

ORIGINALNI NAUČNI RAD

SLAVKO VESKOVIĆ*, SANJIN MILINKOVIĆ, MILOŠ STOJKOVIĆ,
IVAN BELOŠEVIĆ, SLAVIŠA AĆIMOVIĆ**MODEL ZA OPTIMIZACIJU TEHNOLOGIJE OPSLUŽIVANJA
INTERMODALNIH TERMINALA IZ ŽELEZNIČKE STANICE**
**A MODEL FOR OPTIMIZING THE TECHNOLOGY OF SERVICING
INTERMODAL TERMINALS FROM A RAILWAY STATION**Datum prijema rada: 10.5.2024. god.
Datum prihvatanja rada: 8.8.2024. god.
UDK: 656.2+519.8**REZIME:**

Predmet ovog rada jeste određivanje broja dostava na industrijske koloseke u intermodalnim terminalima. Prilikom izračunavanja ukupnih troškova transporta, visina naknade za dostavu kola na kolosek u intermodalnom terminalu za industrijski kolosek uzima se kao prosečna iz tarife. Ta cena ne pokriva troškove rada na svakom pojedinačnom koloseku i određuje se na osnovu planiranog obima rada preko posmatranog koloseka. U radu smo izračunali naknade za dostave kola na industrijskom koloseku, vreme čekanja kola na otpremu, kao i vreme potrebno za formiranje i rasformiranje vozova u navedenoj stanici. U radu smo izvršili proračun potrebnog broja dostava kao i troškove dostava u funkciji prognoziranog godišnjeg transporta robe. Kroz analizu osetljivosti sagledan je uticaj broja dnevnih dostava na troškove zadržavanja kola i troškova rada lokomotive.

Ključne reči: intermodalni terminal, industrijski koloseci, dostava kola, modeliranje, tehnološki proces

SUMMARY:

The aim of this study is the assessment of provisions number on industry tracks in intermodal terminal. When total transportation costs are to be calculated, the fee for the provision on industry track in intermodal terminal is taken as the average of tariffs. This price does not cover the manipulation costs on each individual track, it is determined on the basis of planned scope of work on the observed track. In this study, the charges for the provision on industry track, wagons waiting time on dispatch, as well as the trains forming and dismantling time required are calculated. In the study it has been demonstrated that increasing the number of daily provisions leads to reduction of cars retaining time costs, leading to increase of total (locomotive and wagons) usage costs.

Keywords: intermodal terminal, industrial tracks, wagons delivery, modelling, technological process

*Prof. dr Slavko Vesковиć, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, veskos@sf.bg.ac.rs

1. UVOD

Transport je od presudnog značaja na uspešnost poslovanja logističkog centra (intermodalnog terminala). Iako se koncept transporta menjao tokom godina, sa aspekta ekonomičnosti saobraćaja ostalo je veoma važno da bude ostvarena veza terminala (logističkog centra, intermodalnog terminala, luke, rudnika, industrijskog kompleksa i sl.) sa železničkim sistemom. Železnica je najčešće uključena i kao sastavni deo logističkog sistema i kao veza sa ostalim saobraćajnim (pod)sistemima. U Srbiji se ta veza najčešće ostvaruje preko industrijskih koloseka koji su neophodni za utovar/istovar/pretovar robe i za dostavu kola do susednih rasporednih stanica. Oni predstavljaju važnu kariku u transportnom lancu između industrije, odnosno intermodalnih terminala i javnog transporta, jer obezbeđuju dostavu poluproizvoda, sirovina, goriva i druge neophodne robe, kao i njihovo neposredno premeštanje u proizvodnom procesu i odvoz gotovih proizvoda.

Zbog namene i uloge industrijskog transporta [1], veoma je bitno postojanje razvijene mreže industrijskih koloseka, koja je kod velikih industrijskih kompleksa razgranata i ponekad u svom sastavu ima ranžirnu stanicu sa ranžirnim bregom, visok stepen mehanizacije i automatizacije, manevarske lokomotive, osoblje, sopstvena kola, veliki broj utovarno-istovarnih koloseka i druga važna postrojenja i uređaje. U Srbiji, na železnici se od ukupnog prevoza robe preko 70% utovara i istovara vrši na industrijskim kolosecima. U stanicama i čvorovima industrijskog železničkog transporta vrši se prijem vozova, njihovo rasformiranje i ranžiranje kola prema istovarno-utovarnim mestima, a zatim dostava i opsluživanje istovarno-utovarnih mesta, izvlačenje kola sa utovarno-istovarnih mesta i sastavljanje vozova ili manevarskih sastava za otpremu, priprema voznog sastava za otpremu i predaju javnom železničkom saobraćaju. Takođe, obavljaju se prijemno-predajne tehničke i komercijalne operacije sa sastavima, u izvesnoj meri vrši se održavanje industrijskih lokomotiva i kola, kao i drugih sredstava.

Međusobna povezanost pojedinih vidova saobraćaja poslednjih godina ostvaruje bolje rezultate.

Usavršavanje i povećanje efikasnosti rada industrijskog transporta treba obezbediti, pre svega, kroz racionalnu raspodelu prevoza po vidovima industrijskog transporta u osnovnim granama, uzimajući u obzir nivo amortizacije i specifičnosti osnovne proizvodnje.

U ovom radu predstavljamo analizu tehnologije opsluživanja kolima intermodalnih terminala na primerima Logističkog centra Vršac i Luke Apatin, odnosno potrebne kapacitete, koloseke i kolosečne veze kao i tehnologiju dostave kola za buduće intermodalne terminale (IMT). Izgradnjom luke i logističkih centara u Apatinu i Vršcu stvaraju se uslovi za raznovrsne privredne sadržaje kako u samim gradovima, tako i njihovim širim regionima. Analiza tehnologije dostava kola sadrži i vreme potrebno za formiranje i rasformiranje vozova u priključnim železničkim stanicama i logističkom centru. Takođe, u radu je prikazan i postupak za utvrđivanje optimalnog broja dostava kola na terminalske (industrijske) koloseke.

2. JEDINSTVENI TEHNOLOŠKI PROCES RADA ŽELEZNIČKE STANICE I TRANSPORTA IMT

Procesi između industrijskog i javnog transporta nisu strogo regulisani, odnosno njihove zakonitosti određuju režimi rada industrijske proizvodnje i režimi rada javnog transporta, tj. karakter i intenzitet njihovog ulaznog toka. Transportni proces u mestima pojavljivanja i gašenja robnih tokova karakteriše ne samo neravnomernost dolaska, nego i prerade i otpravljanja, ali i veoma promenljiva iskorišćenost transportnih sredstava. Neravnomernost dolaska i opsluživanje transportnih zahteva unosi elemenat slučajnosti u navedene procese.

Postoji nekoliko formi međusobnog dejstva industrijskog i javnog transporta, a to su, pre svega, tehničke, tehnološke, organizacione, informacione, ekonomske i pravne. Tehničko međusobno dejstvo treba da obezbedi približan nivo razvoja jednog i drugog podsistema i unificiranost transportnih elemenata. To treba da dovede do što efikasnijih formi standardizacije prevoza, optimizacije tehničkih parametara, unifikacije postrojenja iste vrste i racionalnog razmeštaja transportnih tehničkih sredstava.

