

# Eksploatacijska analiza suvremene cestovno-željezničke tehnologije prijevoza Modalohr

---

Šašo, Kristijan

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:795345>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-19**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Kristijan Šašo

EKSPLOATACIJSKA ANALIZA SUVREMENE CESTOVNO-  
ŽELJEZNIČKE TEHNOLOGIJE PRIJEVOZA „MODALOHR“

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2020.

Zagreb, 11. ožujka 2020.

Zavod: **Zavod za transportnu logistiku**  
Predmet: **Integralni i intermodalni sustavi**

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 5528

Pristupnik: **Kristijan Šašo (0035198466)**  
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**  
Smjer: **Logistika**

Zadatak: **Eksploatacijska analiza suvremene cestovno-željezničke tehnologije prijevoza Modalohr**

Opis zadatka:

U radu će se prikazati važnost cestovno - željezničkih tehnologija za razvoj intermodalnih sustava, njihove definicije i podjela tehnologija, te prijevoznih sredstava. Analizirat će se i infrastruktura tehnologije Modalohr. Također, napraviti će se eksploatacijska analiza suvremene cestovno - željezničke tehnologije Modalohr na temelju kojih se donose zaključci prijevoznog učinka.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

prof. dr. sc. Jasmina Pašagić Škrinjar

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

**EKSPLOATACIJSKA ANALIZA SUVREMENE  
CESTOVNO-ŽELJEZNIČKE TEHNOLOGIJE  
PRIJEVOZA „MODALOHR“**

**EXPLOITATION ANALYSIS OF MODERN ROAD-RAIL  
TRANSPORT TECHNOLOGY „MODALOHR“**

Mentor: prof. dr. sc. Jasmina Pašagić  
Škrinjar

Student: Kristijan Šašo

JMBAG: 0035198466

Zagreb, rujan 2020.

## **SAŽETAK:**

Cestovno – željezničke tehnologije transporta su tehnologije u kojima se roba jednim dijelom puta prevozi cestom, a drugim dijelom puta, ujedno i najvećim, željeznicom. Ovim tehnologijama se dio cestovnog vozila ili kompletno cestovno vozilo utovara na željeznički vagon vertikalno uz pomoć dizalice ili horizontalno. U takvu tehnologiju spada „Modalohr“ koji koristi bočni ukrcaj gdje se kamion samostalno ukrcava na željezničke vagone bez potrebe za dodatnom opremom. U radu će se analizirati prijevozni učinak „Modalohr“ tehnologije i usporedba prema eksploatacijskim značajkama s drugim cestovno–željezničkim tehnologijama. Infrastruktura „Modalohr“ tehnologije je jednostavna i sastoji se od željezničkog kolosijeka i asfaltiranom površinom pored nje. Radi lakšeg ukrcaja koriste se plato vagoni sa okretnim postoljem koji prilikom bočnog okretanja dolaze u razinu asfalta te se omogućuje lak ukrcaj.

**KLJUČNE RIJEČI:** Cestovno–željezničke tehnologije; „Modalohr“; tehnologija; eksploatacijske značajke; infrastruktura

## **SUMMARY:**

Road to rail transport technologies are technologies which transport goods by road on one part of the road and use the rails to transport the other part of the goods, which is often the biggest part of the transport. By using these transport technologies, one part of the road vehicle or the whole road vehicle is being loaded on to the rail wagon vertically or horizontally using a crane. „Modalohr“ is one of those technologies and it uses overside loading, where the truck is loaded on the rail wagons without any need for additional equipment. This final work will be analyzing the transportation effect of „Modalohr“ technology and compare it with exploitation marks of other roads to train technologies. The infrastructure of „Modalohr“ technology is simple and it is consists of rail-road and asphalted road beside it. For easier loading access plato wagons with rotating mount are used, which come to the asphalt level and grants easy loading access.

**KEYWORDS:** Road - rail technologies; "Modalohr"; technology; exploitation features; infrastructure

# SADRŽAJ

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.    | UVOD .....   | 1  |
| 2.    | CESTOVNO-ŽELJEZNIČKE TEHNOLOGIJE .....                           | 2  |
| 2.1   | Huckepack .....  | 2  |
| 2.1.1 | Tehnologija A.....   | 2  |
| 2.1.2 | Tehnologija B.....   | 4  |
| 2.1.3 | Tehnologija C .....  | 5  |
| 2.2   | Bimodalni sustav .....   | 6  |
| 2.3   | Piggy back tehnologija .....                                     | 7  |
| 2.4   | CargoBeamer .....  | 8  |
| 2.5   | Modalohr tehnologija .....                                       | 9  |
| 3.    | PRIJEVOZNA SREDSTVA TEHNOLOGIJE „MODALOHR“ .....                 | 11 |
| 4.    | INFRASTRUKTURA TEHNOLOGIJE „MODALOHR“ .....                      | 15 |
| 4.1   | Aiton terminal (Chambéry, Francuska).....                        | 16 |
| 4.2   | Orbassano terminal (Turin, Italija).....                         | 17 |
| 4.3   | Le Boulou terminal (Perpignan, Francuska).....                   | 17 |
| 4.4   | Bettembourg terminal (Luksemburg).....                           | 18 |
| 4.5   | Port of Calais terminal (Calais, Francuska).....                 | 19 |
| 4.6   | Željezničke rute .....   | 19 |
| 5.    | EKSPLOATACIJSKE ZNAČAJKE CESTOVNO-ŽELJEZNIČKIH TEHNOLOGIJA ..... | 21 |
| 5.1   | Kapacitet vlaka .....  | 21 |
| 5.2   | Brzina pretovara .....   | 23 |
| 5.3   | Prostorni zahtjevi i troškovi ulaganja za objekte pretovara..... | 24 |
| 5.4   | Sustavni troškovi ispitivanih tehnologija .....                  | 26 |
| 6.    | ANALIZA PRIJEVOZNOG UČINKA „MODALOHR“ TEHNOLOGIJE.....           | 29 |
| 7.    | ZAKLJUČAK .....  | 33 |
|       | POPIS LITERATURE .....   | 34 |
|       | POPIS SLIKA .....  | 35 |
|       | POPIS TABLICA.....   | 36 |
|       | POPIS GRAFIKONA .....  | 37 |

# 1. UVOD

U ovom završnom radu biti će obrađena tema eksploatacijska analiza suvremene cestovno–željezničke tehnologije prijevoza Modalohr. Cilj završnog rada je analizirati eksploatacijske karakteristike Modalohr tehnologije i usporediti ih s ostalim cestovno–željezničkim tehnologijama. Tijekom analize prikazivati će se prednosti i nedostaci cestovno–željezničkih tehnologija, ekonomičnost, infrastruktura i prijevozni učinak Modalohr tehnologije. Biti će prikazana usporedba eksploatacijskih značajki cestovno–željezničkih tehnologija između postojećih tehnologija i novih tehnologija Modalohr i CargoBeamer.

Rad je strukturiran u šest poglavlja. U prvom poglavlju su prikazane najčešće korištene cestovno–željezničke tehnologije transporta, njihove glavne karakteristike, prednosti i nedostaci.

Drugo poglavlje odnosi se na prijevozna sredstva Modalohr tehnologije, u ovom slučaju su to posebni niskopodni vagoni koji svojim zakretanjem omogućavaju bočni ukrcaj. U ovom poglavlju će biti opis specifičnih karakteristika tih istih vagona.

U trećem poglavlju prikazana je infrastruktura Modalohr tehnologije koju čine terminali i odgovarajući kolosijeci postojeće željezničke mreže. Terminal se sastoji od kolosijeka i okolo asfaltirane površine. Postoji pet terminala koji omogućavaju Modalohr tehnologiju. U ovom poglavlju se prikazuju i glavni prometni pravci.

U četvrtom poglavlju je usporedba eksploatacijskih značajki cestovno–željezničkih tehnologija. Uspoređivati će se Modalohr sa postojećim i CargoBeamer tehnologijama prema određenim značajkama.

U petom poglavlju je analiza prijevoznog učinka. Analizirati će se postojeće tehnologije, Modalohr tehnologija i Cargobeamer tehnologija. Na kraju analize je prikazano najpovoljnije rješenje.

U šestom poglavlju je zaključak u kojem je sažeta misao Završnog rada.

## 2. CESTOVNO-ŽELJEZNIČKE TEHNOLOGIJE

Cestovno-željezničke tehnologije omogućavaju prijevoz cestovnih vozila ili dijelova (prikolica, poluprikolica i izmjenjivih kamionskih sanduka) sredstvima željezničkog prijevoza. Najčešće korištene cestovno-željezničke tehnologije u intermodalnom transportu su [1]:

- Huckepack,
- Bimodalni sustav,
- Piggy back,
- Cargobeamer,
- Modalohr.

### 2.1 Huckepack

Pod pojmom huckepack sustav podrazumijeva se kombinirani cestovno-željeznički prijevoz, pri čemu se cestovna vozila (kamioni, cestovna teretna vozila, poluprikolice) ili dijelovi vozila (prikolice, sedlaste prikolice, izmjenjivi transportni sanduci) na jednom dijelu puta prevoze transportnim sredstvima željezničkog prijevoza.

Ciljevi huckepack tehnologije:

- povezivanje cestovnog i željezničkog prijevoza na brz, siguran i racionalan način bez pretovara tereta,
- optimizacija efekta cestovne i željezničke infrastrukture i suprastrukture,
- ubrzavanje manipulacija i prijevoza tereta u kombiniranom cestovno-željezničkom prometu.

#### 2.1.1 Tehnologija A

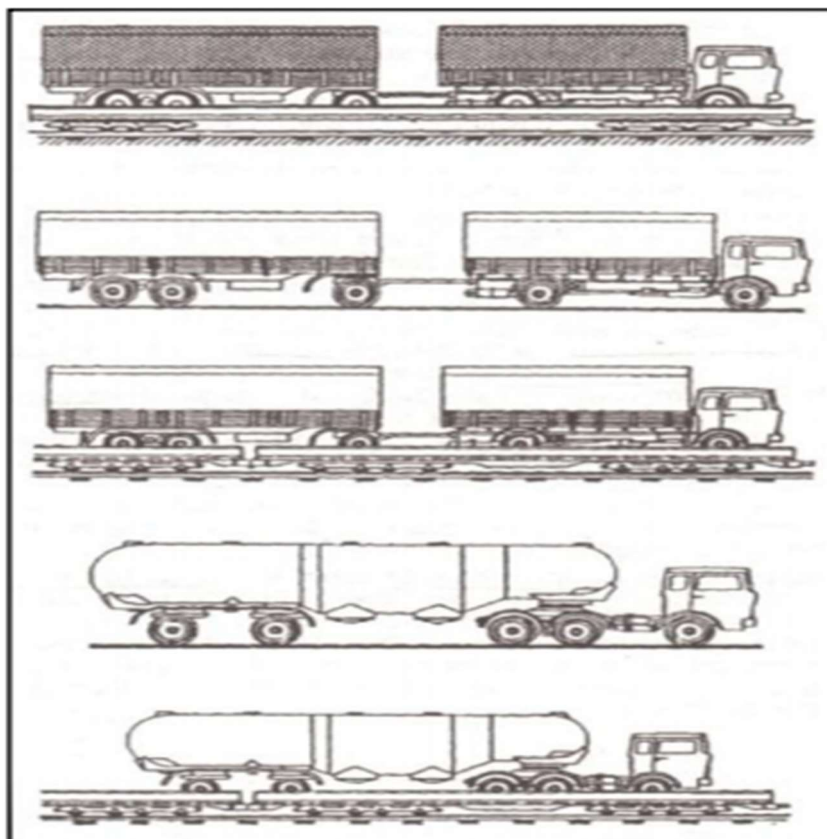
Za ovu tehnologiju je karakterističan utovar kamiona s prikolicom ili tegljača s poluprikolicom, natovarenih teretom, na željezničke vagone sa spuštenim podom. Utovar i istovar kompletnog cestovnog vozila obavlja se na specijalnim terminalima po sustavu tzv. horizontalne tehnologije (slika 1.). Tehnologiju A još nazivaju i tehnologija pokretne autoceste jer je bit te tehnologije u prijevozu kompletnih cestovnih vozila s teretom na željezničkim vagonima. Prednosti tehnologije A su [1]:



- znatno rasterećenje cestovnih prometnica, ušteda na pogonskom gorivu te zaštita okoliša smanjenjem štetnih plinova i buke,
- djelotvorno uključivanje cestovnih poduzeća u sustav bez skupog prilagođavanja voznog parka,
- kratko vrijeme čekanja na pretovar u ovom sustavu prometa u odnosu na tehnologiju B i C,
- horizontalni utovar i istovar je ekonomični od vertikalnog.

