan primjer automatske manipulacije kontejnerima na terminalu. Output ovisi vrlo malo o operateru, za razliku od ručno upravljanih sustava, čiji output ovisi u većoj mjeri o operateru.

Automatski vođena vozila (AGV) - industrijska vozila bez vozača, obično pogonjena pomoću baterija i električnih motora. Težine tereta koje AGV mogu prevoziti se kreću u vrlo velikom opsegu, od malih (lakih) tereta težine nekoliko kilograma do tereta težine preko 100 tona (slika 7.) . Primjenom sustava automatski vođenih vozila povećava se efikasnost terminala, smanjuju troškovi radne snage za 80%, potrebe za održavanjem sustava smanjuju se za 50 %, a troškovi energije za 10 %. Automatski vođena vozila (AGV) su vozila bez posade koja se kreću pomoću automatskog upravljačkog sustava. Senzori na infrastrukturi i na vozilu daju podatke o lokaciji i brzini vozila na osnovu kojih upravljački sustav šalje vozilu odgovarajuće naredbe kako bi moglo da prati određene putanje i kretati se odgovarajućom brzinom.²⁶Možemo reći da uvođenje automatski vođenih vozila predstavlja jedan od najznačajnijih kvalitativnih pomaka u automatizaciji transportnih operacija u proizvodnji, na montažnim linijama, skladištima, robno – transportnim centrima, bolnicama i terminalima. Shodno ovakvom spektru mjesta primjene i ulozi, danas obuhvaćaju široku obitelj različitih tehn – eksploatacijskih rješenja.

²⁶Mbiydzennyuy, G.: „An Optimization Model for Sea Port Equipment Configuration“, Blekinge Institute of Technology, Sweden, January, 2007., str. 29.



Slika 7. Flota automatski vođenih vozila koja prevozi kontejnere s pristaništa u skladišne depoe

Izvor: Mbiyzenyuy, G.: „An Optimization Model for Sea Port Equipment Configuration“, Blekinge Institute of Technology, Sweden, January, 2007.

Glavne prednosti AGV vozila su:

- reduciranje troškova radne snage ostalih troškova rada –jedno AGV vozilo koje radi u tri smjene na dan može zamijeniti tri operatera koji rade s ručnim viljuškarom,
- povećana pouzdanost i produktivnost – neosjetljivost na dužinu radnog vremena i broj smjena – AGV vozilo može raditi 24 sata dnevno, 7 dana tjedno bez pauze,
- smanjenje oštećenja robe - AGV posjeduje kontrolirano kretanje (hod) vozila s preciznošću od +/- 10 mm,
- povećana sigurnost – zato što procesi rukovanja materijalom ne zahtijevaju ljudsku aktivnost i što se vozilo uvijek ponaša prema unaprijed programiranim instrukcijama reducirane su nezgode i povrede zaposlenih,
- fleksibilnost - za razliku od fiksnih (stacionarnih) rješenja za rukovanje materijalom, putanja po kojoj se AGV kreće vrlo lako može biti reprogramirana

Glavni nedostatak AGV vozila je taj da je teško postići visoku sigurnost sustava, kada AGV vozila rade velikim brzinama te je potreban veliki početni investicijski kapital.

Automatski sustavi skladištenja i Multy – Storey sustavi AS/RS na kontejnerskom terminalu²⁷ – to je sustav skladištenja koji koristi fiksni put skladištenja i dohvata stroja koji radi na jednoj ili više vodilica između fiksnih nizova za skladištenje regala. AS/RS također mogu komunicirati sdirektno s AGV sustavom vozila, kako bi se smanjio utrošak rada. Zbog svog učinkovitog korištenja prostora, AS/RS sustavi bi mogli biti prioritet za luke s ograničenim prostorom. AS/RS sustavi skladištenja se koriste na Hamburg CTA terminalu. Ova tehnologija skladištenja odlikuje se kraćim vremenskim ciklusima, automatskim preuzimanjima i preslagivanjima kontejnera, učinkovitim korištenjem prostora (smanjenje prostora s 1/3 na 1/2), mogućnošću proširenja te fleksibilnošću.

Automatski sustavi dizalica – to su „Unmanned Rail Mounted Stacking“ dizalice koje obuhvaćaju određeni broj redaka kontejnera. koriste se za ukrcaj/iskrcaj

²⁷Ibidem, str. 29.

(obalne dizalice) ili u skladišnom depou (dizalice depoa). Primjer je ASC dizalica, odnosno automatska dizalica za slaganje i neke vrste prijenosnika na gumenim kotačima (RTG dizalice – eng. *Rubber Tyred Gantry Cranes*). Sustavi automatskih dizalica za slaganje su opremljeni senzorima kao što su kamere i „MachineVision“sustavima. Kontejnerski terminal Altenwerder u Hamburgu koristi ovakav sustav dizalica. Upotreba GPS tehnologije pruža RTG dizalicama auto-upravljačke sposobnosti. Na slici 8. prikazan je najnoviji dizajn Shanga i Zenhua Port Machinery - a (ZPMC) RTG dizalice s GPS-om za automatsko upravljanje kontejnerom. Takvi sustavi dizalica se trenutno primjenjuju u lukama Hong Konga i Šangaja.



Slika 8. RTG dizalica s GPS sustavom, Hong Kong

Izvor: Mbiydzennyuy, G.: „An Optimization Model for Sea Port Equipment Configuration“, *Blekinge Institute of Technology, Sweden, January, 2007.*

Većina kontejnerskih dizalica može izvesti između 35 do 40 poteza u jednom satu, dok potpuno automatizirani sustavi dizalica mogu izvesti 50 TEU po jednom satu.

KruppFast sustav manipulacije²⁸ – automatizirani sustav dizajniran posebno za intermodalni željeznički terminal ali se može prilagoditi morskom terminalu. Vrlo brz sustav (kratko vrijeme čekanja za kamione) , relativno mala potreba za prostorom.