Organizaciono međudejstvo treba da utvrdi što efikasnije forme i mesto izvršenja operacija zadatih funkcija za svaki kanal opsluživanja povezanih u jedinstvenu šemu, koja obezbeđuje kvalitetno izvršenje tehnološkog procesa. U osnovi jedinstven tehnološki proces treba da obezbedi racionalan sistem organizacije rada železničkog javnog saobraćaja, a posebno železničkih stanica usaglašavajući ritam rada železnice sa ritmom prevoznog procesa luke ili logističkog centra [1].

Po karakteru rada u železničkoj stanici Infrastruktura železnica Srbije ad (IŽS) i terminalu razlikuju se u dolaznim kolskim tokovima. Vozovi sastavljeni od kola za različita mesta istovara podležu potpunom ili delimičnom rasformiranju. Ovaj rad može se obaviti u stanici IŽS, industrijskoj stanici, ili na posebnim grupama koloseka ispred istovarnih mesta, ukoliko takve grupe postoje. Ukoliko postoje zadovoljavajući kapaciteti onda je celishodno rasformirati sastave na industrijskim stanicama i direktno dostavljati grupe kola sa manevarskom lokomotivom na mesto istovara. Ukoliko za to nema uslova u industrijskoj stanici, onda se ovaj manevarski rad obavlja u stanici IŽS. Ako u stanicu dolaze kola za više primaoca mešana i sa kolima drugih upućivanja, onda se neophodan manevarski rad na rasformiranju vozova i izdvajanju kola obavlja u stanici IŽS. Nemašrutizovani kolski tokovi iz industrijskih kompleksa se dostavljaju u stanicu IŽS i tu se, po pravilu, od njih formiraju vozovi za otpremu.

2.1. Operativno planiranje rada

Planiranje eksploatacionog rada je najsloženiji element upravljanja prevoznim procesom. Porastom obima prevoza znatno raste obim operativnih informacija koje je neophodno primiti, preraditi i pretvoriti u proces upravljanja. Planiranje rada železničkog industrijskog transporta može se podeliti na dnevne planove, planove smene i operativne planove. Dnevni, kao i planovi smene, koriste manje pouzdane podatke od operativnih planova.

Operativni planovi su najvažnije pretpostavke dispečerskog rukovođenja. Oni treba da sadrže: poredak i vreme prijema kola, njihovu dostavu na utovar i istovar, formiranje sastava i dostavu na

stanici IŽS, strogo opsluživanje proizvodnih pogona gde se to obavlja železničkim kolima, zadatke i korišćenje voznih i manevarskih lokomotiva, korišćenje staničnih koloseka, utovarno-istovarne mehanizacije itd.

U prvom delu utvrđuje se broj vozova i kola (posebno tovarnih i praznih) koji će u toku dana u industrijskoj stanici biti primljeni od priključne stanice IŽS i utvrđuje se grafikon dostave kola. U drugom delu utvrđuje se dnevni obim utovara i istovara po pojedinim utovarno - istovarnim mestima (skladištima i sl.) i to po vrsti robe. Pri planiranju utovara neophodno je utvrditi odakle će biti podmiren sa praznim kolima. Stoga je neophodno uzeti u obzir kola od istovara, kola koja čekaju na istovar a nalaze se u priključnoj stanici u početku perioda za koji se planira, a takođe broj kola koji se očekuje da će u toku planiranog perioda prispeti na istovar. Plan manevarskog rada za smenu sastavlja manevarski dispečer ili rukovaoc manevre uz saglasnost otpravnika vozova. Rad se planira na osnovu plana utovara i istovara, stvarnog stanja vozova, kola i robe u stanici i informacija o kolima i robi koji treba da dođu.

2.2. Tehnologija opsluživanja kolima IMT iz železničke stanice

U stanicama se mora sprovesti takva organizacija svih službi koja će omogućiti pravilnu primenu odredaba zakona i drugih propisa koji se odnose na bezbednost, urednost, ekonomičnost i poslovnost u prevozu na železnici [2].

Tehnološki proces rada stanice definiše najpogodniji sistem organizacije rada. Njime se utvrđuje najracionalniji redosled operacija sa vozovima i kolima, norme za njihovo izvršavanje, broj i predviđeno vreme dostava na koloseke logističkog centra (intermodalnog terminala), uloga i zadatak pojedinih radnih mesta, kao i operativno rukovođenje radom stanice.

Optimalno postavljen tehnološki proces rada, kojim se ostvaruje paralelnost i neprekidnost izvršavanja operacija sa vozovima i kolima, obezbeđuje racionalno korišćenje kapaciteta, minimalne troškove i maksimalnu produktivnost rada u stanicama.

Tehnološki procesi rada stanice sadrže sledeće elemente:

- definisane tehničke i radne karakteristike stanice,
- jasno definisan zadatak stanice,
- namena kolosečnih parkova i pojedinih koloseka,
- definisane tehnološke operacije i njihovo vremensko trajanje,
- utvrđen redosled i paralelnost tehnoloških operacija,
- potreban broj radnika i
- potrebna sredstva.

U priključnoj stanici IMT treba da bude primenjena nova informaciona tehnologija koja se sastoji u tome što stanica, tačnije otpravnik vozova dobija informaciju o dolazećim vozovima sa glavnog računara, importovanjem teretnice i ostalih podataka na svoj računarski terminal. Na osnovu toga može da dobije sve podatke o dolazećem vozu koji su mu potrebni, kako bi blagovremeno organizovao obradu vozova. Nova informaciona tehnologija uz kombinovanje primene radio veze kod popisa voza, omogućava smanjenje vremena izvršenja popisa i komercijalnog pregleda voza. Zatim, ona omogućava i automatsko sastavljanje Izveštaja o sastavu i kočenju voza S-66, a po potrebi i nove teretnice voza. Sve to utiče na smanjenje potrebnog vremena obrade voza.

Od mobilnih kapaciteta za izvršenje manevarskog rada u stanici (primer stanice Vršac) predviđen je rad jedne manevarske lokomotive. Manevarske poslove obavlja manevarsko osoblje železničkog operatera, sa rukovaocem manevre i manevristima koji su obavezni da voz čekaju na ulaznom koloseku, kao i da, posle raskvačivanja lokomotive od sastava, obavezno prate lokomotivu pri kretanju na staničnom području. Takođe odgovarajući manevarski radnici su obavezni da izvrše zakvačivanje i otkvačivanje, svih lokomotiva u vlasništvu operatera kao i spajanje vazdušnih poluspojki na manevarskom sastavu koji se otprema na koloseke logističkog centra.

Za uspešno operativno planiranje dnevnih zadataka iz oblasti saobraćajnih poslova odgovorni su: otpravnik vozova, rukovaoc manevre, vozovođa i pregledači kola. Vozovođa i pregledači kola obavljaju popis i tehnički pregled kola, sastavljaju raspored

manevre (obrazac S-22) i dostavljaju ga, pored ostalih, otpravniku vozova i rukovaocu manevre.