Neki od nedostataka ove tehnologije jesu [1]:

- angažman vrlo velikog početnog kapitala za izgradnju terminala, utovarno-istovarnih rampi i specijalnih željezničkih vagona,
- veliki dio mrtve mase (vučnog vozila) u neto težini korisnog tereta (74%),
- onemogućen prijevoz cestovnih teretnih vozila s maksimalnom dopuštenom visinom od četiri metra unatoč primjeni vagona sa spuštanim podom.



**Slika 1. Tehnologija A**

Izvor: [1]

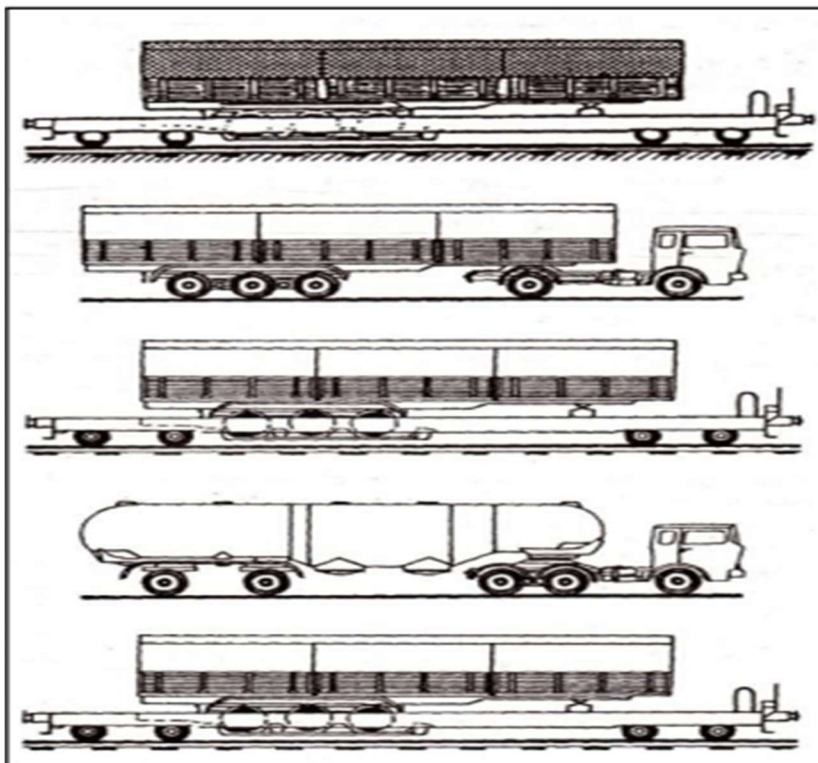
### 2.1.2 Tehnologija B

Tehnologijom B (slika 2.) obuhvaćen je prijevoz prikolica i poluprikolica bez vučnog vozila i voznog osoblja. Utovar i istovar se može obavljati po sustavu horizontalne tehnologije ili posebnom dizalicom po sustavu vertikalne tehnologije. Ovaj način ima niz prednosti [1]:

- troškovi infrastrukture terminala su minimalni,
- od mehanizacije potreban je samo tegljač za utovar ili istovar,
- racionalnije korištenje voznog parka upotrebom većeg broja prikolica.

Tehnologija B u odnosu na tehnologije A i C ima određene nedostatke [1]:

- tehnologija B koristi željezničke vagone sa spuštenim podom pa se time poskupljuje konstruiranje i održavanje tih vagona,
- prijevoz poluprikolica gotovo je onemogućen u gradskom prometu zbog njihove duljine,
- pretovar zahtijeva više vremena nego pretovar kod tehnologije A.



Slika 2. Tehnologija B

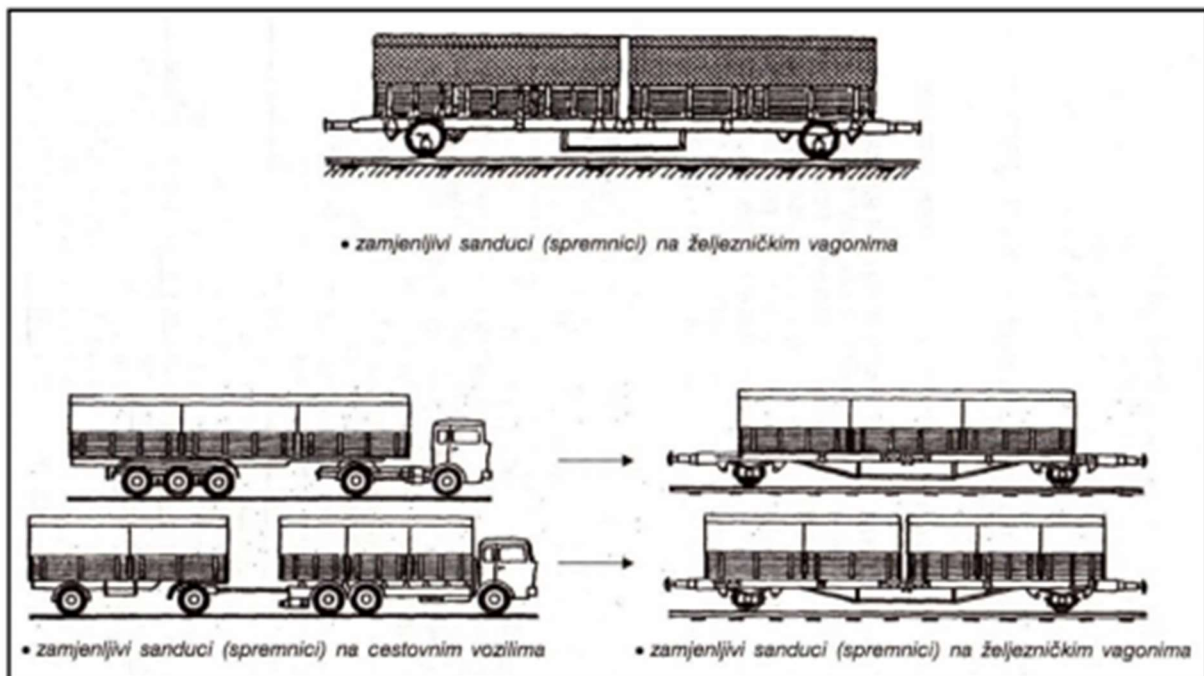
Izvor: [1]

### 2.1.3 Tehnologija C

Za ovu tehnologiju je karakterističan utovar i istovar specijalno izrađenih zamjenjivih i standardiziranih sanduka sličnih kontejnera po sustavu vertikalne tehnologije na kontejnerske željezničke vagonne (slika 3). Utovar i istovar sanduka s teretom obavlja se na terminalima pomoću specijalnih dizalica. Neke od značajki tehnologije C su [1]:

- zamjenjivi sanduci mogu se prevoziti specijalnim i plato-vagonima normalne konstrukcije,
- potpuno iskorištavanje kapaciteta prijevoznih sredstava,
- relativno skupa oprema za kamione i prikolice,
- primjena cestovnih prijevoznih sredstava s relativno niskim podom zbog ograničenja maksimalno dopuštene visine vozila,
- zamjenjivi sanduci konstruirani su tako da se mogu koristiti i u kontejnerskom prometu.

Udio mrtve mase u ukupnoj težini je minimalan u odnosu na ostale tehnologije i iznosi oko 10%. Upotreba ove tehnologije zahtijeva ulaganje većih financijskih sredstava u terminale koji daju određene efekte samo kod velikog obujma prijevoza.



Slika 3. Tehnologija C

Izvor: [1]

## 2.2 Bimodalni sustav

Bimodalna tehnologija predstavlja noviju tehnologiju kombiniranog transporta cesta-željeznica koja je razvijena u SAD-u pod nazivom Mark IV, Mark V i Mark V SST Road Railer. Karakteristika bimodalne tehnologije je sustav poluprikolica s mogućnošću izmjene platforme. Poluprikolice imaju i željezničke kotače koji se aktiviraju ovisno o tome kreće li se vozilo željeznicom ili cestom. [2]