„**August**“ **robotska dizalica**– dizalica s horizontalnim dosegom od oko 140 stopa i vertikalnim dosegom od 150 stopa, izgrađena od SCARA robotske ruke. Koristeći viziju stroja moguće je automatski pratiti metu, vodeći potiskivač u odgovarajući položaj ne bi li se podigao ili odložio kontejner. Takav će sustav omogućiti telerobotsku kontrolu ljudskih subjekata/operatera a u kontrolnoj petlji. 140 stopa duga dizalica procjeljuje se da ima propusnost od 75 kontejnera po jednom satu.

Neautomatska oprema za manipulaciju jest vrsta opreme kod koje output performanse ovise o operateru. Neki primjeri neautomatizirane opreme za manipulaciju kontejnerima su:

- **poluprikolice niske platforme „MAFI“** – metalne platforme bez motora na kotačima s jednostavnim mehanizmom (slika 9.).

²⁸Ibidem, str. 30.

Platforme su građene od tako čvrstog metala da na njih mogu biti položeni teški kontejneri (2 TEU) i priključeni na tegljač koji može prevoziti kontejner bez ikakve potrebe za dizanjem. Takvi sustavi su ekonomski jeftini na terminalima s dovoljno prostora. Na udaljenosti od oko 400 m i bez gašenja, MAFI platforma može dosegnuti za oko 8 minuta oko 7-8 poteza u nizu. Niska učinkovitost je povezana s vremenom potrebnim za zakačiti MAFI platformu za tegljač.



Slika 9. Poluprikolica niske platforme MAFI

Izvor: Mbiydzennyuy, G.: „An Optimization Model for Sea Port Equipment Configuration“, Blekinge Institute of Technology, Sweden, January, 2007.

- **tegljač** – vrsta specijalnog vozila koje služi za uvlačenje i izvlačenje tereta. To je vrsta skladišnog vozila u obliku traktora koji se koristi za rad s pasivnom opremom, kao što je MAFI platforma ili poluprikolice.²⁹
- **kontejnerski prijenosnici na gumenim kotačima (RTG)** – dizalice specijalno korištene za pokretanje, pozicioniranje a ponekad ukrcaj/iskrcaj kontejnera. dizajnirane su uglavnom za točne vertikalne pomake kontejnera u određenom području.
- **portalni prijenosnici malih raspona (engl. straddlecarriers)** – ručno vožene gumene jedinice za podizanje i spuštanje, sposobne za smještaj kontejnera iz skladišta na visini od 4 do 6 kontejnera (standardnih ISO kontejnera),
- **konvencionalne dizalice skladišnog depoa (engl. yardcranes)** ,
- **kontejnerski viljuškari (slika 10.)** – koriste se za operacije dizanja kontejnera u skladištima, kao što su dizanje, spuštanje i preseljenje kontejnera.

²⁹Ibidem, str. 31.

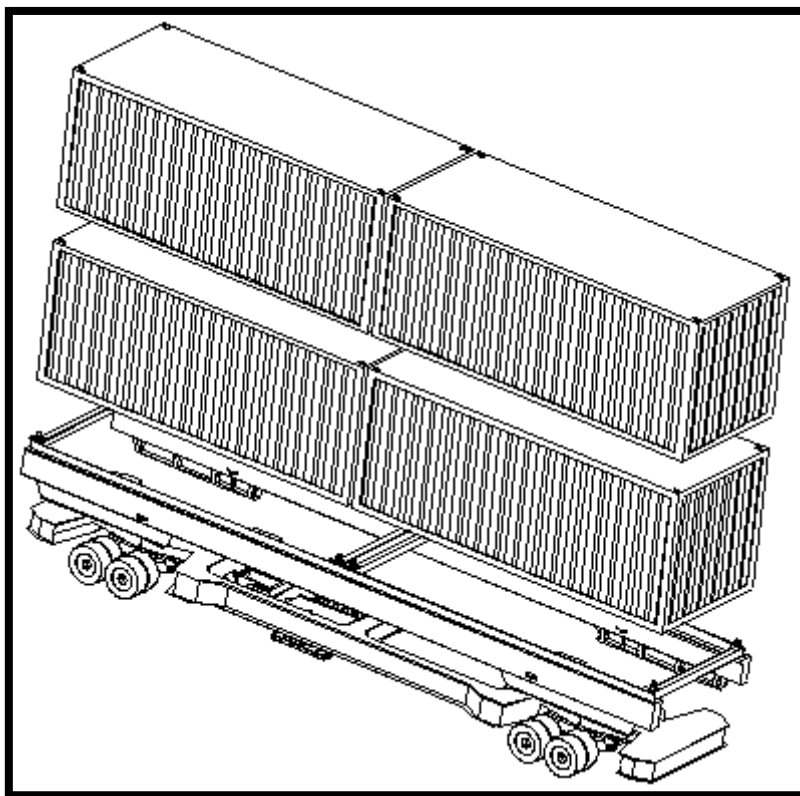


Slika 10. *Primjer viličara koji podiže kontejner*

Izvor: *Mbiyzenyuy, G.: „An Optimization Model for Sea Port Equipment Configuration“, Blekinge Institute of Technology, Sweden, January, 2007*

4.5. IPSI koncept terminala

IPSI koncept (*eng. Improved Port/Ship Interface*) temelji se na ukrcaju i iskrcaju brodova pomoću automatski vođenih vozila. Slika 11. Predstavlja IPSI ukrcajni koncept. Kazeta okvira može nositi 4 TEU jedinice. Automatski vođeno vozilo može voziti ispod okvira kazete i podići ga.³⁰



Slika 11. IPSI koncept ukrcaja

Izvor: Ottjes, J.A., Veeke, H.P.M.: „Simulation of a newport- ship interface concept for intermodal transport“, Delft University of Technology, Netherlands, october, 1999.

Na primjer, u slučaju ukrcaja broda automatski vođeno vozilo pokupi teret na obali, vozi ga na brod, polaže teret na tlo i vozi se natrag na obalu spreman za sljedeći potez. Ovaj princip rada može se usporediti s tradicionalnim Roll on – Rolloff sistemima, koji međutim, trebaju posadu kamiona za radni proces.