2.3. Saobraćajno-tehnološki koncept rešenja i organizacija saobraćaja na relaciji stanica – IMT

Prema definisanim kapacitetima predviđenim u Intermodalnom terminalu - IMT (logističkom centru) treba primeniti tehnologiju rada koje zavise od opterećenja koja je prilagođena uslovima na terenu (kolosečnim kapacitetima, prostornim i drugim uslovima), što podrazumeva:

- preuzimanje kola iz železničke stanice i njihovo prevlačenje do terminala,
- postavljanje kola na utovarno-istovarni kolosek u terminalu i
- preuzimanje kola sa utovarno-istovarnog koloseka u terminalu i njihovo izvlačenje do stanice.

U stanici se formiraju manevarski sastavi od tovarnih i praznih kola koja se koriste za rad u terminalu. Opsluživanje koloseka obavljalo bi se na jedan od sledećih načina:

- opsluživanje koloseka obavlja železnički operater,
- opsluživanje koloseka obavlja operater terminala.

Na osnovu navedenog jasno se vidi da je planirano učešće samo jedne strane, ili železničkog operatera ili terminala, koja bi sve aktivnosti vezane za dostavu kola iz stanice do terminala i postavu kola na utovarno-istovarne koloseke obavljale samostalno, sa sopstvenim manevarskim lokomotivama ili bi terminal preneo tu aktivnost na izabranog operatera.

Ključna razlika između navedenih pristupa ogleda se u podmirivanju – opsluživanju terminalskih i industrijskih koloseka na utovarno – istovarnim mestima. U prvom slučaju ovaj posao bi obavljala železnica, a u drugom terminal. Uslov da bi prvi slučaj mogao biti primenjen je da železnički operater raspolaže sa jednom manevarskom lokomotivom. Slična situacija je i u drugom slučaju, s tim da se sad sve obaveze koje je imala železnica sada odnose na terminal i logistički centar [3].

Što se tiče tehnologije rada ona bi se ogledala u sledećem [4]:

- izvlačenje kola iz železničke stanice do terminala.

- ovu aktivnost obavlja železnički operater sa svojim manevarskim vozilom,
- dostava grupe kola za utovar i istovar i postavljanje na utovarno – istovarne koloseke,
- posle završenih operacija utovara i istovara kola manevarska lokomotiva objedinjava sva ova kola i izvlači ih nazad do železničke stanice,
- nakon izvlačenja u stanici se vrši manevrisanje i završno formiranje voza i otprema.

O tome koji način će biti primenjen odlučivaće učesnici u međusobnom dogovoru shodno interesima. Preporuka je da prvoj fazi izgradnje i razvoja intermodalnog terminala i logističkog centra imanevarsku lokomotivu, neophodno saobraćajno i manevarsko osoblje treba da obezbedi železnički operater.

2.4. Koncept tehnologije rada IMT (logističkom centru)

Na osnovu položaja Industrijskog koloseka za intermodalni terminal definiše se prevozni put od železničke stanice do IMT u odnosu na polazni kolosek i skretnice koje se nalaze u putu vožnje. Na osnovu toga određuje se ukupna dužina manevarskih vožnji koja uključuje rastojanje od ose stanice do odvojne skretnice i dužine koloseka u intermodalnom terminalu prema sastavu industrijske pruge, odnosno broju koloseka u intermodalnom terminalu.

Dostava kola iz železničke stanice na industrijske koloseke intermodalnog terminala (logističkog centra) obavljala bi se jednom do tri puta u toku dana sa maksimalno dvadeset kola u dostavi. Za vuču manevarskog sastava do i sa industrijskih koloseka koristila bi se lokomotiva u vlasništvu železničkog operatera, zašto je neophodno da u stanici ima svoju manevarsku lokomotivu, jer je dostava voznim lokomotivama skupa i neracionalna. Manevarski sastav bi na terminalski kolosek dolazio u pratnji manevarskog odreda operatera, koga sačinjavaju rukovaoc manevre i dvojica manevrista. Obezbeđenje puta vožnje zavisi od sistema osiguranja stanice, a na kolosecima u LC je, po pravilu ključevna zavisnost. Ključeve zaključanih skretnica u intermodalnom terminalu otpravnik vozova uz pismeni nalog predaje rukovaocu manevre manevarskog sastava, a nakon vraćanja manevarskog

sastava u stanicu, rukovaoc manevre bi ključeve predavao otpravniku vozova. Redovan položaj svih skretnica na industrijskom koloseku kao i odvojne skretnice je u pravac, osim pre skretnice u IMT kod koje redovni položaj treba da vodi na štitni kolosek [5].

Manevarski sastav iz stanice saobraća kao vučeni sastav, a kola moraju prethodno biti izranžirana i složena prema istovarno-utovarnim kolosecima. Kola moraju biti uključena u glavni vazdušni vod, a pre pokretanja iz stanice mora biti izvršena skraćena proba kočnica. Manevarski sastavi smer stanica - IMT nose neparne brojeve sa oznakom MS ispred broja, a u suprotnom smeru parne brojeve. Pre pokretanja iz stanice, otpravnik vozova je dužan da obavesti osoblje intermodalnog terminala (logističkog centra) o dostavi kola u terminal, kako bi isto blagovremeno pripremiло za prijem kola.

Skretnice i iskliznice postavlja i zaključava, odnosno put vožnje na kolosecima u IMT formira rukovaoc manevre, pošto se prethodno manevarski sastav zaustavio na određenom rastojanju ispred prve skretnice u terminalu. Nakon formiranog puta vožnje i datog odgovarajućeg signalnog znaka od strane rukovaoca manevre, manevarski sastav ulazi i smešta se između međika na koloseku odgovarajućem terminalskom koloseku. Skretnice se vraćaju u svoj redovni položaj. Nakon toga otkvaćuju se kola za koloseke u Logističkom centru i pokreće se manevarski sastav kao vučeni sastav. Tu se kola otkvaćuju, a manevarska lokomotiva izvlači sa ovog koloseka na izvlačnjak, pa na drugi (obilazni) kolosek i nastavlja dalju vožnju preko do stanice.

O završenom istovaru ili utovaru kola na terminalskom koloseku i potrebi njihovog izvlačenja, osoblje terminala telefonom obaveštava otpravnika vozova. Manevarska lokomotiva sa manevarskim osobljem po prethodno opisanom postupku dolazi na kolosek u IMT radi izvlačenja kola. Izvlačenje kola vrši se redosledom suprotnim od dostave. Kada lokomotiva dođe na čelo manevarskog sastava vrši se kvaćenje, uključivanje u glavni vazdušni vod svih kola i skraćena proba kočnica. Zatim se manevarski sastav kao vučeni sastav otprema za stanicu. Skretnice se ostavljaju u svom redovnom položaju i u istom zaključane.