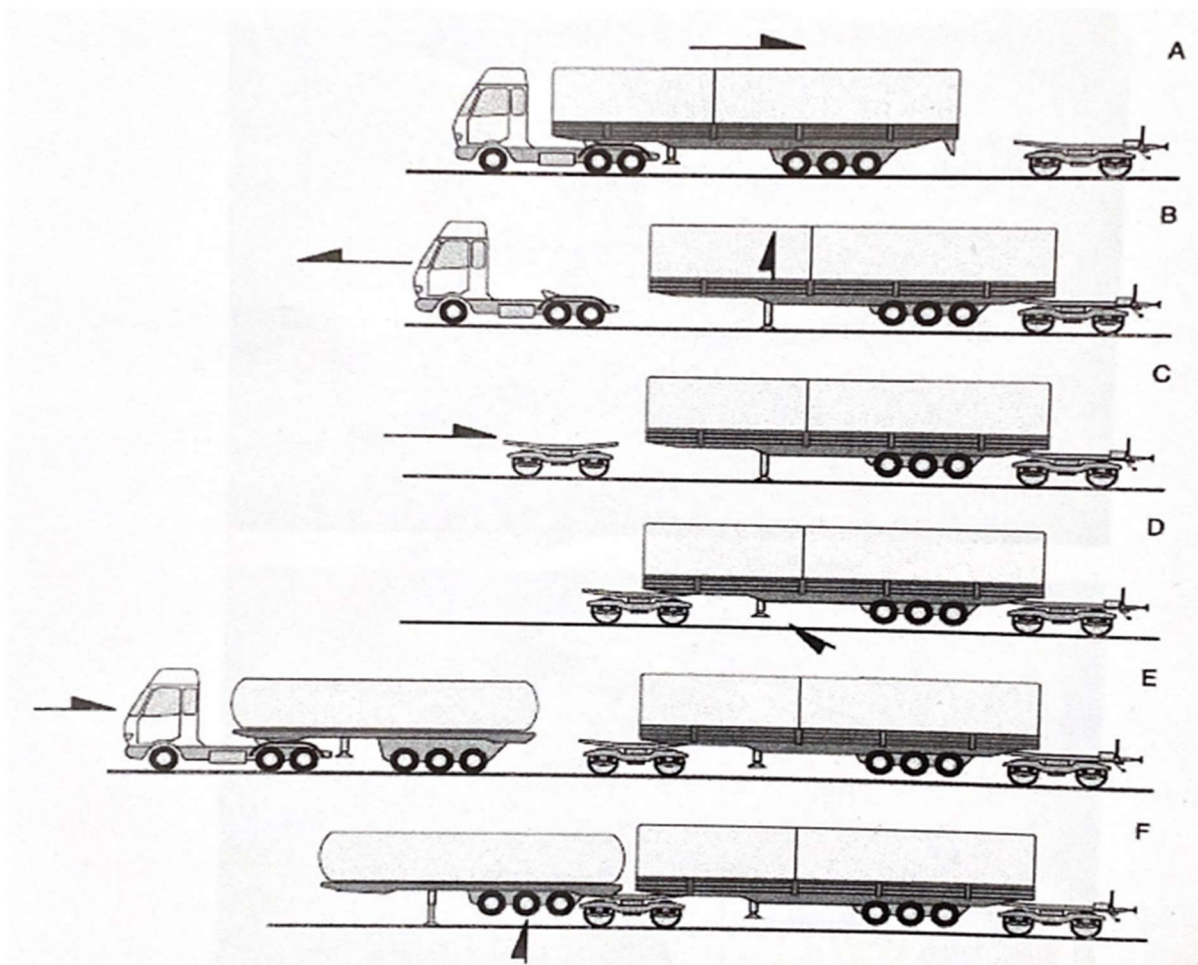
Druga bimodalna tehnologija (slika 4) je razvijena u Velikoj Britaniji pod nazivom Tiger Rail-Trailer Train. U toj varijanti cestovno-željezničke poluprikolice imaju pojačanja na donjim čeličnim stranama s odgovarajućim mehanizmima za pričvršćenje na posebna dvoosovinska željeznička podvozja neovisna o poluprikolicama u vožnji cestovnim prometnicama.[2]

Treća bimodalna tehnologija umjesto posebnih cestovnih poluprikolica koristi kontejnerske poluprikolice. Ta tehnologija se najviše koristi u SAD-u, zapadnoeuropskim zemljama i Australiji.[2]

Prednosti bimodalne tehnologije očituju se u sljedećem[2]:

- manja mrtva masa u odnosu na huckepack tehnologiju,
- relativno brza promjena cestovne prikolice u željezničko vozilo,
- uključivanje bimodalnih željezničkih sustava u klasične željezničke kompozicije je lakše,
- nepotrebno korištenje posebnih rampi prilikom promjene platforme,
- mogućnost primjene u područjima s relativno nerazvijenom prometnom infrastrukturom,
- gabariti poluprikolica i vozila bimodalne tehnologije omogućuju nesmetan promet na svim europskim željeznicama,
- smanjen utjecaj na ekološka zagađenja.

Najveći nedostatak i neriješeni problem bimodalne tehnologije je nedovoljna izdržljivost i otpornost šasije cestovne poluprikolice na dinamične sile koje se javljaju prilikom prijevoza željeznicom, kao i velika mrtva masa cestovne poluprikolice. Sljedeći problem je nedostatak jedinstvenog standarda kod izrade poluprikolica i sustava promjene podvozja što onemogućuje nesmetan međunarodni promet. [2]



**Slika 4. Rail-Trailer bimodalna tehnologija**

Izvor: [3]

### **2.3 Piggy back tehnologija**

Piggy back (slika 5) tehnologija prijevoza je prijevoz cestovnih teretnih vozila na standardiziranim željezničkim vagonima. Ovu vrstu tehnologije karakterizira vertikalni utovar tereta, odnosno poluprikolica. Prednost ove tehnologije je njezina univerzalnost jer se može izvoditi na bilo kojem terminalu koji ima dizalicu. Glavni nedostaci ove tehnologije su potrebne skupe dizalice za pretovar i to što se natovarenim prikolicama na željezničkim vagonima znatno povećava visina samog željezničkog vozila. Jedno od rješenja ovog problema je konstrukcija željezničkih vagona sa udubljenjima za kotače poluprikolica čime se znatno smanjuje visina ili korištenje poluprikolica sa mogućnošću rastavljanja kotača pri čemu se poluprikolica za vrijeme putovanja zapravo pretvara u kontejner.[4]



**Slika 5. Piggy back tehnologija**

Izvor: [5]

## 2.4 CargoBeamer

CargoBeamer (slika 6) je inteligentni sustav rukovanja koji se sastoji od upravljačkih jedinica i teretnih vagona s mobilnim bazama. Uz njihovu pomoć poluprikolice bilo koje vrste mogu se utovariti za nekoliko minuta. Prednosti CargoBeamer tehnologije su [6]:

- sve poluprikolice, prikolice, cisterne, silose i hladnjače su prikladne za željeznice,
- pomoću CargoBeamer-a se u samo 15 minuta izvrši utovar i istovar vlaka s 36 poluprikolica,
- CargoBeamer štedi vrijeme i troškove koji odlaze na osoblje,
- CargoBeamer štiti okoliš sa smanjenom emisijom CO<sub>2</sub> i niskom potrošnjom energije,
- također može raditi s dizalicama na uobičajenim terminalima,
- može besprijekorno raditi s „mješovitim vlakovima“ i ostalim teretnim vagonima,
- automatski se prebacuje na ruske i španjolske željeznice i obrnuto.

Rad CargoBeamera može se usporediti s prijevozom putnika. CargoBeamer preuzima poluprikolicu s kamiona zatim se izvršava transport željeznicom, da bi ju preuzeo kamion poput putnika koji nakon prijevoza željeznicom koristi taksi za daljnji transport. Učitavanje se vrši automatski, pouzdano, brzo i bez vremena čekanja jer se sve odvija paralelno. Poput taksija vozači kamiona dovode svog putnika (prikolicu, poluprikolicu, cisternu ili silos) na terminal CargoBeamer. Tamo se smješta na bazu vagona kako bi pričekala da se na nju stavi korito koje se naknadno utovaruje na vagone.[6]

Kamion može ostaviti poluprikolicu te odmah napustiti terminal. Kamion i vlak su potpuno neovisni jedan o drugom. U CargoBeameru nema čekanja te je odmah nakon isporuke vozač kamiona slobodan za novi posao u prijevozu i može transportirati poluprikolicu koja je već stigla na terminal. Na taj se način efikasnije koriste kamioni, a prijevozničke tvrtke povećavaju svoju produktivnost.[6]



**Slika 6. Prikaz CargoBeamer paralelnog utovara i istovara**

Izvor: [7]

## **2.5 Modalohr tehnologija**

Modalohr tehnologiju je razvila Francuska kompanija Modalohr. „Modalohr“ koncept zasniva se na tehnologiji bočnog prekrcaja (slika 7). Tehnologija se zasniva na niskoj platformi željezničkih vagona na kojima se transportiraju standardne poluprikolice. Željeznički vagoni s okretnim hidrauličnim platformama i ukrcajno-iskrcajnim rampama omogućuju povezivanje s Ro-Ro tehnologijom. Ovom tehnologijom mogu se prevoziti [1]:

1. Kompletna cestovna vozila (vučeno cestovno vozilo + poluprikolica)
2. Samo poluprikolice.



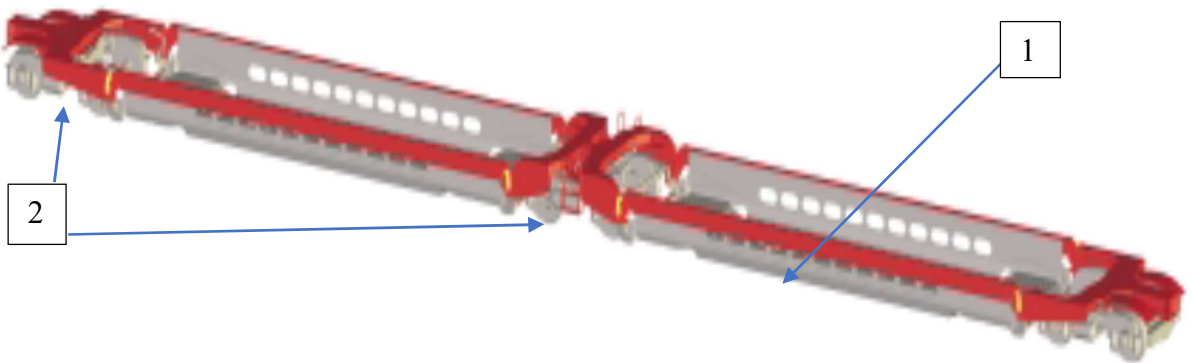
**Slika 7. Bočni ukraj pomoću Modalohr tehnologije**

Izvor : [8]



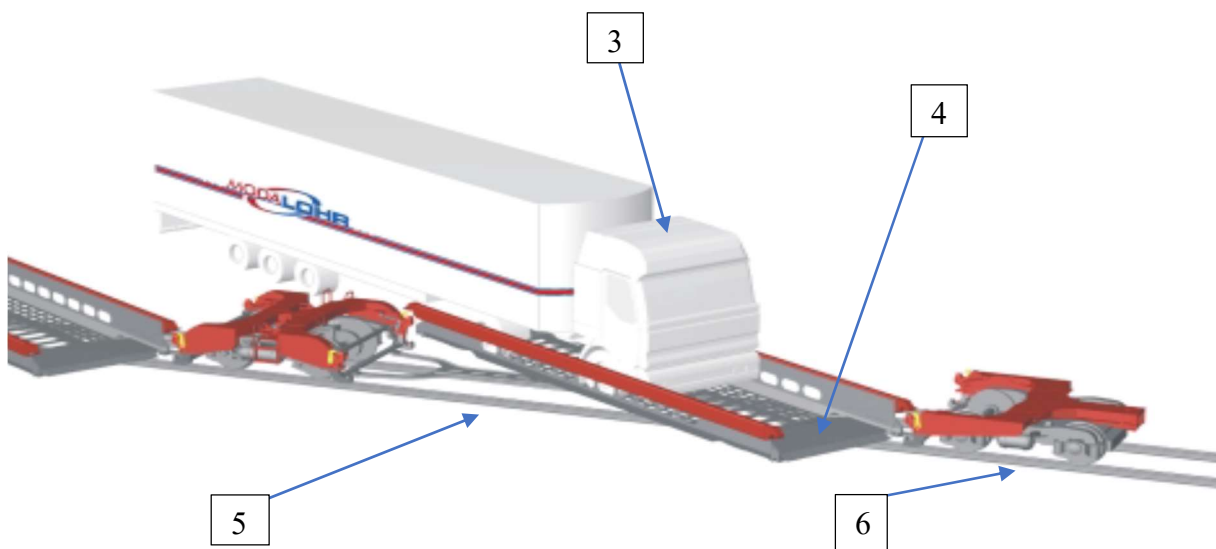
### 3. PRIJEVOZNA SREDSTVA TEHNOLOGIJE „MODALOHR“

Prijevozna sredstva Modalohr tehnologije su višedijelni vagoni (dvodijelni ili trodijelni) s tovarnom površinom koja se može zakretati s ciljem bočnog ukrcaja. Karakterizira ga veoma niska tovarna površina smještena svega 10 do 18 cm gornjeg ruba tračnice. Na slikama 8a i 8b prikazane su značajke „Modalohr“ vagona.