4.5.1 Specifično opterećenje IPSI terminala

Za specifično opterećenje koriste se tzv. kazete koje su dobro poznate u skandinavskim zemljama. Kao što smo već spomenuli na slici 11. prikazana je kazeta okvira koja može nositi 4 TEU. Automatski vođeno vozilo je u stanju voziti ispod okvira, podignuti ga, transportirati te odložiti na tlo. Ulaskom automatski vođenim vlakovima na brod postiže se brzina ukrcaja i iskrcaja. Željeznička formacija događa

³⁰Ottjes, J.A., Veeke, H.P.M.: „Simulation of a newport- ship interface concept for intermodal transport“, Delft University of Technology, Netherlands, october, 1999., str. 1.

se dinamično a spojnica vozila je virtualna (nema fizičke veze). Okviri se nalaze na kolosijecima, na tzv. Marshallovom području.

Tijekom IPSI projekta simulacija se primjenjuje u dvije svrhe:³¹

- svrhe određivanja logističke izvedbe sustava i stjecanja uvida u dimenzije potrebnog kapaciteta. Time se razvio IPSI protočni model,
- svrhe dokazivanja isplativosti koncepta automatski vođenih vozila, koji obuhvaća izgradnju i testiranje kontrolnog sustava automatski vođenih vozila. Ovaj model se zove IPSI model terminala.

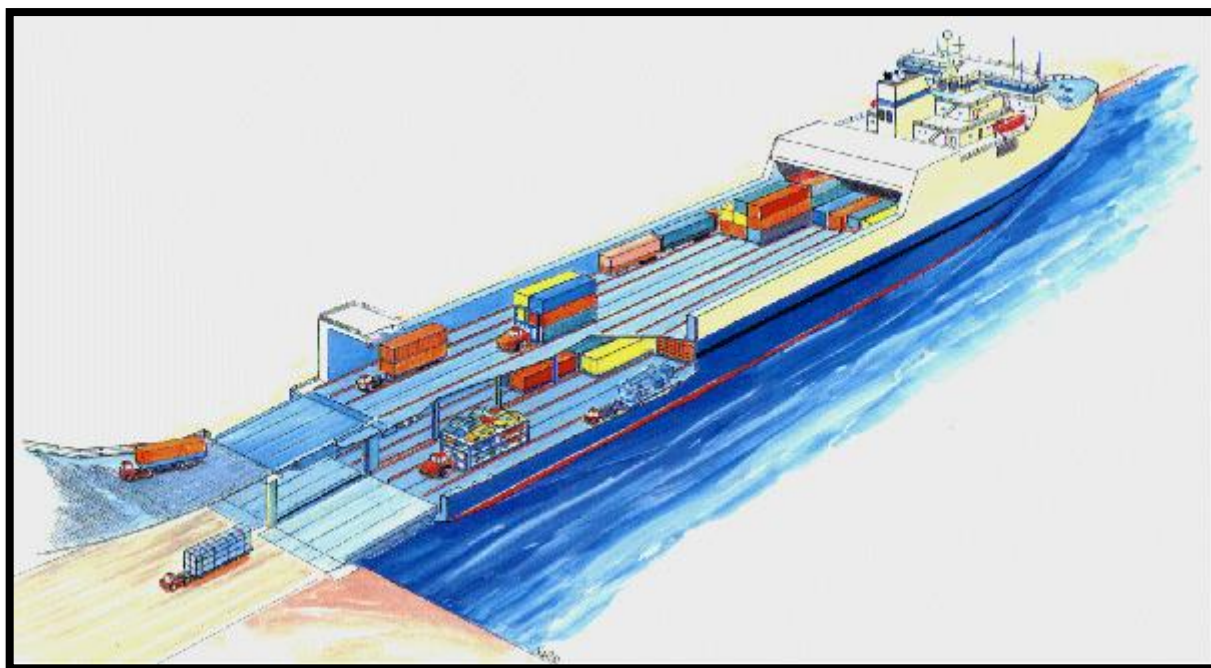
Prvi cilj simulacijske studije s IPSI modelom protoka je odrediti, za nekoliko kružnih dolazaka IPSI brodova, količinu opreme potrebne za bolji rad IPSI terminala. Dvije vrste opreme su uključene: automatski vođena vozila za ukrcaj i iskrcaj IPSI brodova i teglenica te oprema koja se koristi za ukrcaj i iskrcaj kamiona, vlakova i IPSI okvira.

Drugi cilj je ukazati na prostor potreban za IPSI terminal. To je izraženo u smislu broja kontejnera i IPSI okvira koji se moraju slagati na području terminala.

Pretpostavlja se da IPSI brod (slika 12.) može prenositi 400 TEU, kako izvoznog tako i uvoznog tereta. Glavni zahtjev IPSI projekta jest taj da se IPSI brod mora ukrcati ili ukrati u roku od 2 sata. Uvozni teret s IPSI broda mora se obraditi i njim rukovati prije odlaska na sljedeći IPSI brod. Postoje tri načina prijevoza s kopnene strane:

- teglenice za unutarnju plovidbu – koriste se isključivo IPSI teglenice. IPSI teglenica nosi samo okvire i jedino automatski vođena vozila njome rukuju. Zahtjeva se da iskrane i ukrane operacije na teglenicama budu dovršene između dva brodska poziva,
- vlakovi za željeznički modalitet – zahtjeva se da se sve izvozne željezničke kontejnere iskrca s vlaka i ukrca na prvi dostupni IPSI brod, a svi uvozni kontejneri s IPSI broda da budu ukrani na vlak prije sljedećeg IPSI odlaska,
- kamioni za cestovni modalitet – za servis teretnih vozila zahtjeva se da 90% kamiona bude obrađeno u roku od 15 minuta, neovisno o uvozu i izvozu. To se zove 90% percentila.

³¹Ottjes, J.A., Veeke, H.P.M.: „Simulation of a newport- ship interface concept for intermodal transport“, Delft University of Technology, Netherlands, october, 1999., str. 2.