2.5. Organizacija manevarske službe

Racionalna organizacija manevrisanja u suštini obezbeđuje uspešnost u radu stanice, zatim određuje njenu preradnu sposobnost i ostvarenje osnovnih kvalitativnih pokazatelja skupa manevarskih operacija.

Manevrisanje se u stanicama izvršava prema važećem Tehnološkom procesu i Poslovnom redu stanice. Odluke o manevrisanju donosi manevarski dispečer, odnosno otpravnik vozova. Manevrisanjem neposredno rukovodi rukovalac manevre, a neposredno manevrisanje obavlja manevarsko osoblje, koje se sastoji od lokomotivskog osoblja (mašinovođa i pomoćnik) i manevarskog odreda (rukovalac manevre i određeni broj manevrista). Dozvoljeni broj osovina kola pri manevrisanju koja se koče direktnom kočnicom lokomotive iznosi do 40 km/h, a brzina manevrisanja 20 km/h.

Sporazumevanje otpravnika vozova i rukovaoca manevre u pogledu manevarskog rada vrši se usmeno, telefonom, razglasnim uređajima i radio stanicom.

Upotreba pritvrdnih kočnica u stanici predviđena je samo za obezbeđenje kola od samopokretanja pri utovaru i istovaru, kao i obezbeđenje svih vozila od samopokretanja kad kola miruju. Za obezbeđenje kola od samopokretanja i odbegnuća odgovorni su rukovalac manevre, spoljni otpravnik vozova i magacioner.

3. MODEL ZA UTVRĐIVANJE BROJA DOSTAVA NA TERMINALSKE KOLOSEKE

Troškovi koji zavise od broja dostava i izvlačenja kola sa manipulativnih mesta sastoje se iz sledećih osnovnih grupa: troškovi kolskih časova usled čekanja na dostavu (nakupljanje kola za jednu dostavu), troškovi kolskih časova usled čekanja na izvlačenje, troškovi manevarskih časova koji se utroše za dostavu i izvlačenje kola. Ukupni troškovi pri dostavi i izvlačenju kola mogu da se izraze na sledeći način [1]:

$$C_{di} = \frac{n_l c_{kč}}{x_{di}} (c_l + T_{di}) + x_{di} t_{di} c_{mč} - t_{ro} n_l c_{kč} \text{ [n.j./dan]} \quad (1)$$

gde je:

- n_l - dnevna veličina kolskog loko-toka;
- $c_{kč}$ - cena koštanja kolskog časa;
- x_{di} - broj dostava i izvlačenja kola u toku dana;
- c_l - parametar nakupljanja loko-kola;
- T_{di} - ukupno vreme koje protekne od početka pripreme za prvu dostavu pa do završetka izvlačnjaka poslednje dostave u toku 24 časa (h);
- t_{di} - vreme manevrisanja pri dostavi i izvlačenju kola, uključujući pripremu, rastavljanje, sakupljanje i ranžiranje u časovima;
- $c_{mč}$ - cena koštanja jednog manevarskog časa, koja sadrži troškove lokomotive i manevarskog osoblja u n.j;
- t_{ro} - vreme trajanja robnih operacija (istovar, premeštanje, utovar) i vreme čekanja na početak robnih operacija na manipulacionim mestima kod jedne dostave u časovima.

Iz formule (1) je očigledno da prva dva člana zavise od broja dostava i izvlačenja kola. Što je veći broj dostava i izvlačenja, time se vrednost prvog člana smanjuje, a drugog povećava. Minimalne troškove dostave (minimum funkcije) dobijemo uz uslov:

$$\frac{dC_{di}}{dx_{di}} = 0 \text{ i } \frac{d\left(\frac{dC_{di}}{dx_{di}}\right)}{dx_{di}} > 0 \quad (2)$$

Ako se navedena jednačina (1) izrazi preko broja dostava u toku 24 časa onda dobijamo izraz predstavljen jednačinom (3).

$$x_{di} = \sqrt{\frac{n_l c_{kč} (c_l + T_{di})}{t_{di} c_{mč}}} \text{ [dostava / dan]} \quad (3)$$

Prilikom izračunavanja ukupnih troškova transporta, visina naknade za dostavu kola na kolosek u intermodalnom terminalu (industrijski kolosek) uzima se kao prosečna na osnovu podataka iz tara Ta cena ne pokriva troškove rada na svakom pojedinačnom koloseku i određuje se na osnovu planiranog obima rada preko posmatranog koloseka. Opšti oblik izraza za određivanje naknade za dostave kola na industrijske koloseke uzima u obzir i broj dostava kola u toku 24 časa je:

$$p = C_l \left(\frac{2l}{v_l} + \frac{m_m t_m}{60} \right) 360 n_d \frac{q_{st}}{Q} \text{ (€)} \quad (4)$$

gde je:

C_1 - troškovi rada lokomotive sa osobljem;
 l - dužina industrijskog koloseka;
 v - prosečna brzina vožnje lokomotive;
 m_m - broj manipulativnih mesta;
 t_m - vreme trajanja manevrisanja;
 n_d - broj dostava kola dnevno;
 q_{st} - prosečna masa robe u kolima;
 Q - godišnji obim transporta.

Analizom i upoređivanjem izraza za određivanje naknade za dostavu kola na terminalske koloseke u zavisnosti od broja u toku dana, može se zaključiti da će troškovi dostave biti niži ukoliko je manje postavljanja u toku određenog vremenskog perioda. Ali, manji broj postava kola na terminalski kolosek imaće za posledicu duže zadržavanje kola na nakupljanju i na tom koloseku (čekanju na izvlačenje).

Robnom tarifom na prugama IŽS predviđeno je zadržavanje kola na utovaru ili istovaru od 6 časova (za maršutne vozove 10 časova). Kada se tome doda vreme dostave i vreme izvlačenja kola sa industrijskog koloseka u maksimalnom iznosu od 2 časa, može se zaključiti da je potrebno vreme zadržavanja kola na industrijskom koloseku 8 časova (12 časova za kola u maršutnim vozovima). Navedeno vreme zadržavanja kola na industrijskom koloseku zavisi od broja dostava kola dnevno. Ako se dnevno obavlja jedna dostava kola na terminalski kolosek (posmatraju se pojedinačna kola ili grupa kola), kola se na njemu umesto 8 časova zadržavaju 24 časa, što je za 16 časova duže od potrebnog vremena.

Optimizacija broja dostava kola na manipulativna mesta industrijskih koloseka u toku dana može da se utvrdi (pomoću modela zasnovanog na teoriji verovatnoće i predstavlja nemarkovski model masovnog opsluživanja) određivanjem srednjeg vremena zadržavanja i srednjeg broja kola koja čekaju na robne operacije [6].

Rentabilnost broja dostava kola u toku dana može da se odredi na osnovu uslova da troškovi manevarskih vožnji svih dostava ne smeju da budu veći od ukupnih troškova čekanja kola u priključnoj stanici na dostavu na industrijski kolosek.