Slika 8a. „Modalohr“ vagon

Izvor: [9]



Slika 8b. „Modalohr“ vagon

Izvor: [9]

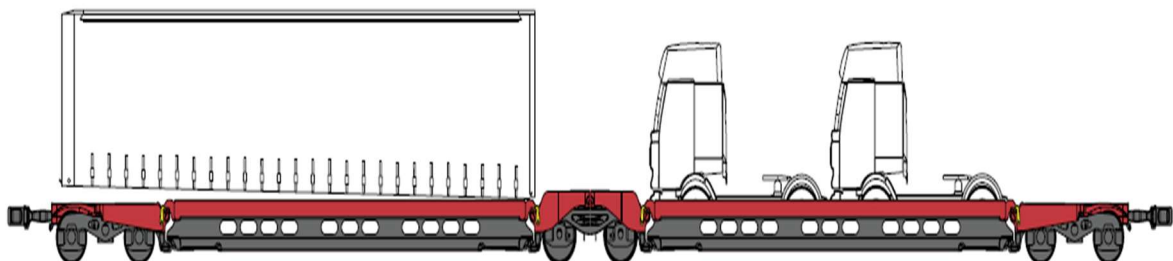
Brojčani zapisi slike 8a i 8b prikazuju sljedeće [9]:

1. Nisko utovarna platforma omogućava utovar četiri metara visoke kamione i zahtijeva profil pruge UIC GB1 (Oznaka utovarnog profila kolosijeka koja se odnosi na stvaranje paneuropske mreže transporta tereta za ISO kontejnere i prikolice s natovarenim ISO kontejnerima. Statički referentni profil ima dimenzije 3150 mm za širinu kolosijeka i 4320 mm za visinu, dok kinetički referentni profil ima dimenzije 3290 mm za širinu i 4350 za visinu.)
2. Obrtna postolja standardne konstrukcije, s kotačima promjera 840 do 920 mm, znatno smanjuju cijenu vagona i cijenu servisiranja vagona
3. Poluprikolica se može utovariti horizontalno i direktno uz pomoć kamiona (bez podizanja)
4. Bočno opterećivanje postolja za istovremeni brz utovar kamiona
5. Potpuno mehanički sustav, za artikulaciju i otvaranje vagona na vrlo jednostavan način i uz to pruža izvrsnu pouzdanost i niske troškove
6. Jednostavan i jeftin terminal za pretovar koji se sastoji od asfaltiranih područja s obje strane kolosijeka

Modalohr tehnologijom se mogu prevoziti [9]:

1. Kompletna cestovna vozila (vučeno cestovno vozilo + poluprikolica) prikazano na slici 9a

Prvo se rastavi vučno vozilo od poluprikolice; poluprikolica se utovara na jedan vagon, dok se cestovno vučno vozilo utovara na drugi dio vagona zajedno s vučnim vozilom sljedeće poluprikolice. Pri tome vozači obavljaju samo jedan jednostavan manevar. Karakteristike takvog prijevoza prikazane su u tablici 1.



**Slika 9a. Prijevoz kompletnih vozila „Modalohr“ tehnologijom**

Izvor: [9]

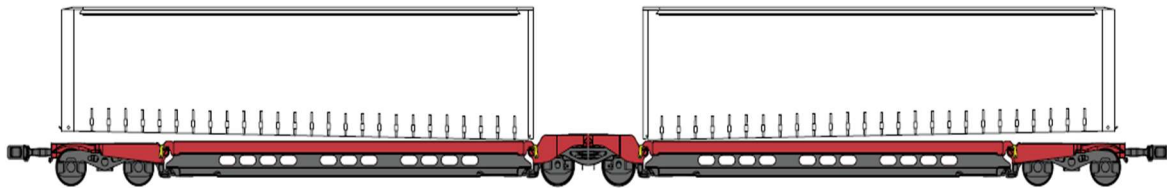
**Tablica 1. Prikaz karakteristika prijevoza kompletnih cestovnih vozila tehnologijom Modalohr**

|   |        |
|---|--------|
| <b>Maksimalna duljina cestovnog konvoja</b>     | 16,5 m |
| <b>Maksimalna duljina poluprikolice</b>         | 13,7 m |
| <b>Maksimalna duljina cestovnog traktora</b>    | 6,2 m  |
| <b>Maksimalno opterećenje cestovnog konvoja</b> | 44 t   |

Izvor: [9]

## 2. Samo poluprikolice (slika 9b)

Nakon navoženja sedlaste prikolice na Modalohr vagon, obavlja se njeno rastavljanje od cestovnog tegljača, poslije čega on ostaje slobodan za tegljenje druge sedlaste prikolice, dok se utovarena poluprikolica transportira vlakom. Karakteristike takvog prijevoza prikazane su u tablici 2.



**Slika 9b. Prijevoz samo poluprikolica tehnologijom „Modalohr“**

Izvor: [9]

**Tablica 2. Karakteristike prijevoza samo poluprikolica tehnologijom „Modalohr“**

|   |        |
|---|--------|
| <b>Maksimalna duljina poluprikolice</b>     | 13,7 m |
| <b>Maksimalno opterećenje poluprikolice</b> | 38 t   |

Izvor:[9]

Postoje dvije vrte vagona koji se koriste u „Modalohr“ tehnologiji pod nazivima Y 25 koji se nalazi u središtu niza vagona i Y 33 koji se nalaze na kraju vlaka. Vagon Y25 ima promjer kotača 920 mm, međuosovinski razmak 1800 mm i maksimalno opterećenje po osovini do 22,5 t/osovini. Vagon Y 33 ima promjer kotača 840 mm, međuosovinski razmak 2000 mm

i maksimalno opterećenje po osovini do 17 t/osovini [9]. Zajedničke tehničke karakteristike Modalohr vagona su prikazane u tablici 3.

**Tablica 3. Tehničke karakteristike „Modalohr“ vagona**

|   |          |
|---|----------|
| Duljina dvostrukog vagona                           | 32,48 m  |
| Težina dvostrukog vagona                            | 37,5 t   |
| Udaljenost između krajnjih točaka okretnih postolja | 14,4 m   |
| Maksimalna brzina pri maksimalnom opterećenju       | 120 km/h |

Izvor: [9]

Da bi se jamčila pouzdanost, smanjila nabava i troškovi održavanja željezničkog vozila, na vagonima nema motora za pokretanje vagona. Vagoni se pokreću jednostavnim mehaničkim jedinicama. [9]

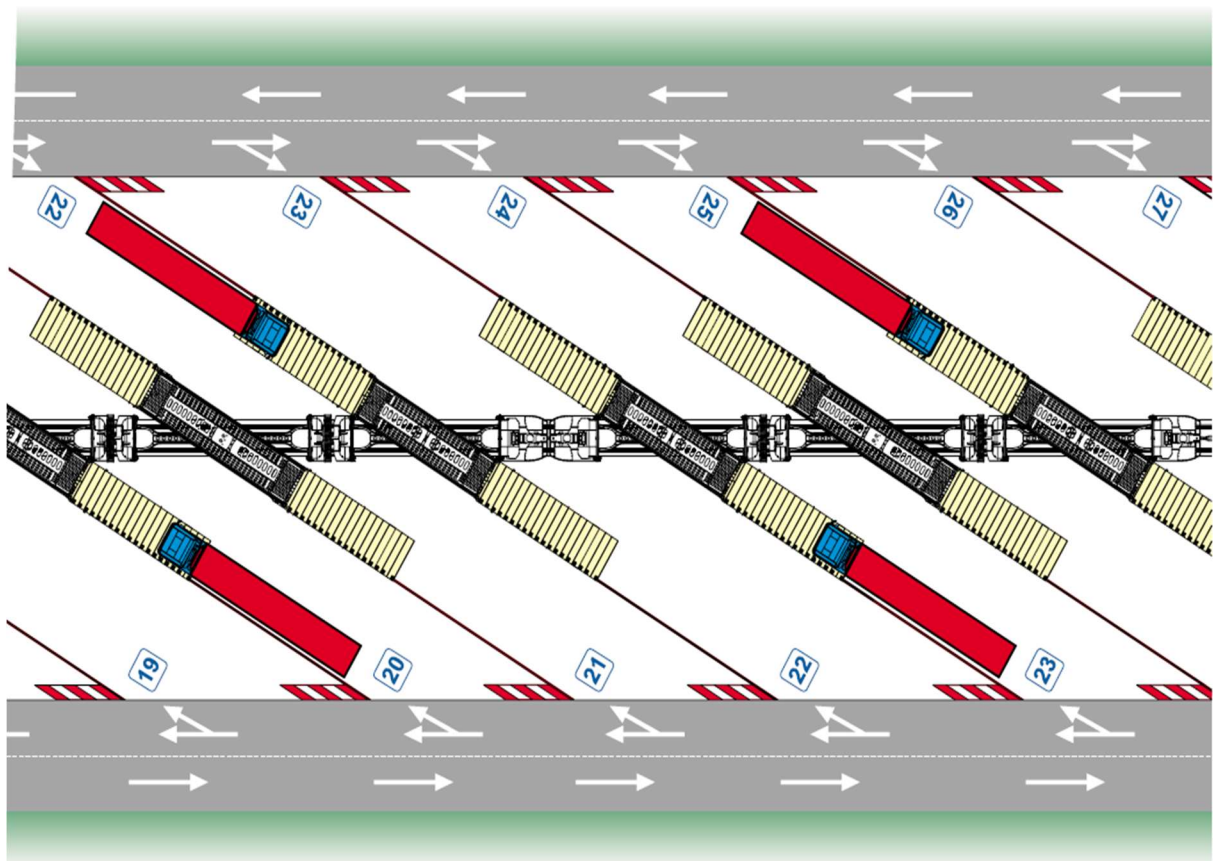
Sustavi za otvaranje vagona dio su stalne opreme na terminalima. To je u skladu s ekonomskom logikom jer postoji mnogo više vagona nego terminala. Također je puno jednostavnije održavanje opreme učvršćene na jednom mjestu nego sustave montirane na vagonu. Ovi sustavi za otvaranje sastoje se od jednostavnih, isprobanih i provjerenih komponenti. Njima upravlja operativno osoblje koji prate operacije pretovara kamiona.