Slika 12. Prikaz IPSI broda

Izvor: <http://cordis.europa.eu/transport/src/ipsirep.htm>

4.5.2. Modeliranje i pokazatelji uspješnosti

U procesu modeliranja uključeno je nekoliko parametara koji sustavno variraju u tijeku simulacije, ne bi li se tako mjerila reakcija sustava. Ti parametri se dijele na sljedeće skupine.³²

- izloženost terminala – položaj i dimenzije stakova, kolosijeci, dokovi i IPSI brodovi se manipuliraju ovisno o varirajućim dimenzijama terminala,
- oprema – broj automatski vođenih vozila, broj portalnih prijenosnika malog raspona. Karakteristike opreme: ubrzanje i usporavanje, pozicioniranje vremena, postavljanje i oduzimanje vremena,
- karakteristike toka tereta – IPSI kružno brodsko vrijeme, broj okvira uvoza i izvoza, TEU faktor izvoza i uvoza, struktura prijevoza (postoci kamiona, vlaka i teglenica za uvoz i izvoz), okvir korištenja, uvozni i izvozni obrasci dolazaka kamiona,
- kontrolne varijable – definiraju prioritete rukovanja, ovisno o stanju sustava. Na primjer, ako je IPSI brod prisutan i sabirno područje izvoza nije u potpunosti popunjeno, portalni prijenosnici malog raspona će dati prioritet ukrcaju kamiona i vlakova sabirnog područja s uvoznim kontejnerima.

Svaka simulacija se pokreće s modelom protoka i zahtjeva kombinaciju navedenih parametara kao input.

Učinkovitost sustava mjeri se kao funkcija nekoliko ulaznih setova. Na temelju pokazatelja uspješnosti odlučeno je hoće li određeni input set biti izvediv. Glavni pokazatelji uspješnosti su:³³

³²Ottjes, J.A., Veeke, H.P.M.: „Simulation of a newport- ship interface concept for intermodal transport“, Delft University of Technology, Netherlands, october, 1999., str. 5.

³³Ibidem, str. 6.

- vrijeme dovršetka IPSI broda,
- vrijeme dovršetka IPSI teglenice – IPSI teglenica bi trebala biti ukrcana ili iskrcana u vremenu između dva IPSI poziva,
- vrijeme završetka vlakova,
- usluga kamiona mjerljiva s 90% percentila od vremena čekanja kamiona,
- prosječne okupacijske stope automatski vođenih vozila i portalnih prijenosnika malih raspona,
- prosječne duljine putovanja automatski vođenih vozila i portalnih prijenosnika malih raspona,
- maksimalan broj okvira u sabirnom prostoru (MarshallingArea),
- red duljine čekanja kamiona koji ukazuje na to da li je parkirno mjesto potrebno.

Bitno je istaknuti kako je za model IPSI terminala potrebno 20 automatski vođenih vozila (2 vlaka s 10 automatski vođenih vozila). Ovaj broj ostaje nepromjenjiv u odnosu na ostale parametre. Provedena su tri simulacijska eksperimenta:

- eksperiment utvrđivanja performansi jednog IPSI terminala za centralni slučaj variranjem IPSI kružnog vremena i broja ramještenih portalnih prijenosnika malih raspona,
- eksperiment utvrđivanja analize osjetljivosti,
- eksperiment utvrđivanja maksimalnog kapaciteta IPSI terminala pod ekstremnim uvjetima opterećenja.

Pretpostavlja se da je prosječna iskorištenost IPSI okvira 75 %, a TEU faktori za uvoz i izvoz iznose 1.7. Svaki IPSI brod isporučuje 100 okvira i preuzima drugih 100 okvira. Svaki okvir ima kapacitet od 4 TEU, što znači 800 uvoza + izvoz za jedan brod. Za tri dolaska dnevno to znači maksimalnih 2 400 TEU. TEU faktor 1.7. znači da npr. 440 TEU kamiona se sastoji od $440 / 1,7 = 259$ kontejnera ili „jedinica“, kako je prikazano u tablici. Utvrđeno je da su vrijednosti koje se mjere u simulacijskoj vožnji stabilne nakon vožnje od tjedan dana. Stoga, dužina izvođenja simulacije iznosi tjedan dana za sve eksperimente. Nadalje, pretpostavlja se da IPSI teglenica sadrži samo teret za sljedeći IPSI brod i prima teret od zadnjeg IPSI broda. Time teglenica ne zahtijeva kapacitet portalnog prijenosnika malog raspona, što predstavlja njenu veliku prednost.

U modelu nekoliko stohastičkih utjecaja je modelirano: sastav svakog okvira uzima u obzir iskoristivost, TEU faktori, oprema za rukovanje vremenom, oprema vremena putovanja i vremena dolaska kamiona. Ovi stohastički utjecaji mogu izazvati određena odstupanja u rezultatima simulacije. Čini se da ta odstupanja nisu znatno utjecala na zahtjeve portalnih prijenosnika malih raspona, i to ako se primjenjuje dužina od tjedan dana. Međutim, ostali parametri, kao što su primjerice, faktor potrošnje okvira, koji se pretpostavlja da je konstantan u jednoj seriji simulacija, razlikuju se od broda do broda. To može također dovesti do odstupanja u zahtjevima kapaciteta terminala, pogotovo ako broj pokreta portalnih prijenosnika malih raspona varira.

Stoga se analiza osjetljivosti odvija oko središnjeg slučaja. Varirajući parametri u analizi osjetljivosti su: iskorištenost okvira, TEU faktor, obrasci dolazaka kamiona, dimenzije terminala i podjela modela: teglenica, kamion i udio željeznice.

Kako bi se utvrdila gornja razina kapaciteta IPSI terminala, koriste se ekstremni uvjeti opterećenja od 100 % iskoristivosti okvira i teglenica bez okvira. Ovo posljednje znači da kontejnerima rukuju portalni prijenosnici malih raspona.