Podimo od opšte pretpostavke koja je zasnovana na hipotezi da se ulazni tok kola ponaša po Puasonovoj raspodeli, a da vreme opsluživanja karakteriše proizvoljna raspodela (na osnovu snimanja vršenih u železničkim čvorovima Pančevo, Niš i stanici Vršac). Za vreme opsluživanja pošlo se od najopštije pretpostavke (proizvoljna raspodela).

Vreme opsluživanja u modelu predstavlja vremenski interval između dve dostave kola na terminalske koloseke. Po pravilu radi se o ravnomernoj raspodeli, jer se kola dostavljaju u intervalima od 12 časova (2 dostave) ili 8 časova (3 dostave), a ređe u intervalima od 6 časova (4 dostave). U eksploataciji ova vremena se realizuju sa odgovarajućim odstupanjima izazvanim tehnološkim razlozima, a mogu da budu veoma različita, pa je u modelu postavljena hipoteza da se radi o proizvoljnoj raspodeli.

Intenzitet ulaznog toka kola (dnevni broj kola) koja dolaze na robne operacije za terminalske koloseke iznosi:

$$\lambda = m_{sr}^d = n_d m_d \quad (5)$$

gde je:

m_{sr}^d - srednji dnevni broj kola,
 n_d - broj dostava kola u toku dana.
 m_d - srednji broj kola u jednoj dostavi.

Maksimalni broj kola koja mogu da budu dostavljena na terminalski kolosek iznosi:

$$m_{max} = n_d m_{max}^d \quad (6)$$

m_{max}^d - maksimalni broj kola u jednoj dostavi.

Koeficijent varijacije vremena opsluživanja je :

$$v_{op} = \frac{\sigma(t)}{t_{op}} \quad (7)$$

gde je:

$\sigma(t)$ - standardno odstupanje vremena opsluživanja,

t_{op} - vreme opsluživanja, pri čemu ono iznosi:

$t_{op} = 12$ h (dve dostave),
 $t_{op} = 8$ h (tri dostave).

Koeficijent iskorišćenosti sistema je:

$$\psi = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{m_{sr}^d}{m_{max}^d} = \frac{m_d n_d}{m_{max}^d n_d} = \frac{m_d}{m_{max}^d} \quad (8)$$

Ukupno vreme čekanja kola na dostavu na terminalski kolosek (t_c) sastoji se od vremena potrebnog za nakupljanje kola da bi se оформio terminalski voz (t_n) i vremena čekanja na manevarsku lokomotivu da bi se obavila dostava (t_{cd}).

Srednje vreme zadržavanja kola radi nakupljanja pri ravnomernoj raspodeli intervala dolaska kola može da se odredi na sledeći način: svaka kola mogu da dođu u priključnu stanicu u bilo kom momentu perioda t_{op} između dve uzastopne dostave grupe kola na terminalski kolosek (to znači u periodu od 0 do 12 ili od 0 do 8 časova).

Momenti dolaska kola imaju jednake verovatnoće. Prema tome, broj kola koja prispeju u prvim $t_{op}/2$ i u drugim $t_{op}/2$ časova je približno jednak. Zato je vreme zadržavanja kola na nakupljanju jednako:

$$t_n = \frac{t_{op}}{2} \quad (9)$$

Tokovi nakupljenih grupa kola takođe imaju Pua-sonovu raspodelu, pa srednje vreme čekanja na obradu svake grupe kola iznosi:

$$\bar{t}_{cd} = \frac{\psi^2(1+\psi_{op}^2)}{2\lambda(1-\psi)} = \frac{\psi(1+\psi_{op}^2)}{2\mu(1-\psi)} = \frac{\psi(1+\psi_{op}^2)}{2(1-\psi)} t_{op} \quad (10)$$

Na osnovu izloženog zaključuje se da ukupno vreme čekanja kola na dostavu na terminalski kolosek iznosi:

$$\bar{t}_c = \frac{t_{op}}{2} \left[1 + \frac{\psi(1+\psi_{op}^2)}{1-\psi} \right] \quad (11)$$

Rentabilnost broja dostava u toku dana može da se odredi na osnovu uslova da troškovi manevarskih vožnji svih dostava ne smeju da budu veći od ukupnih troškova čekanja kola u priključnoj stanici na dostavu na terminalski kolosek, odnosno:

$$n_d m_d p < \lambda \bar{t}_c C_{dk} \quad (12)$$

Kako je:

$$M(n_c) = \lambda \bar{t}_c \quad (13)$$

gde $M(n_c)$ predstavlja srednji broj klijenata (kola) koji se nalaze u redu (čekaju na opsluživanje),

pa sledi da troškovi nadoknade za jednu dostavu ne bi smeli da pređu iznos od:

$$p < \frac{M(n_c) C_{dk}}{n_d m_d} \quad (14)$$

a za definisanu vrednost nadoknade optimalni broj dostava u toku dana iznosi:

$$n_d < \frac{M(n_c) C_{dk}}{p m_d} \quad (15)$$

Uvođenje dve umesto jedne dostave kola u toku 24 časa, udvostručuje troškove rada lokomotive na terminalskom koloseku, a istovremeno donosi uštede u zadržavanju kola u visini 12 "kol-časova" za svaka kola, odnosno polovine kol-dana za sva kola.

Ukoliko su uštede veće od troškova, ima smisla uvođenje druge dostave kola u toku dana. Na osnovu toga može se postaviti nejednačina [7]:

$$\frac{m_d K_d}{2} > \frac{C_l}{\frac{2l}{v} + \frac{m_m t_m}{60}} \quad (16)$$

gde je:

K_d - prosečna cena kol-dana (€).

Uvođenje tri dostave kola na terminalskom koloseku u toku 24 časa utrostručuje troškove rada lokomotive na terminalskom koloseku, a istovremeno donosi uštede u zadržavanju kola od 16 časova, odnosno 2/3 dana. Tri dostave kola dnevno su opravdane ukoliko je ispunjen uslov:

$$\frac{m_d K_d}{3} > \frac{C_l}{\frac{2l}{v} + \frac{m_m t_m}{60}} \quad (17)$$

4. KOLOSEČNE SITUACIJE U PRIKLJUČNIM STANICAMA I INTERMODALNIM TERMINALIMA

Jedan od ključnih faktora koji utiče na veći broj parametara modela za utvrđivanje broja dostava na terminalske koloseke je kolosečna situacija u priključnoj stanici i intermodalnom terminalu, kao i kolosečna veza između njih. U ovom radu posmatrane su priključne stanice Vršac i Apatin Fabrika za intermodalne terminale Vršac i Apatin.