Svaki vagon opremljen je sigurnosnom bravom koja jamči da vagon ostaje zatvoren dok se kreće prugom. Kada se vlak zaustavi, vagoni se centriraju u pozicije gdje se vagoni otvaraju. Da bi se vagoni zatvorili, operacija se odvija u obrnutom slijedu. Kada osoblje na terminalu otključaju vagonu, vagoni se posebnom opremom okreću za bočni istovar. Kamioni tada su neopterećeni i mogu se istovariti.[9]

## 4. INFRASTRUKTURA TEHNOLOGIJE „MODALOHR“

Utovar i istovar kamiona na željezničke vagone „Modalohr“ odvija se na posebnim pretovarnim terminalima. S obzirom na količinu prometa kamiona terminali se grade izvan urbanih područja u blizini autocesta. „Modalohr“ terminal ja vrlo jednostavan i ekonomičan, jer se sastoji od željezničkog kolosijeka sa asfaltiranom površinom sa svake strane, gotovo na istoj razini kao i kolosijek. Zbog toga nema potrebe za ugradnju dizalica. Pod za utovar vagona je vrlo nizak i kamioni se mogu sami utovariti na vagone. „Modalohr“ vagon se u potpunosti može natovariti i istovariti za pola sata. [9]

Korištenjem bočnog utovara herring-bone, kamioni se mogu pretovariti potpuno neovisno od ostalih kamiona. Svi kamioni se mogu istovariti ili utovariti istovremeno tako da se može ukrcati 30 kamiona jednakom brzinom (slika 10). Manevri koje vozač mora izvršiti su jednostavni i brzi.



Slika 10. Prikaz načina utovara i istovara kamiona na „Modalohr“ terminalu

Izvor: [9]

Trenutno u Europi postoji 5 operativnih terminala s Modalohr tehnologijom [10]:

1. Aiton terminal (Chambéry, Francuska)
2. Orbassano terminal (Turin, Italija)
3. Le Boulou terminal (Perpignan, Francuska)
4. Bettembourg terminal (Luksemburg)
5. Port of Calais terminal (Calais, Francuska)

#### **4.1 Aiton terminal (Chambéry, Francuska)**

Terminal Aiton otvoren je 2003. godine, a trenutno ga posjeduje i upravlja s njim kompanija Autoroute Ferroviaire Alpine. Opremljen je sustavom Modalohr na jednoj stazi duljine 500 metara i ukupnom površinom od 20 000 kvadratnih metara (slika 11).[10]



**Slika 11. Aiton terminal**

Izvor: [10]

## 4.2 Orbassano terminal (Turin, Italija)

Orbassano terminal je također otvoren 2003., u vlasništvu je RFI, a upravlja tvrtka Terminali Italia SRL. Opremljen sustavom Modalohr, djeluje na površini od 50 000 kvadratnih metara (Slika 12).[10]



**Slika 12. Orbassano terminal (Turin, Italija)**

Izvor: [10]

## 4.3 Le Boulou terminal (Perpignan, Francuska)

Terminal Le Boulou koristi se od 2007. godine, a trenutno ga vodi Amborgio. To je multimodalni terminal opremljen sustavom Modalohr s radnom površinom od 90 000 m<sup>2</sup> (slika 13).[10]



**Slika 13. Le Boulou terminal (Perpignan, Francuska)**

Izvor: [10]

#### **4.4 Bettembourg terminal (Luksemburg)**

Bettembourg terminal je također otvoren 2007. godine. Njegov sustav ima ukupni kapacitet za rukovanje 45.000 poluprikolica godišnje. Željezničku vezu čine Antwerpen, Lubeck, Helsingborg, Le Boulou, Milano i Trst. Trenutačno upravlja CFL multimodal kompanija (slika 14).[10]



**Slika 14. Bettembourg terminal**

Izvor: [10]



#### 4.5 Port of Calais terminal (Calais, Francuska)

Ovaj terminal, kojeg je izgradila luka Calais, osmišljen je za promet bez pratnje poluprikolica i povezuje trajekte koji idu u i iz Engleske, otvoren je 23. listopada 2015. Ukupni troškovi izgradnje bili su oko sedam milijuna eura. Novi bi terminal trebao postati sjeverna željeznička linija koja pruža uslugu do Le Bouloua, u blizini španjolskog ukrcaja, kojim upravlja podružnica SNCF VIIA. Procijenjeni kapacitet je oko 40 000 poluprikolica godišnje (slika 15).[10]



Slika 15. Port of Calais terminal (Calais, Francuska)

Izvor: [10]

#### 4.6 Željezničke rute

Svaki prijevoznik koji koristi Modalohr tehnologiju može odabrati rute koje mu najviše odgovaraju. Europa gradi željezničku mrežu sa čvorištima gdje se nalaze Modalohr terminali na rutama istok-zapad i sjever-jug. Ova ideja se temelji na tome da svaki puta kada se otvori novi Modalohr terminal na željezničkoj mreži, prijevoznik ima mogućnost promijeniti rutu. Na slici 16 prikazana je željeznička mreža vezana za Modalohr tehnologiju.[9]



Slika 16. Karta željezničke mreže Europe

Izvor: [9]

Plavom bojom su označene pruge koje su kompatibilne za „Modalohr“ tehnologiju. Te pruge koriste profil GB1. Žutom bojom su označene pruge koje su kompatibilne i izgrađene 2006 godine. Crvenom bojom su označene dionice koje nedostaju. Crnom bojom označene pruge ne zadovoljavaju standard za „Modalohr“.

## 5. EKSPLOATACIJSKE ZNAČAJKE CESTOVNO-ŽELJEZNIČKIH TEHNOLOGIJA

Za usporedbu eksploatacijskih značajki cestovno-željezničkih tehnologija pretpostavlja se da će svaka tehnologija biti raspoređena u poseban sustav. To znači da bi relevantni sastavni dijelovi, posebno oprema za pretovar i željeznički promet, bili dizajnirani isključivo za dotičnu tehnologiju i da neće biti miješanja s drugim cestovno-željezničkim tehnologijama. Ovaj zahtjev mora biti ispunjen kako bi se uspostavila jedinstvena osnova po kojoj se sustavi CargoBeamer i Modalohr mogu usporediti s današnjim cestovno-željezničkim tehnologijama.

Usporedba eksploatacijskih značajki cestovno-željezničkih tehnologija će biti između današnjih cestovno-željezničkih tehnologija (huckepack, bimodalna, piggy back) koje ćemo staviti pod jedan naziv postojeće tehnologije i uspoređivati će se sa Modalohr i CargoBeamer tehnologijama. Ključni usporedni pokazatelji eksploatacijskih značajki cestovno-željezničkih tehnologija su [6]:

- Kapacitet vlaka: broj prikolica koje se mogu prevoziti po vlaku,
- Brzina pretovara,
- Prostorni zahtjevi i troškovi ulaganja za objekte pretovara,
- Sustavni troškovi ispitivanih tehnologija.

### 5.1 Kapacitet vlaka

Kapacitet vlaka je maksimalno moguće opterećenje vlaka. Proračun kapaciteta izvršava se u tri faze. Prva faza je određivanje najvećeg broja poluprikolica koje se mogu premjestiti s pretpostavkom da je maksimalna masa vagona 1800 tona. Druga faza je provjera da li se ispunjavaju kapaciteti s maksimalnom postavljenom duljinom vagona od 700 metara ako se koriste specifični sustavni vagoni. To vrijedi za sve tehnologije. Maksimalni tehnički kapacitet vlaka za uključene tehnologije (tablica 4) [6]:

- Postojeće cestovno-željezničke tehnologije postižu najveći transportni kapacitet od 40 poluprikolica,
- „Modalohr“ tehnologija postižu kapacitet vlaka od 38 poluprikolica,

- CargoBeamer tehnologija ima najmanji kapacitet od 31 poluprikolica. To je izravna posljedica vrlo velike „mrtve“ mase specijalnih vagona.

**Tablica 4. Specifični vlastiti kapacitet vlaka prema maksimalnom dopuštenom kapacitetu vlaka**

| Tehnologija                  | Utovarne jedinice |              |             | Vagonska „mrtva“ masa | (utovarne jedinice + vagon) | Maksimalna masa vlaka | Broj utovarenih jedinica (po vlaku) |
|------------------------------|-------------------|--------------|-------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
|                              | Korisna nosivost  | „Mrtva“ masa | Ukupna masa |                       |                             |                       |                                     |
|                              | (Tone)            |              |             |                       |                             |                       |                                     |
| <b>Postojeća tehnologija</b> | 20                | 7,5          | 27,5        | 17,3                  | 44,8                        | 1800                  | 40,2                                |
| <b>Modalohr</b>              | 20                | 7,2          | 27,2        | 20,3                  | 47,5                        | 1800                  | 37,9                                |
| <b>CargoBeamer</b>           | 20                | 7,2          | 27,2        | 31,0                  | 58,2                        | 1800                  | 31,0                                |

Izvor:[6]

Obzirom na neravnoteže logistike i nejednakog volumena transporta, kapacitet vlaka ne može se u potpunosti koristiti cijelo vrijeme. Stoga se u prosječnu nosivost dodaje stopa iskorištenja od 85%, koja u osnovi osigurava održivu uslugu pretpostavljenu u trećoj fazi. To je rezultiralo sljedećim operativnim kapacitetom vlaka za svaku tehnologiju (tablica 5):

- Postojeća tehnologija: 34 poluprikolice,
- Modalohr: 32 poluprikolice,
- CargoBeamer: 26 poluprikolica.

**Tablica 5. Specifični kapaciteti vlaka s obzirom na težinu, duljinu i stopi iskorištenosti vlaka**

| Tehnologija                  | Maksimalni broj poluprikolica (po jedinici) | Duljina vlaka < 700m |                   | Kapacitet vlaka               |                    |                    |
|------------------------------|---|----------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|
|                              |   | Duljina vagona (m)   | Duljina vlaka (m) | Maksimalan broj poluprikolica | Stopa iskorištenja |                    |
|                              |   |                      |                   |                               | (%)                | Broj poluprikolica |
| <b>Postojeća tehnologija</b> | 40  | 17,02                | 681               | 40                            | 85                 | 34                 |
| <b>Modalohr</b>              | 38  | 16,95                | 644               | 38                            | 85                 | 32                 |
| <b>CargoBeamer</b>           | 31  | 16,20                | 502               | 31                            | 85                 | 26                 |

Izvor: [6]

## 5.2 Brzina pretovara

Brzina pretovara je najveća brzina kojom se može pretovariti teret u ovom slučaju poluprikolica. Svaka cestovno-željeznička tehnologija koju uspoređujemo ima različiti način utovara poluprikolice. Današnje cestovno-željezničke tehnologije najčešće koriste vertikalni način utovara pomoću dizalica. Trenutni podaci za takav način utovara iznose četiri minute po poluprikolici, ali u budućnosti se planira smanjiti na tri minute. [6]

Mjerenja i podaci operatora dostupni su za tehnologiju „Modalohr“, rezultirajući prosječnim trajanjem od oko četiri minute. U ovom slučaju postupak utovara obično traje znatno duže od vremena potrebnog za istovar poluprikolice.

Tehnologija CargoBeamer ima posebnost. Sve poluprikolice postavljene su na takozvane "Cargojets" (košare), koje se u jednom automatiziranom procesu poprečno ubacuju u vagone. Prema riječima proizvođača, za takvu radnju je potrebno deset minuta, međutim u to vrijeme se ne uzima u obzir postavljanje poluprikolica na Cargojets. Stoga je ukupno vrijeme potrebno za operaciju utovara znatno više od deset minuta.[6]

Stvarno dnevno radno vrijeme od 21 sat je pretpostavljeno kao standard za terminale. U ovom slučaju, ako je postrojenje otvoreno 24 sata s radom u tri smjene, to bi omogućilo tri sata za radove na održavanju i popravcima, kao i vrijeme primopredaje prilikom promjene smjena.