5. TEHNIKE MATEMATIČKOG MODELIRANJA

U ovom poglavlju predstaviti ćemo neke matematičke pristupe modeliranja za optimizaciju, kao i prijedlog cjelobrojnog linearnog programa (ILP)³⁴, optimizacijskog modela za unitizirane (okrupljene) robne terminale koji se može ugraditi u Sustav potpore odlučivanja (implementiran kao potproces, kao model depoa i sl.). On se sastoji od temeljnih pretpostavki parametara varijable odlučivanja, jedne objektivne funkcije i ograničenja.

5.1. Tehnike matematičkog modeliranja

Nekoliko klasa matematičkih formulacija je korišteno za razvoj modela optimizacije. Izbor formulacije ovisi o domeni problema i mogućnosti rješavanja problema pomoću metoda optimizacije (tj. algoritmom). Također ovisi i o karakteristikama područja, kao što su, svrha (strateško ili operativno donošenje odluka), dostupno vrijeme za obavljanje analize, potrebna točnost. Zbog varijacija u problemskim domenama, stručnjaci su razvili različite klase matematičkih pristupa. Neki od njih su:³⁵

- **modeli nelinearnog programiranja (NLP – engl. *Non Linear Programming*)** - matematički modeli koji uključuju nelinearno objektivnu funkciju i/ili nelinearno ograničenje zapravo se smatraju nelinearnim modelima. Nekoliko područja problema može se modelirati pomoću nelinearnog programiranja, ali samo neki od njih se realno mogu riješiti zbog problema vezanih za nelinearnost (pogotovo Optima rješenje). Stručnjaci su razvili nekoliko heurističkih pristupa (npr. Newtonove bazne metode, gradijent pretraživanja itd.) za obradu određenih problema bez garancije optimalnosti,
- **modeli linearnog programiranja (LP – engl. *Linear Programming*)** – modeli linearnog programiranja, kao prve razvijene matematičke aplikacije, korištene su za formuliranje i rješavanje različitih poslovnih problema, kao što su problemi planiranja proizvodnje. Ovakve formulacije uvelike poboljšavaju dostupnost odgovarajućih računalnih softverskih paketa. Bitno je istaknuti kako je problem linearnog programiranja rješiv i jamči optimalnost. Dobar primjer uspješne primjene modela linearnog programiranja vidljiv je u upravljanju radnim operacijama u luci Santos u Brazilu, u kojoj je model linearnog programiranja dizajniran za obradu opreme i raspored operacija za manipulaciju teretom i prognoziranje razdoblja na vrhuncu potražnje kako bi se utvrdio dodatni utrošak rada,
- **modeli cjelobrojnog linearnog programiranja (ILP – engl. *Integer Linear Program*)** – to je specifična varijanta modela linearnog programiranja koji zahtjeva da su sve varijable binarne i/ili cijeli brojevi. Za problem domene gdje odluke imaju Boolean karakter, npr. da li uložiti ili ne uložiti u opremu, model cjelobrojnog linearnog programiranja je prikladan pristup modeliranju. Nadalje, za velike probleme, ILP iscrpna pretraga je računski skupa zbog velikog pretraživanja prostora. Alternativa tomu je korištenje heurističkih

³⁴ ILP – *IntegerLinearProgramming*

³⁵ Mbiydzennyu, G.: „An Optimization Model for Sea Port Equipment Configuration“, Blekinge Institute of Technology, Sweden, January, 2007., str. 39.

algoritama koji ne jamče optimalnost i nisu brži od ILP modela. Međutim, postoji niz prednosti korištenja ILP modela, kao što su: jednostavna generalizacija, fleksibilnost u predstavljanju različitih vrsta ograničenja te jamčenje optimalnih rješenja,

- **modeli mješovitog cjelobrojnog linearnog programiranja (MILP – engl. *Mixed Integer Linear Programs*)**³⁶ – priroda nekih problemskih domena zahtjeva korištenje oba dva modela, i linearnog i cjelovitog linearnog programiranja. Na primjer, modeliranje broja radnika potrebnih u rafineriji za jedno s količinom različitih proizvoda koji će biti proizvedeni. U tim oblastima model mješovitog cjelobrojno linearnog programiranja može biti koristan,
- **softverski paket: AMPL / CPLEX** – općenito, komercijalni paketi izgrađeni su koristeći dva glavna pristupa – pristup algoritamskih kodova (npr. korištenje algoritma SIMPLEX) i sustava za modeliranje koji omogućuje izgradnju modela. Postoji veliki broj komercijalnih paketa za izgradnju optimizacije. Većina sustava za modeliranje podržava razne algoritamske kodove. Neki primjeri sustava za modeliranje uključuju: AMPL, AIMMS, EZMod itd. AMPL je jezik modeliranja za linerane i nelinearne optimizacijske probleme u kontinuiranim ili diskretnim varijablama. On podržava korištenje zajedničkog zapisa za formiranje modela optimizacije i pregledavanje rješenja. AIMMS³⁷ je sustav koji podržava interaktivno modeliranje i ima visoku sposobnost izvršenja ali je i ujedno relativno skup u odnosu na AMPL jezika modeliranja. EZMod je razvijen namjerno kako bi podržao gradnju modela za optimizaciju Sustava potpore odlučivanju. CPLEX je jedan od primjera izgradnje algoritamskog koda koristeći C++ programskog jezika. CPLEX koristi svezanu strategiju u kojoj su granice na optimalnim objektivnim vrijednostima zategnute, dodavanjem ograničenja sve dok se ne postigne globalno optimalno rješenje.

5.2. Primjer optimizacijskog modela cjelobrojnog linearnog programiranja za lučke terminale

Ovisno o potražnji ulaznog/izlaznog TEU volumena treba uzeti u obzir nekoliko odluka vezanih za različitu opremu na brodu. Te odluke su međusobno povezane i često odluka određene opreme utječe na odluke ostale opreme. Jedna od ranijih odluka je izbor broda s obzirom na vrstu i kapacitet. Nakon što je odgovarajući brod izabran, potrebno je osigurati komplementarne sadržaje u luci koji mogu služivati brod prilikom njegovog dolaska.