4.1. Intermodalni terminal Vršac

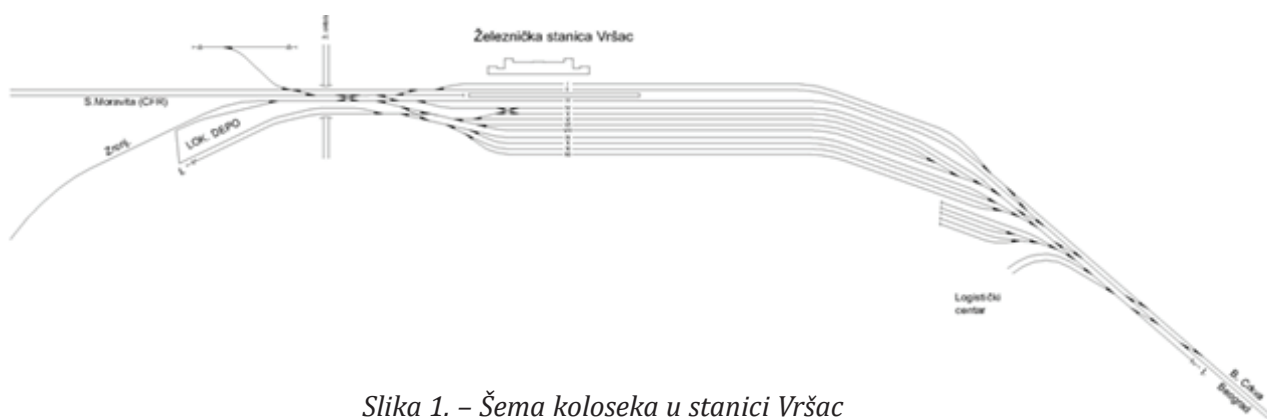
Izgradnja intermodalnog terminala vršila bi se fazno u skladu sa potrebama, ali bi i pratila faze rekonstrukcije železničke stanice. U toku prve faze rekonstrukcije železničke stanice, na prostoru intermodalnog terminala izgradila bi se kolosečna grupa od tri koloseka, i to inicijalno dva, a naknadno još jedan kolosek. Dva koloseka ove grupe bila bi manipulativna (za utovar i istovar kontejnera), a jedan kolosek bi bio prolazni za povratne vožnje manevarskih lokomotiva koje vrše dostavu. Minimalna korisna dužina manipulativnih koloseka bi iznosila 650 m, kako bi se obezbedio nesmetan prijem kompletnih intermodalnih vozova. Za potrebe pratećeg transporta predviđena je čeona rampa na koloseku T1 preko koje bi se vršio navoz kompletnih drumskih vozila (slika 1).

Ukoliko bi se javila potreba za dodatnim kapacitetima intermodalnog terminala, u naknadnoj

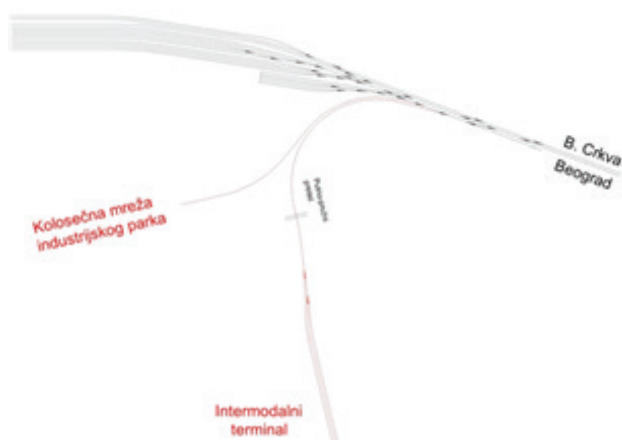
fazi proširenja logističkog centra bi se izvršila rekonstrukcija kolosečne grupe u smislu izgradnje dodatnih koloseka i eventualnog produžavanja njihove korisne dužine [8].

U okviru rekonstrukcije železničke stanice Vršac planirana je racionalizacija staničnih koloseka u okviru koje bi se izvršilo i izmeštanje koloseka namenjenih robnom radu u zonu industrijskog parka. U okviru ove faze izgradnja mreže manipulativnih koloseka za opsluživanje industrijskog parka vršila bi se u skladu sa potrebama korisnika. Opsluživanje ovih koloseka bi se vršilo pomenutim veznim kolosekom sa izvlačnjaka I1 železničke stanice i bilo bi usklađeno sa opsluživanjem intermodalnog terminala.

Na slici 2. prikazana je šema kolosečne veze između intermodalnog terminala i stanice Vršac, a na slici 3. kolosečna postrojenja u Intermodalnom terminalu Vršac.



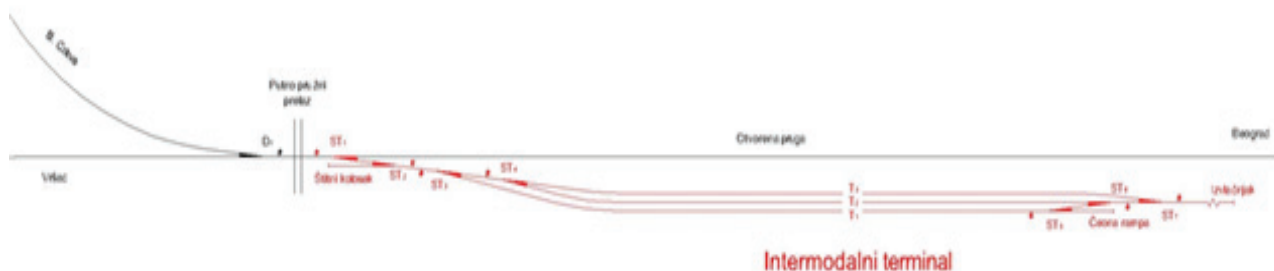
Slika 1. – Šema koloseka u stanici Vršac



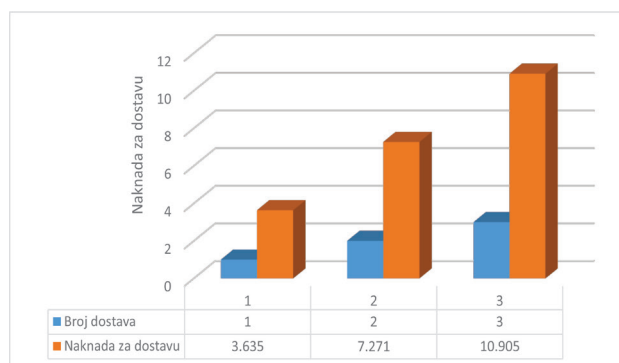
Slika 2. – Šema kolosečne veze terminala i stanice Vršac

4.2. Luka i Logistički centar Apatin

Na prostoru luke i logističkog centra predviđena je izgradnja kolosečne grupe od sedam koloseka, i to inicijalno dva, a naknadno još četiri koloseka [9]. Dva koloseka ove grupe L8 i L9 bili bi lučko-terminalski (za utovar i istovar barži i manipulacije sa intermodalnim jedinicama) i odvajaju se od osnovnog koloseka koji ide iz stanice Apatin fabrika preko skretnice SL4, a jedan od tih koloseka bi bio prolazni za povratne vožnje manevarskih lokomotiva koje vrše dostavu. Minimalna korisna dužina ovih koloseka bi iznosila 405 m, odnosno 400 m, kako bi se obezbedio nesmetan prijem intermodalnih vozova (slika 4).