Na temelju operativnog razdoblja od 21 sat, tada je moguće izračunati maksimalni broj parova vlakova koje svaki sustav može obraditi po prometnom danu (TD). Uzimajući u obzir prosječno iskorištenje vlakovnih kapaciteta, to stvara dnevni kapacitet pretovara i, uz pretpostavku 250 prometnih dana, godišnji kapacitet pretovara iznosi (tablica 6) [6]:

- Terminal koji je dizajniran za postojeće tehnologije vertikalnog pretovara s dizalicama s kranom može podnijeti 16 vlakova dnevno u optimalnim radnim uvjetima. Stoga, od svih tehnologija, ovaj sustav ima najveći pretovarni kapacitet koji iznosi 1.088 teretnih jedinica po danu ili 272.000 jedinica tereta godišnje.
- Modalohr uspije utovariti četiri vlaka dnevno, odnosno 256 jedinica tereta po danu ili 64.000 jedinica tereta godišnje. Ovaj sustav nudi samo 24% od postojeće tehnologije.

- CargoBeamer sustav postiže sedam vlakova dnevno, odnosno 392 jedinica tereta po danu ili 91.000 jedinica tereta godišnje. To je samo 34% od postojeće tehnologije.

**Tablica 6. Brzina pretovara prema tehnologiji**

| Tehnologija           | Broj poluprikolica (po jedinici) | Utovar i istovar (min) | Ukupno vrijeme utovara (min) | Broj vlakova | Broj utovarenih jedinica (po danu i po godini) |        |
|-----------------------|----------------------------------|------------------------|------------------------------|--------------|--|--------|
| Postojeća tehnologija | 34                               | 68                     | 78                           | 16           | 1088   | 272000 |
| „Modalohr“            | 32                               | 256                    | 316                          | 4            | 256  | 64000  |
| CargoBeamer           | 26                               | 10                     | 180                          | 7            | 364  | 91000  |

Izvor: [6]

### 5.3 Prostorni zahtjevi i troškovi ulaganja za objekte pretovara

Specifični zahtjev za prostorom označava prosječnu površinu potrebnu za stvaranje pretovara jedne poluprikolice po prometnom danu. Specifični troškovi ulaganja definirani su kao prosječni iznos potreban za stvaranje kapaciteta za rukovanje jednom poluprikolicom po prometnom danu. Za dobivanje ključnih vrijednosti specifičnih za sustav potrebne su sljedeće pretpostavke[6]:

- Ulaganja u željezničku i cestovnu infrastrukturu nisu uključena u proračune nijedne tehnologije.
- Troškovi zemljišta su izračunati po jedinstvenoj stopi od 35 € po m<sup>2</sup>.
- Za sve tehnologije veličina parkirališta za poluprikolice određena je kao 50% od prosječne dnevne količine pretovara. U slučaju postojeće tehnologije ta brojka iznosi 544 mjesta.
- Budući da bi se parkirna mjesta trebala nalaziti izvan modula za pretovar, moduli za vertikalni sustav izračunati su bez treće ili četvrte skladišne trake.
- Zahtjevi za funkciju vrata, prijave/odjave i sigurnosne provjere radnih jedinica postavljeni su na istoj razini za sve tehnologije, iako je potrebno više rukovanja za postojeću tehnologiju zbog veće propusnosti utovarnih jedinica. No, s druge strane, sigurnosna provjera značajno je obilnija za sustave Modalohr i CargoBeamer.

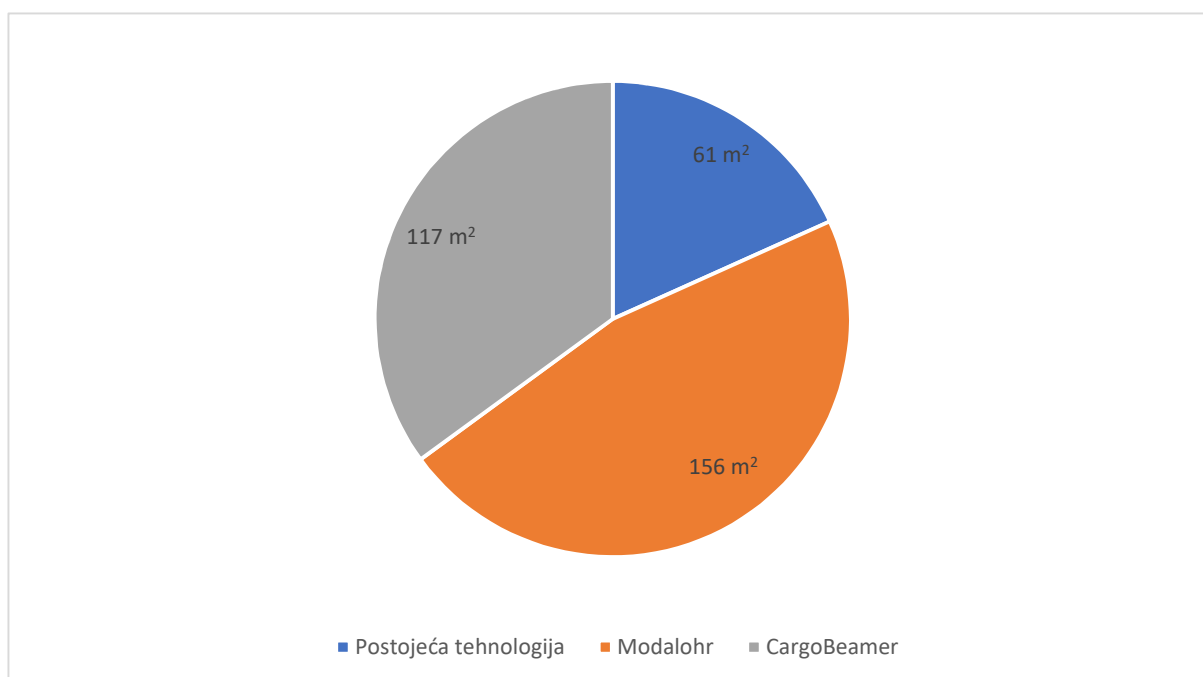
Rezultati koji se dobiju studijom su prikazani u tablici 7.

**Tablica 7. Specifični zahtjevi za prostor i specifični troškovi ulaganja za uređaje za rukovanje**

| Tehnologija                  | Kapacitet<br>(broj<br>poluprikolica<br>po danu) | Prostorni zahtjevi   |                           | Cijena investicije |                           |
|------------------------------|---|----------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
|                              |   | Ukupno               | Po broju<br>poluprikolica | Ukupno             | Po broju<br>poluprikolica |
| <b>Postojeća tehnologija</b> | 1088  | 66000 m <sup>2</sup> | 61 m <sup>2</sup>         | 32000000 €         | 29000 €                   |
| <b>Modalohr</b>              | 256   | 40000 m <sup>2</sup> | 156 m <sup>2</sup>        | 19000000 €         | 74000 €                   |
| <b>CargoBeamer</b>           | 364   | 42500 m <sup>2</sup> | 117 m <sup>2</sup>        | 24500000 €         | 67000 €                   |

Izvor: [6]

**Grafikon 1. Prostorni zahtjevi po broju poluprikolica**

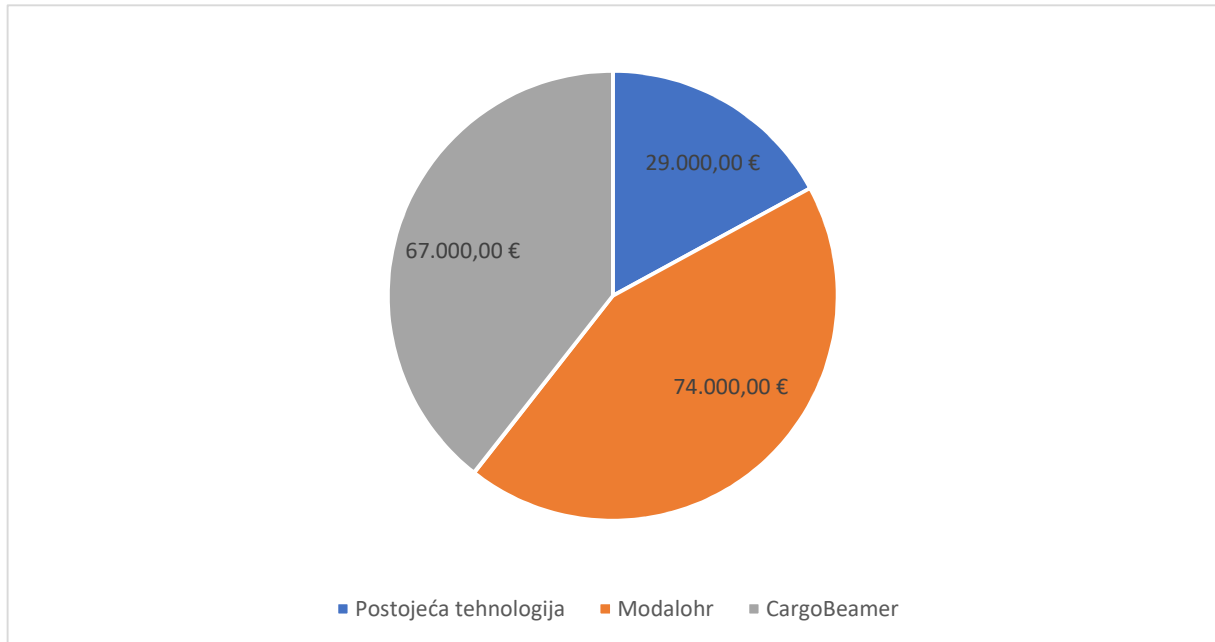


Izvor: [6]

Iako postojeći cestovno-željeznički sustav zahtjeva najveće područje terminala ova tehnologija je ipak najisplativija s obzirom na prostor. Specifični zahtjevi prema grafikonu 1 za prostorom je samo 61 m<sup>2</sup> po poluprikolici. Sljedeća najpovoljnija tehnologija, CargoBeamer treba 117 m<sup>2</sup> ili oko 82% više prostora za poluprikolice i to je vrlo loše jer pružatelj sustava

opisuju vodoravni utovar kao uštedu prostora. „Modalohr“ sustav zauzima 155% više u odnosu na postojeće cestovno-željezničke tehnologije.