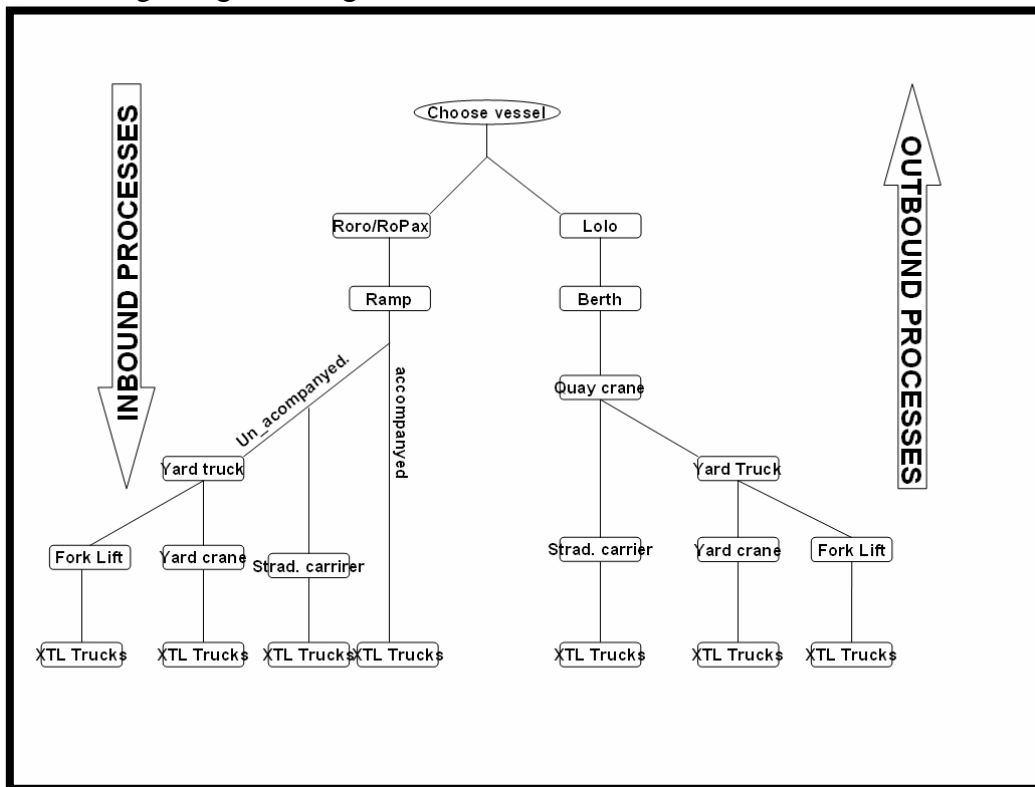
Za izabrani vez biti će izabran odgovarajući tip i broj obalnih dizalica. Obalne dizalice će trebati vozila depoa koja će pomicati kontejnere. Iz toga se može zaključiti kako će odlukao obalnim dizalicama imati utjecaj na odluku o vozilima depoa. Nadalje, vozila depoa će zahtijevati dizalice depoa ili mobilne dizalice za iskrcavanje kontejnera, čime izbor vozila depoa utječe na odluku o dizalicama depoa te tako cijeli proces može pratiti put lanca manipulacije, dok se teretne jedinice ne ukrcaju na kamion za prijevoz ili na brodove.³⁸

³⁶Mbiydzennyuy, G.: „An Optimization Model for Sea Port Equipment Configuration“, Blekinge Institute of Technology, Sweden, January, 2007., str. 40.

³⁷ AIMMS – *Advanced Interactive Mathematical Modelling Software*

³⁸ Ibidem, str. 41..

U optimizaciji modela kombiniramo sva različita ograničenja cijelog sustava i tražimo ne sukobljene optimalne vrijednosti odluka. Slika 13. je prijedlog jednostavnog ILP generičkog modela.



Slika 13. Prijedlog jednostavnog generičkog ILP modela

Izvor: Mbiydenyuy, G.: „An Optimization Model for Sea Port Equipment Configuration“, Blekinge Institute of Technology, Sweden, January, 2007.

Kao što je vidljivo na slici, generički model se može primijeniti u većini lučkih terminala, budući da su glavni sustavi manipulacije za pomorski prijevoz na kratke udaljenosti. Ro – Ro ili Lo –Lo. Ovaj generički model na slici može se proširiti tako da se uključi širok spektar opreme terminala. Gotovo svi optimizacijski modeli temeljeni su na dovoljno opravdanoj pretpostavci da predstavljaju dobru aproksimaciju fizičke stvarnosti.

Osnovne pretpostavke cjelobrojnog linearnog programiranja:³⁹

- statički parametri – svi parametri koji se koriste u ILP modelu pretpostavlja se da su statični i deterministički, ovisno o promjeni kapaciteta i vremena,
- potražnja – možemo pretpostaviti da je potražnja (u TEU), za koju su opreme potrebne, deterministička. Cilj je odabrati odgovarajuću opremu na strateškoj razini koja može manipulirati određenom količinom volumena (TEU),
- ukrcaj/iskrcaj – to su praktički isti procesi, odnosno manipulacija ukrcaja i iskrcaja tereta se neznatno razlikuju. To je zbog problema kapaciteta koji zahtijevaju isto manipuliranje opremom, neovisno o ukrcaju ili iskrcaju,

³⁹Mbiydenyuy, G.: „An Optimization Model for SeaPortEquipmentConfiguration“, Blekinge Institute ofTechnology, Sweden, January, 2007., str. 42..

- učinkovitost opreme – prosječna učinkovitost svake opreme temelji se na tri čimbenika: daljini koju oprema mora prijeći kada je u upotrebi, nosivost opreme i željeni ukupni broj sati poslovanja terminala,
- kapacitet depoa – pretpostavimo da ukupna površina depoa za slaganje zaliha se može izračunati,
- vrijeme t – pretpostavimo da je za operacije pomorskog prijevoza na kratke udaljenosti potrebno uzeti u obzir manje vrijeme (npr. 48h) za manipulaciju,
- TEU izračun – nosivost broda je razmatrana u TEU jedinicama,
- puno opterećenje i pulu opterećenje – budući da je teško uzeti u obzir bilo koje opterećenje korištenja broda, na modelu smo razmotrili 50% i 100% razine iskoristivosti,
- udaljenost opreme depoa u depou – pretpostavimo da sva oprema depoa koja se koristi za prijevoz kontejnera putuje približno istu udaljenost.