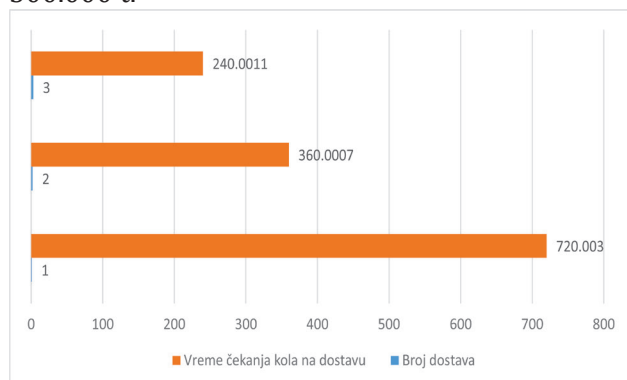
su dve, odnosno tri dostave dnevno, zadržavanje kola na bi se smanjilo i iznosilo bi 12 h, odnosno 8 h. Troškovi dostave se povećavaju, a sa druge strane smanjuju se troškovi čekanja na formiranje vozova. Na osnovu prethodnih podataka i poznatog izraza, možemo izračunati određivanje naknade za jednu, dve i u ovom slučaju tri dostave kola na industrijskom koloseku (slika 7).



Slika 7. – Određivanje naknade za dostave kola (€)

Na slici je prikazan broj dostava kola dnevno i naknada za sve dostave pojedinačno. Vidimo da sa povećanjem broja dostava na industrijske koloseke u stanici Apatin Fabrika dolazi i do povećanja naknade za dostave kola.

Na slici 8 prikazano je predviđeno vreme čekanja kola na dostavu za godišnji obim transporta od 300.000 t.



Slika 8. – Vreme čekanja kola na dostavu na industrijskom koloseku u min

Sa grafikona se uočava da vreme čekanja kola za jednu dostavu iznosi 720 min, a povećanjem broja dostava dolazi i do smanjenja vremena čekanja.

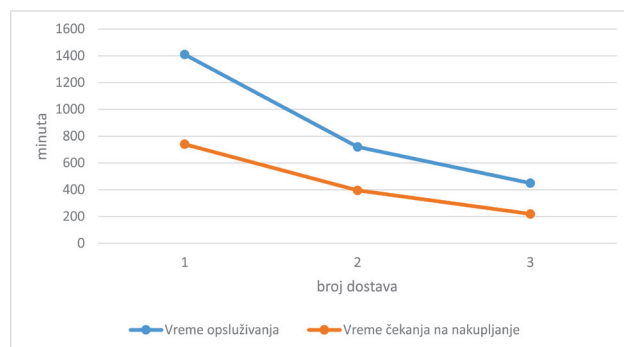
Sledi:

$$\frac{m_d K_d}{8} > \frac{C_l}{\frac{2l}{v} + \frac{m_m t_m}{60}}$$

gde je: $K_d = 1,5$ (prosečna cena kola-dana u €).

Na osnovu prethodnog izraza zaključujemo da je osam dostava u ovom slučaju zadovoljavajuće, odnosno da su uštede veće od troškova, dok za devet to nije slučaj. U koliko bi za predviđen godišnji obim transporta uveli devet dostava, u tom slučaju troškovi bi prevazišli prihode, što predstavlja gubitak.

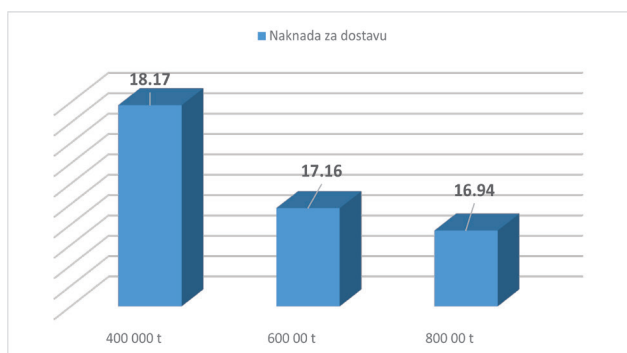
Na slici 9 prikazan je odnos vremena potrebnog za nakupljanje i vremena opsluživanja.



Slika 9. – Vreme opsluživanja i zadržavanja kola na nakupljanju

U prethodnom delu prikazano je kako promena broja dostava za konstantnu godišnju količinu obima transporta utiče na određivanje naknade za dostavu. Na slici 10 predstavljeno je kako promene godišnjeg obima transporta utiču na određivanje naknade za dostave. Za godišnji obim transporta u iznosu od 400.000 t, pri prosečnoj masi robe 15 t po jednim kolima potreban broj dostava kola dnevno iznosi četiri. Za godišnji obim od 600.000 tona potreban broj dostava je 5, dok za godišnji obim od 800.000 tona potreban broj dostava dnevno iznosi 6.

U ovom slučaju najduže vreme čekanja kola na dostavu je pri najmanjoj količini godišnjeg transporta, dok je za veću količinu godišnjeg transporta kraće vreme čekanja.



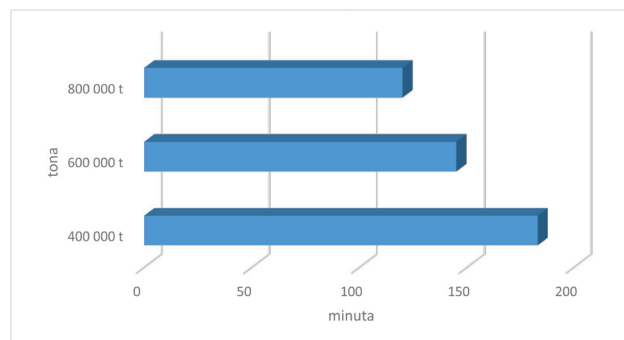
Slika 10. – Naknade (€) za dostavu kola

S obzirom na godišnji obim transporta robe koji se obavlja preko industrijskog koloseka u stanici Apatin Fabrika, razlikuje se i vreme čekanja za obradu svake pojedinačne grupe kola.

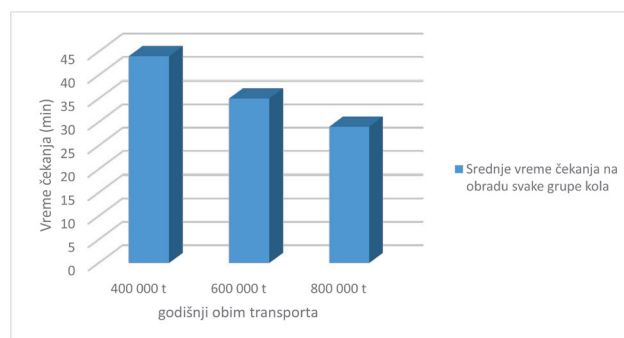
Tako, na primer, ako godišnji obim rada iznosi 400.000 tona srednje vreme čekanja na obradu kola iznosi 44,55 minuta po kolima. Na slikama 11 i 12 prikazano je, s obzirom na različitu godišnju količinu robe, da je različito i vreme čekanja na obradu, kako ukupnog, tako i prosečnog po jednim kolima.