**Grafikon 2. Cijena investicije po broju poluprikolica**



Izvor: [6]

S obzirom na specifične troškove ulaganja, prema grafikonu 2 postojeća tehnologija ponovno donosi najbolji rezultat. Troškovi ulaganja po jedinici kapaciteta i dnevnom prometu iznose oko 29000 eura. S druge strane „Modalohr“ i CargoBeamer sustavi pokazuju najniže stope učinkovitosti; ulaganja koja su im potrebna dvostruko su veća od postojeće cestovno-željezničke tehnologije.[6]

#### **5.4 Sustavni troškovi ispitivanih tehnologija**

Troškove sustava definiramo kao troškove koji su nastali tijekom prijevoza jedne poluprikolice u kombiniranom prijevozu između dva terminala. Sustavni troškovi uključuju troškove pretovara na oba kraja prometnog lanca a njih čine troškovi korištenja vagona, vuča željeznice i raspoređivanje poluprikolica. Budući da bi troškovi prije i nakon prijevoza bili jednaki za sve tehnologije pod istim uvjetima, oni se mogu zanemariti iz usporedbe troškova sustava. Iz istog razloga nisu uzeti u obzir ostali sastavni dijelovi troškova, poput režijskih troškova, kamata i troškova IT sustava. U skladu s tim, izračunati trošak sustava ne smije se miješati s troškovima ili cijenama resursa koji se trenutno koriste u intermodalnom prijevozu.



Za sve sustave pretpostavljalo se da će intermodalni prijevoz biti obavljan na relaciji Köln-Milano, koja ima međusobnu udaljenost od oko 860 km. Sljedeći su aspekti uzeti u obzir pri određivanju pojedinih kategorija troškova[6]:

- Troškovi jedinice za utovar uključuju troškove amortizacije i održavanja; alternativno se mogu primijeniti stope najma ili leasing-a. Za dva vertikalna pretovara koriste se dizalice s kranom. Njihovi troškovi nabave su približno 1.500 eura viši nego za standardne cestovne prikolice. S razdobljem amortizacije od pet godina i 250 radnih dana godišnje, to rezultira troškovima koji utječu na cijenu prijevoza povećanu za 2,0 eura. Pretpostavljeno je razdoblje od dva dana koje odgovara stvarnim uvjetima prijevoza robe na relaciji Köln-Milano .
- Troškovi pretovara obuhvaćaju troškove financiranja i poslovanja, a oni su određeni pod pretpostavkom da nije odobreno vladino sufinanciranje investicije. Za troškove financiranja predviđeno je amortizacijsko razdoblje od 20 godina za kapitalna ulaganja i tri posto kamata. Nisu dostupni valjani podaci o operativnim troškovima sustava horizontalnog pretovara. Na temelju analiza operativnih postupaka, pretpostavlja se da će operativni troškovi po poluprikolici biti barem jednaki onima za vertikalne sustave pretovara. U ovu svrhu izračunati je prosječni radni trošak od 16 eura po poluprikolici. To također uključuje upotrebu tegmastera.
- U pogledu vagona primijenjeni su sljedeći troškovi ulaganja po prostoru poluprikolice:
  1. Cijena vagona za postojeći sustav iznosi 70000€
  2. Za „Modalohr“ vagon cijena je 175000€
  3. Cijena CargoBeamer vagona iznosi 140000€

Godišnji troškovi održavanja vagona iznose 4,5% investicijskog troška prema empirijskim podacima tvrtki koje iznajmljuju vagone. Budući da vagoni za ostale tehnologije nude složenije mehaničke, hidrauličke ili električne uređaje, njihovi prosječni godišnji troškovi održavanja procjenjuju se na 8% investicije. U nedostatku odgovarajućih empirijskih vrijednosti, nismo uzeli u obzir strože sigurnosne zahtjeve za vagone koji su postavljeni nakon nesreće Viareggio za bilo koji od tipova vagona, iako će oni morati rezultirati većim troškovima.[6]

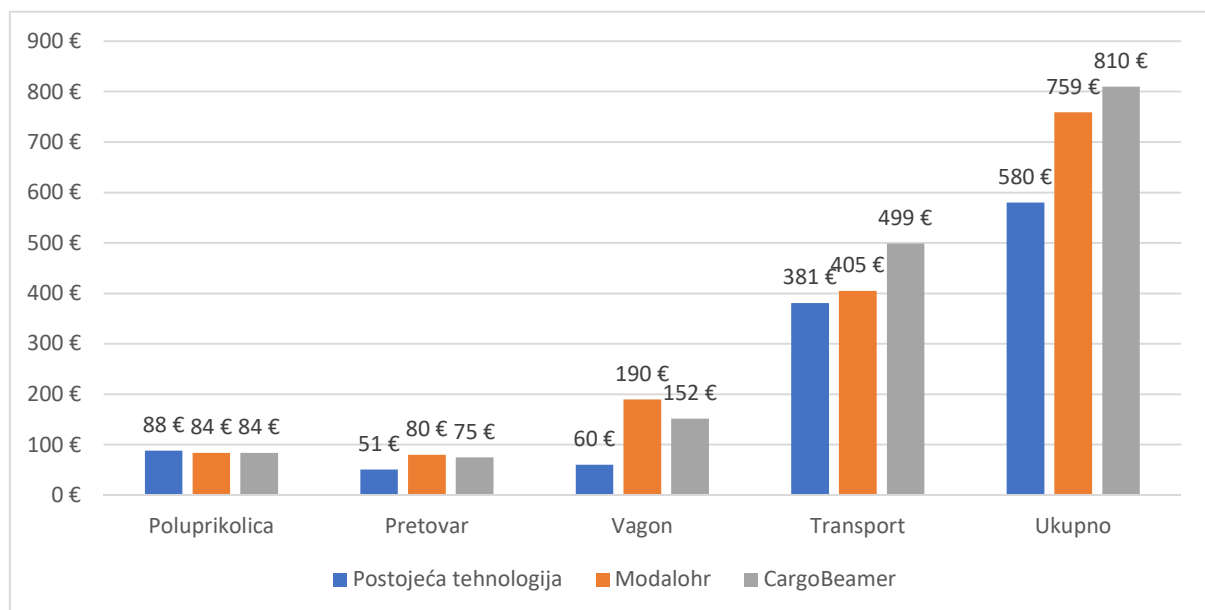
Nadalje, razmotrena je prosječna razina iskorištenosti vlaka po stopi od 85%. Na temelju pretpostavke da vlakovi uvijek djeluju kao šatlovi s istom konfiguracijom vagona, prosječno 15% svih vagona ne bi se opterećivalo. Odgovarajući troškovi dodijeljeni su jednoznačno prijevoznim vozilima.

Na temelju tih podataka mogu se utvrditi troškovi vagona po radnom danu za svaku tehnologiju. U tu svrhu su pretpostavljeni optimalni radni uvjeti: svaki se vagon kreće 360 dana godišnje, a nema dana za servis zbog kvara vlakova, zastoja ili sličnih čimbenika. U skladu s realnim uvjetima, za odabranu vezu Köln-Milano pretpostavljena su dva radna dana.

Za troškove vuče, koji uključuju i infrastrukturne troškove, pretpostavili smo standardnu cijenu od 14,5 eura po kilometru vlaka i fiksnu stopu od 500 eura za otpremu i carinjenje vlakova.

Rezultati analize pokazuju da prijevoz poluprikolice pomoću postojeće cestovno-željezničke tehnologije između Kölna i Milana nudi najniže troškove od 580 eura. Osim troškova utovara poluprikolice, postojeća tehnologija je i najučinkovitija u odnosu na sve kategorije troškova. Prednost troškova u odnosu na sve nove sustave je znatna. Korištenje „Modalohr“ tehnologije za transport jedne poluprikolice iznosi 768 eura. To je gotovo 200 eura ili preko 30% više nego kod postojećeg sustava. Horizontalna tehnologija CargoBeamer u stvari je gotovo 40% skuplja od postojeće tehnologije (grafikon 3).[6]

**Grafikon 3. Sustavni troškovi cestovno-željezničkih tehnologija na trasi Köln-Milano**



Izvor: [6]

## 6. ANALIZA PRIJEVOZNOG UČINKA „MODALOHR“ TEHNOLOGIJE

Prijevozna sposobnost sredstva namijenjenog prijevozu je optimalni učinak ostvariv u jedinici vremena. Ako se uzme jedan sat kao vremenska jedinica prijevoznog sredstva, tada se mogući prijevozni učinak nalazi prema relaciji [11]:

$$U_{max_1} = q_{n_1} \cdot L_t \text{ [tkm]} \quad (1)$$

a stvarni prema

$$U_1 = q_{n_1} \cdot L_t \cdot \gamma_d = U_{max_1} \cdot \gamma_d \text{ [tkm]} \quad (2)$$

gdje je:

$q_{n_1}$  - nazivna nosivost istoga prijevoznog sredstva (t)

$L_t$  - prijeđeni kilometri prijevoznog sredstva u analiziranoj jedinici vremena-satu (km)

$\gamma_d$  - koeficijent dinamične iskorištenosti nazivne nosivosti

$U_{max_1}$  - mogući prijevozni učinak u analiziranoj jedinici vremena [tkm]

$U_1$  - ostvareni učinak u analiziranoj jedinici vremena [tkm]

Ako se promatra proces prijevoza jedinice cestovnog prijevoznog sredstva s obzirom na jedinicu vremena, mogu se uočiti tri osnovna slučaja:

- proces prijevoza započinje u analiziranoj jedinici vremena, ali ne završava,
- proces prijevoza počinje i završava u jedinici vremena i
- proces prijevoza se završava i ponavlja u jedinici vremena.

U prvom primjeru, proces prijevoza neće biti završen i, praktično, neće se realizirati prijevoz određene količine robe u [t] bez obzira na to što će se postići određeni učinak [tkm].

U drugom primjeru, u kojem proces započinje i završava, ostvaruje se učinak [tkm] ali i u [t] prevezenog supstrata, a količina prevezene robe ovisi o nazivnoj nosivosti prijevoznog sredstva i količini ukrcane robe pri čemu je općenito [11]:

$$Q \leq q_n$$

Ako se u ovom drugom primjeru razmatra nazivna sposobnost promatrane jedinice prijevoza u prevezenim tonama [t], tada je:

$$Q = q_n$$

U trećem primjeru, proces prijevoza se završava i ponavlja u jedinici vremena pa je:

$$Q > q_n$$

pod uvjetom da je proces ponavljan više puta, a nazivna nosivost prijevoznog sredstva optimalno iskorištena.

U tom primjeru, dakle, prijevozno je sredstvo u mogućnosti da obavi više ( $n_\lambda$ ) vožnja u jedinici vremena pri čemu je ( $n_\lambda$ ) definiran relacijom:

$$n_\lambda = \frac{1}{t} \cdot 60 \quad [\text{vožnja/h}]$$

gdje je:

$t$  – vrijeme između dvaju ukrcaja u minutama

$n_\lambda$  - broj vožnji prijevoznog sredstva u satu

Ako se proces prijevoza obavlja samo u jednom smjeru, tada vrijeme ( $t$ ) predstavlja tzv. vrijeme obrta ( $t_0$ ) pa je:

$$n_\lambda = \frac{1}{t} \cdot 60$$

To znači da moguće količine prevezenog supstrata za jedno prijevozno sredstvo u obrtu odgovaraju količini prevezenog supstrata u vožnji pri kojoj je realizirano ( $L_t$ ), odnosno u vožnji pri kojoj je vozilo bilo opterećeno.