Varijable odlučivanja, odnosno optimalne vrijednosti za:

- vrsta i broj opreme za korištenje na terminalu (npr. obalne dizalice, dizalice depoa, viličari itd.),
- vrsta, broj i opterećenje korištenja broda za prijevoz, pr, Ro-Ro, Lo-Lo brodovi itd,
- broj kamiona koji se koriste za izlazni TEU,
- broj blokova vlakova,
- broj vezova i rampi za korištenje,
- broj blokova depoa potrebnih za slaganje kontejnera.

Ciljevi su sljedeći:⁴⁰

- smanjiti ukupne troškove nastale kao rezultat različitih izbora opreme, odabirom najučinkovitije cijene sustava,
- smanjiti troškove prijevoza predlažući izbor broda koji zahtjeva minimalan trošak na terminalu, npr. Ro- Ro ili Lo-Lo rješenje ili njihova kombinacija.

Zbrajajući gore sve navedeno, dobiva se:

$$\text{Min } Z = \text{trošak manipulacije} + \text{trošak prijevoza}$$

Stoga se predlaže:

Trošak manipulacije = cijena goriva + administrativni troškovi + troškovi osiguranja + trošak rada + može se uključiti i još nekoliko drugih parametara

Troškovi transporta = cijena goriva + trošak veza ili trošak rampe + troškovi osiguranja + troškovi potrošnog materijala + nekoliko ostalih parametara se može uključiti

5.3. Ograničenja

- I. Potražnja – sve TEU potražnje trebaju biti zadovoljene odabranim transportom,
- II. Potražnja opreme – sva TEU potražnja mora biti zadovoljena odabranim skupom manipulacijske opreme,
- III. Potražnja kamiona i vlakova – na temelju TEU potražnje trebalo bi biti dovoljno kapaciteta kamiona i željezničkog kapaciteta,

⁴⁰Ibidem, str. 42.

- IV. Obalne dizalice po jednom brodu – postoji ograničenje broja obalnih dizalica koje mogu posluživati Lo-Lo brod a nijedna obalna dizalica se ne koristi za manipulaciju tereta koji se prevozi Ro-Ro brodom,
- V. Ro-Ro prikolice – ako je TEU kapacitet na Ro-Roprikolicamaoprema za rukovanje je nepotrebna
- VI. Brodovi po jednom vezu – postoji ograničeni broj brodova koji u isto vrijeme koriste vez,
- VII. Brodovi po jednoj rampi – postoji ograničeni broj brodova koji koriste jednu rampu u isto vrijeme,
- VIII. Skladišna vozila po jednoj obalnoj dizalici – postoji ograničeni broj skladišnih vozila koji će biti posluženi od jedne obalne dizalice u isto vrijeme,
- IX. Skladišna vozila depoa po jednom Ro-Ro brodu – postoji ograničeni broj skladišnih vozila koja mogu poslužiti Ro-Ro brod u isto vrijeme,
- X. Skladišna vozila po jednoj skladišnoj dizalici – samo određeni broj skladišnih vozila smije služiti skladišnu dizalicu u isto vrijeme,
- XI. Kamioni po opterećenju opreme – skladišna dizalica može obraditi samo određeni broj kamiona,
- XII. Vlak po ukrcajnim strojevima – broj ukrcajnih strojeva koja radi na pojedinom bloku vlaka je ograničen zbog zakrčenja
- XIII. Oprema koja ne služi za slaganje po kontejnerskom bloku - samo određeni broj opreme za odlaganje kontejnera može se koristiti u jednom bloku u isto vrijeme,
- XIV. Oprema za slaganje po kontejnerskom bloku – samo određeni broj opreme može biti izabran za upotrebu u jednom bloku u isto vrijeme,
- XV. Blokovi dodijeljeni kontejnerima – ako skladište nije zauzeto, onda kontejneri bez pratnje i oni koji nisu prevezeni kamionom ili vlakom moraju biti poravnati u blokove,
- XVI. Blokovi slaganja dodijeljeni kontejnerima – ako je skladište puno, tada kontejneri bez pratnje i oni koji nisu preveženi kamionom ili vlakom moraju biti složeni u blokove,
- XVII. Kontejnerski blokovi ograničeni slagalištem – broj kontejnerskih blokova poredanih na slagalištu ovisi o dodijeljenom području slagališta,
- XVIII. Korištenje opreme – ako se oprema koristi tada nastaje fiksni trošak,
- XIX. Korištenje objekata – ako se koristi vez ili rampa tada nastaju fiksni troškovi.

6. ZAKLJUČAK

Analizom tehnoloških procesa i njihove optimizacije na intermodalnim terminalima omogućuje se uspješno funkcioniranje transporta tereta. Pouzdanost tehnološkog sustava ponajviše ovisi o tehničkoj opremljenosti rukovanja i pouzdanosti stvari. Učinkovit i neometan promet vozila do odredišta ovisi o pouzdanom rasporedu mjesta. Procedura dokumenata je zapravo ista, odnosno ponavljaju se sljedeće operacije: dokumenti se primaju, ispunjavaju, akumuliraju, strukturiraju i tada prosljeđuju.

Intermodalni terminali su prostori opremljeni za prekrcaj i skladištenje intermodalnih teretnih jedinica. Povezuju najmanje dvije vrste prijevoza, a to su najčešće cestovni i željeznički. Terminali predstavljaju točku prijenosa za intermodalnu transportnu mrežu, a njihova učinkovitost značajno utječe na cjelokupni intermodalni transportni lanac. Značajna pomoć upraviteljima terminala može se izvući iz Sustava za potporu odlučivanju. U sustavu za potporu odlučivanju planiranje i tehnike upravljanja proizlaze iz operacijskih istraživanja i polja umjetne inteligencije, mogu biti povezani sa simulacijskim modelom i statističkim alatima analize podataka.