Primenom formula za proračun (2) i (3), za slučaj da su neophodne dve, odnosno tri dostave u toku 24 časa, ukupno vreme zadržavanja kola na industrijskom koloseku se smanjuje. Međutim, to utiče na povećanje troškova dostave, dok se istovremeno

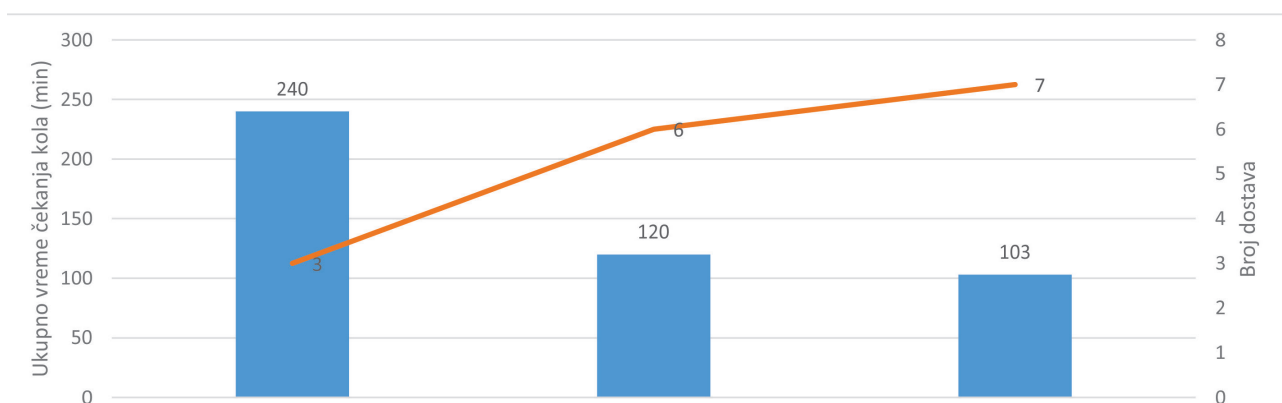
smanjuju troškovi čekanja na proces formiranja vozova (nakupljanje kola). Na slici 13 prikazana je zavisnost vremena čekanja kola na dostavu u odnosu na broj dostava u toku 24 časa u stanici Vršac.



Slika 11. – Ukupno vreme čekanja kola na dostavu na industrijski kolosek



Slika 12. – Odnos godišnjeg obima i vremena čekanja na obradu



Slika 13. – Vreme čekanja kola na dostavu i potreban broj dostava

Na osnovu proračuna, može se zaključiti da se za do osam dostava uštede veće od troškova, i da nije isplativo uzimati u obzir devet i više dostava. Naime, ako bi se za prognozirani godišnji obim transporta tehnologija dostava planirala sa devet dostava, troškovi bi prevazišli prihode.

Proračun za analizu osetljivosti na veličinu prognoziranih obima transporta robe preko luke i logističkog centra vršen je za godišnji obim transporta od 300.000 t, 600.000 t i 700.000 t. Rezultati su prikazani na slici 13 za pretpostavljenu prosečnu masu robe po kolima od 15 t. Takođe, vremena

čekanja kola na dostavu pokazuju da je najduže vreme čekanja kola na dostavu je pri najmanjoj količini godišnjeg transporta. Sličnu zavisnost pokazuje i vreme čekanja za obradu svake grupe kola. Na primer, za godišnji obim od 400.000 t srednje vreme čekanja na obradu kola iznosi oko 45 minuta. Utvrđeno je da je potrebno vreme za izvršenje operacija formiranje voza potrebno 110 minuta, dok je za rasformiranje voza potrebno 80 minuta.

6. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljen analitičko-simulacioni model proračuna broja dostava, vremena čekanja i troškova dostava na koloseke intermodalnog terminala (logističkog centra) na primerima projektovanih terminala u Logističkom centru Vršac i Luci Apatin. Dobijeni rezultati ukazuju da sa povećanjem broja dnevnih dostava smanjuju se troškovi zadržavanja kola i povećavaju troškovi rada lokomotive. U zavisnosti od godišnjeg obima transporta robe koji se obavlja u terminalu može da se definiše optimalan (potreban) broj dostava kola na utovarno-istovarne koloseke terminala. Takođe, predložen je (za konstantni godišnji obim transporta) prihvatljiv broj dostava dnevno koji zadovoljava pozitivan odnos uštede i troškova. Primenjeni analitičko-simulacioni model može da se koristiti za definisanje tehnologije rada za slične sisteme sa industrijskim kolosecima. Rentabilnost rada na industrijskim kolosecima nema za cilj samo tačno određivanje naknade za dostavu kola, već više ciljeve bitnih za železnički robni saobraćaj:

- korektan odnos prema vlasnicima koji koriste industrijske koloseke i pri tom donose železnici 75% od ukupnog obima transporta,
- odobravanje i podrška izgradnje novih industrijskih koloseka,
- minimizacija troškova rada lokomotiva i troškova zadržavanja kola na terminalskim (industrijskim) kolosecima,
- doprinos smanjenju troškova poslovanja železničkih operatera,
- povećanje konkurentne sposobnosti železnice na transportnom tržištu,

- smanjenje učešća transportnih troškova u cenama proizvoda.

LITERATURA

- [1] M. Čičak, S. Vesković, (2005). Organizacija železničkog saobraćaja 2, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd
- [2] G. Stojić, I. Tanackov, S. Vesković, S. Milinković, D. Simić (2009), Modelling evaluation of railway reform level using fuzzy logic, Intelligent Data Engineering and Automated Learning-IDEAL 2009: 10th International Conference, Burgos, Spain, September 23-26, 2009. Proceedings 10, pp 695-702, Springer Berlin Heidelberg.
- [3] G. Stojić, S. Vesković, I. Tanackov, S. Milinković (2012) - Model for railway infrastructure management organization, Promet - Traffic&Transportation, Vol. 24, pp. 99-107 2012.
- [4] S. Vesković, M. Čičak, S. Milinković - Modelling and optimising the plan of making up freight trains with application WCTR 2004, 4.7.-8.7.2004. Istanbul, Turska.
- [5] I. Belošević, S. Milinković, P. Marton, S. Vesković, M. Ivić, A fuzzy group decision making for a rail-road transshipment yard micro location problem - MATEC Web of Conferences, MATEC Web of Conferences 235, 00019 (2018) Horizons of Railway Transport 2018 https://doi.org/10.1051/mateconf/20182235_0_201_835000_00.
- [6] Čičak M. (2003). Modeliranje u železničkom saobraćaju, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd.
- [7] G. Stojić, S. Vesković, M. Čičak, Modelling technologies and capacities of technical freight stations, ŽELEZNICE, br. 7-8, str. 207-219,
- [8] Zečević S., Vesković S., et al. (2015). "Feasibility study for Logistic Centre and Intermodal Terminal at Vrsac", University of Belgrade - Faculty of Traffic and Transport Engineering, (EU IPA),
- [9] S. Vesković i dr. (2015). Prethodna studija opravdanosti sa generalnim projektom izgradnje Luke u opštini Apatin. Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Institut Saobraćajnog fakulteta, Beograd.