Mogući učinak prijevoznog sredstva promatran u broju prevezenih tona supstrata u trećem primjeru je:

$$Q_{max_1} = q_{n_1} \cdot n_\lambda \quad [t] \quad (3)$$

a stvarni:

$$Q_1 = q_{n_1} \cdot n_\lambda \cdot \gamma_s = Q_{max_1} \cdot \gamma_s \quad [t] \quad (4)$$

Prijevozni učinak mjeren ostvarenim (tkm) za jedno prijevozno sredstvo nalazi se iz relacije:

$$U_1 = n_\lambda \cdot q_n \cdot L_t \cdot \gamma_d \quad [tkm] \quad (5)$$

Ta se relacija može predočiti i u drugačijem obliku ako se pojedini čimbenici predoče u drugačijem obliku. Tako se npr. broj vožnja  $n_\lambda$  može predočiti u funkciji vremena vožnje, a vožnja u funkciji brzine itd. (To se u stručnoj literaturi veoma često koristi što na prvi pogled stvara dojam da je to veoma složena građa.)[11]

Prijevozni se učinak u tom složenom obliku obično iskazuje u obliku relacije:

$$U = 24 \cdot DPS_K \cdot \alpha_a \cdot \alpha_{ad} \cdot \alpha_v \cdot \beta \cdot q_n \cdot \gamma_d \cdot V_p \quad [tkm] \quad (6)$$

gdje je:

$DPS_K$  - broju knjigovodstvenih dana prijevoznih sredstava tijekom vremenskog razdoblja promatranja voznog parka

$\alpha_a$  - koeficijent angažiranosti prijevoznih sredstava

$\alpha_{ad}$  - angažiranost prijevoznih sredstava tijekom dana

$\alpha_v$  - koeficijent iskorištenja vremena rada za vožnju

$\beta$  – koeficijent iskorištenja prijeđenog puta pod opterećenjem

$V_p$  – prometna brzina (km/h)

Ako je to količina ostvarenog učinka u (t) za homogeni skup prijevoznih sredstava, tada se koristi relacija:

$$Q = \frac{24 \cdot DPS_K \cdot \alpha_a \cdot \alpha_{ad} \cdot \alpha_v \cdot \beta \cdot q_n \cdot \gamma_s \cdot V_p}{L_{st_\gamma}} \quad [t] \quad (7)$$

gdje je:

$L_{st_\gamma}$  – ukupna duljina vožnje s teretom (km)

Uzme li se u obzir da je  $24 \cdot DPS_K \cdot \alpha_a \cdot \alpha_{ad} \cdot \alpha_v \cdot \beta \cdot V_p$  zapravo prijeđeni put prijevoznog sredstva s teretom, koji je se označava s  $PSL_t$  [km], tada se prethodne relacije pojednostavnjuju i glase [11]:

$$U = q_n \cdot \gamma_d \cdot PSL_t \quad [tkm] \quad (8)$$

$$Q = \frac{q_n \cdot \gamma_s \cdot PSL_t}{L_{st\gamma}} \quad [t] \quad (9)$$

Prijevozni učinak „Modalohr“ tehnologije ćemo prikazati primjerom zadatka koji glasi: Prijevoz tereta na relaciji Köln-Milano obavlja se pomoću „Modalohr“ tehnologije. Udaljenost između Köln-a i Milana iznosi 860km. Nazivna nosivost kompletnog vlaka iznosi 1800 t, koeficijent dinamične iskorištenosti nazivne nosivosti iznosi 85%. Prijevozni učinak računa se na sljedeći način:

$$q_n = 1800 \text{ t}$$

$$\gamma_d = 85\% = 0.85$$

$$PSL_t = 860 \text{ km}$$

$$U = ?$$

$$U = q_n \cdot \gamma_d \cdot PSL_t$$

$$U = 1800 \cdot 0.85 \cdot 860$$

$$U = 1315800 \text{ [tkm]}$$

Prijevozni učinak „Modalohr“ tehnologije iznosi 1315800 tkm na relaciji Köln-Milano. Taj izračun vrijedi samo za jedan vlak koji obavlja transport poluprikolica. U petom poglavlju je spomenuto da je dnevna mogućnost utovara Modalohr tehnologije četiri vlaka što je najmanje u odnosu na CargoBeamer koji može dnevno utovariti sedam vlakova i postojeće tehnologije koja može utovariti 16 vlakova na terminalu. Prijevozni učinak za jedan vlak je jednak za sve cestovno-željezničke tehnologije samo je razlika u broju vlakova koji polaze sa terminala i broju poluprikolica koje vlak može utovariti na sebe.

## 7. ZAKLJUČAK

Cestovno – željezničke tehnologije osiguravaju ekonomičnost samo ako je velika udaljenost od terminala utovara i terminala istovara. Što znači da je potrebno osigurati dovoljnu duljinu kolosijeka po kojima bi se teret prevezio. Glavne prednosti cestovno–željezničkih tehnologija su u očuvanju okoliša i rasterećenje cestovnih prometnica. Nedostatak je nedovoljan broj terminala koji mogu prihvatiti takvu tehnologiju.

Modalohr tehnologija je izvrsna zbog jednostavnosti izvedbe terminala i vagona koji prevoze teret. Terminali imaju nedostatak što je potrebna velika površina za prihvrat poluprikolica što izaziva smanjenu ekonomičnost. Vagoni su izvedeni kao plato vagoni koji su niski s okretnim postoljem i imaju izvrsnu sposobnost za brzi bočni utovar poluprikolice. Tako se štedi na vremenu ukrcaja koje nije veliko i iznosi oko 4 min.

Usporedbom postojećih tehnologija ( huckepack, piggy back, bimodalne tehnologije) s Modalohr i CargoBeamer tehnologijama zaključujemo da su postojeće tehnologije mnogo ekonomičnije. Ekonomičnost postojećih tehnologija je u tome što mogu istovremeno prevoziti više poluprikolica na svojim vagonima od Modalohr tehnologije i nije potreban veliki terminal kao za Modalohr tehnologiju. Prednosti Modalohr-a su u tome što koristi jednostavne mehanizme za utovar poluprikolica i može transportirati odjednom više poluprikolica nego CargoBeamer.

Zaključak je da Modalohr kao srednja opcija prema kriteriju ukupnih troškova cestovno-željezničkih tehnologija ipak ima svoje prednosti nad ostalim tehnologijama. Pošto je to relativno nova tehnologija koja se tek razvija i postoji mogućnost napredovanja, jer najveći nedostaci su broj Modalohr terminala i kompatibilnost kolosijeka na željezničkoj mreži. Većim brojem terminala omogućio bi se veći promet željeznicom i smanjila bi se udaljenost koja je potrebna da sam kamion dođe na terminal i ukrca se na željeznicu. Prema tome prijevozni učinak bi bio veći jer bi potražnja za takvim načinom transporta porasla i zajedno s time bi se dnevno omogućio prijevoz većeg broja poluprikolica.

## POPIS LITERATURE

- [1] Zelenika, R., Jakomin, L.: Suvremeni transportni sustavi, Ekonomski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 1995.
- [2] Brnjac, N.: Intermodalni transportni sustavi, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2012.
- [3] Božičević, D., Kovačević, D.: Suvremeni transportni sustavi, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2002.
- [4] Wiśnicki, B., Dyrda, A.: Analysis of the Intermodal Transport Efficiency in the Central and Eastern Europe, Maritime University of Szczecin Transport Engineering and Economics Faculty, Poland, 2015.
- [5] URL: <http://www.carrtracks.com/spcar11.htm> [pristupljeno: svibanj 2020]
- [6] Klemenčič, M., Burg, R.: Data base and comparative analysis of CT and transshipment technologies for CT, University of Maribor, SSP Consult, Maribor, 2018.
- [7] URL: <https://www.cargobeamer.eu/How-it-works-849768.html> [pristupljeno: lipanj 2020.]
- [8] URL: <http://www.brickshelf.com/cgi-bin/gallery.cgi?i=2820640> , [pristupljeno: lipanj 2020.]
- [9] Modalohr : The succesfull rail/road transport solution; URL: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/wp24/documents/inf-1e.pdf> [pristupljeno: lipanj 2020]
- [10] URL: <https://lohr.fr/lohr-railway-system/the-lohr-system-terminals/> [pristupljeno: lipanj 2020]
- [11] Protega, V.: Nastavni materijal za predavanja iz kolegija: OSNOVE TEHNOLOGIJE PROMETA, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Akademska godina 2014/2015.



## POPIS SLIKA

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Slika 1.  | Tehnologija A.....  | 3  |
| Slika 2.  | Tehnologija B.....  | 4  |
| Slika 3.  | Tehnologija C.....  | 5  |
| Slika 4.  | Rail-Trailer bimodalna tehnologija.....                               | 7  |
| Slika 5.  | Piggy back tehnologija.....   | 8  |
| Slika 6.  | Prikaz CargoBeamer paralelnog utovara i istovara.....                 | 9  |
| Slika 7.  | Bočni ukrcaj pomoću „Modalohr“ tehnologije.....                       | 10 |
| Slika 8a. | „Modalohr“ vagon.....   | 11 |
| Slika 8b. | „Modalohr“ vagon.....   | 11 |
| Slika 9a. | Prijevoz kompletnih vozila „Modalohr“ tehnologijom.....               | 12 |
| Slika 9b. | Prijevoz samo poluprikolica tehnologijom „Modalohr“.....              | 13 |
| Slika 10. | Prikaz načina utovara i istovara kamiona na „Modalohr“ terminalu..... | 15 |
| Slika 11. | Aiton terminal.....   | 16 |
| Slika 12. | Orbassano terminal (Turin, Italy).....                                | 17 |
| Slika 13. | Le Boulou terminal (Perpignan, France).....                           | 17 |
| Slika 14. | Bettembourg terminal.....   | 18 |
| Slika 15. | Port of Calais terminal (Calais, France).....                         | 19 |
| Slika 16. | Karta željezničke mreže Europe.....                                   | 20 |

## POPIS TABLICA

|   |    |
|---|----|
| Tablica 1. Prikaz karakteristika prijevoza kompletnih cestovnih vozila tehnologijom „Modalohr“.....   | 13 |
| Tablica 2. Karakteristike prijevoza samo poluprikolica tehnologijom „Modalohr“.....                   | 13 |
| Tablica 3. Tehničke karakteristike „Modalohr“ vagona.....   | 14 |
| Tablica 4. Specifični vlastiti kapacitet vlaka prema maksimalnom dopuštenom kapacitetu vlaka.....     | 22 |
| Tablica 5. Specifični kapaciteti vlaka s obzirom na težinu, duljinu i stopi iskorištenosti vlaka..... | 22 |
| Tablica 6. Brzina pretovara prema tehnologiji.....  | 24 |
| Tablica 7. Specifični zahtjevi za prostor i specifični troškovi ulaganja za uređaje za rukovanje..... | 25 |

## **POPIS GRAFIKONA**

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Grafikon 1. | Prostorni zahtjevi po broju poluprikolica .....                              | 25 |
| Grafikon 2. | Cijena investicije po broju poluprikolica.....                               | 26 |
| Grafikon 3. | Sustavni troškovi cestovno-željezničkih tehnologija na trasi Köln-Milano.... | 28 |



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ završni rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ završnog rada

pod naslovom **Eksploatacijska analiza suvremene cestovno-željezničke tehnologije prijevoza Modalohr**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 26.07.2020.

\_\_\_\_\_  
(potpis)