Arhitektura simulacijskog alata temelji se na podjeli simulacijskih objekata između simulacijskih agenata i simulacijskih komponenata. u intermodalnom terminalu postoje dva paralelna toka: informacija i kontejneri. Simulacijski agenti koriste protok informacija ne bi li tako donijeli odluke o tome kako usmjeriti protok kontejnera. Bitno je istaknuti kako simulacijski agenti i komponente pohranjuju i razmjenjuju informacije o ulaznim i izlaznim komponentama terminala. Pomorski prijevoz na kratke udaljenosti definira se kao kretanje roba i putnika morskim putem između luka koje su smještene unutar Europe u geografskom smislu i/ili između tih luka i luka smještenih u zemljama izvan Europe, a koje imaju obalnu liniju na moru koje graniči s Europom.

Automatsko manipuliranje kontejnerima postaje vrlo važan aspekt terminala, koje nudi točna i brza intermodalna rješenja. Većina inovativnih pomorskih tehnologija temelji se na posebnim tipovima brodova, inovativnim prekrcajnim sredstvima usmjerenim prema visokoj razini automatizacije. Automatizacija se ovdje uglavnom koristi za kontrolu mehanizma rukovanja opremom, odnosno koliko stupanj pažnje je potreban opremi ili sustavu od strane ljudskog operatera.

Bitno je istaknuti i matematičke pristupe modeliranja za optimizaciju, kao i prijedlog cjelobrojnog linearnog programa (ILP), optimizacijskog modela za unitizirane (okrupljene) robne terminale koji se može ugraditi u Sustav potpore odlučivanja (implementiran kao potproces, kao model depoa i sl.). On se sastoji od temeljnih pretpostavki parametara varijable odlučivanja, jedne objektivne funkcije i ograničenja.

LITERATURA

1. Brnjac, N., Intermodalni transportni sustavi, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2012.
2. Bontenkoning, Y. M., Macharis, C., Trip, J. J., Is a new applied transportation research field emerging? A review of intermodal rail-truck freight transport literature, *Transportation Research Part A*, 2004.
3. Corry P., Kozan E., Dynamic container train planning. Paper presented at the Fifth Asia, 2004.
4. Corry, P. & Kozan, E. An assignment model for dynamic load planning of intermodal trains, *Computers and Operations Research*, 2006.
5. Chung, R., Li, C. & Lin, W. Interblock crane deployment in container terminals, *Transportation Science*, 36(1), pp. 7993., 2002.
6. Gambardella, L.M., Rizzoli, A.E., Zaffalon, M.: *Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal*, Switzerland, 1998.
7. Jarašūnienė, A., *Optimisation of technological processes interinals*, Transport Research Institute, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania, 2004.
8. Kelton, W. D., Sadowski, R. P. & Sadowski, D. A. *Simulation with ARENA* (New York: McGraw-Hill), 1999.
9. Kondratowicz, L. J. (*Simulation methodology for intermodal freight transportation terminals*, Simulation, 1999.
10. Kozan, E., Analysis of the economic effects of alternative investment decisions for sea port systems, *Transportation Planning and Technology*, 1994.
11. Kozan, E., *Optimum Capacity for Intermodal Container Terminals*, School of Mathematical Sciences, Queensland University of Technology, Australija, prosinac 2006.
12. Mbiydzennyuy, G., *An Optimization Model for Sea Port Equipment Configuration*, Blekinge Institute of Technology, Sweden, January, 2007.
13. Ottjes, J.A., Veeke, H.P.M., *Simulation of a newport- ship interface concept for intermodal transport*, Delft University of Technology, Netherlands, october, 1999., Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference Gold Coast, Australia. December, 12. 2004.
14. Preston, P., Kozan, E., A tabu search technique applied to scheduling container transfers, *Transportation Planning and Technology*, 2001.
15. Pettersen Standenes, S., Marlow, P.B., *Port Pricing and Competitiveness in Short Sea Shipping*, Publisher; *International Journal of Transport Economics*, 2000. g. Robinson,
16. S. *Successful Simulation: A Practical Approach to Simulation Projects*, New York: McGraw-Hill, 1994.
17. Soriguera, F., Robuste, F., Lopez – Pita, A., *Optimization of Handling Equipmen in the Container Terminal of the Port of Barcelona*, Spain, 2006.
18. Higgins, T., Randolph Hall Maged Dessouky, *Comparison of Attributes and Characteristics of Strategic Ports to Agile Port Models for centre for commercial deployment of transportation technologies California*, 1999.
19. M. Ali Alattar, Bilavari Karkare, Neela Rajhans, *Simulation Of Container Queues For Port Investments* published at the Sixth International Symposium on Operations Research and Its Applications Xinjiang, China, august 2006.

POPIS SLIKA :

Slika 1. Prikaz kontejnerskog terminala	10
Slika 2. Modularni sustav arhitekture.....	14
Slika 3. Protok mreže za primjer broda S	15
Slika 4. Hijerarhija simulacijskih agenata	16
Slika 5. Shematski prikaz protoka kontejnera	17
Slika 6. Simulacijski alat korisničkog sučelja	19
Slika 7. Flota automatski vođenih vozila koja prevozi kontejnere s pristaništa u skladišne depoe	30
Slika 8. RTG dizalica s GPS sustavom, Hong Kong.....	31
Slika 9. Poluprikolica niske platforme MAFI	32
Slika 10. Primjer viličara koji podiže kontejner	33
Slika 11. IPSI koncept ukrcaja	34
Slika 12. Prikaz IPSI broda	36
Slika 13. Prijedlog jednostavnog generičkog ILP modela	40

POPIS TABLICA :

Tablica 1. Značajke lučkih strojeva	12
Tablica 2. Dnevni raspored vlaka	12
Tablica 3. Distribucija kontejnera za brod S	15