

**ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ ПРОЈЕКТОВАЊА ВЕЛИКИХ КОНТЕЈНЕРСКИХ
ДИЗАЛИЦА (ДЕО 1): МАШИНСКИ ПРОЈЕКАТ КОЛИЦА И УТИЦАЈ НА ОКОЛИНУ****BASIC PRINCIPLES IN DESIGN OF LARGE CONTAINER CRANES (PART I):
MECHANICAL DESIGN OF TROLLEY AND ENVIRONMENTAL IMPACT****Ненад Зрнић¹, Зоран Петковић, Срђан Бошњак**
Nenad Zrnić, Zoran Petković, Srđan Bošnjak

Прегледни рад

Ефективна контејнерска дизалица мора да буде пројектована тако да буде подесна за тренутне и будуће потребе крајњег корисника. Машинске компоненте морају да задовоље прописе у стандардима за мосне дизалице, али су велике обалске контејнерске дизалице суштински различите у односу на друге типове лучких дизалица. Избор дизаличних колица је значајан са аспекта усвајања и прорачуна носеће структуре, тачкова, и одржавања. Механизми на колицима могу бити погоњени ужадима (РТТ), или са аутономним погонима (МОТ). Хибридно међу-решење прихваћено је од појединих произвођача. У раду се разматра упоређење машинских система колица, укључујући њихове перформансе, и даје се евалуација у процесу избора конструкционог решења. У раду се анализира и смањење утицаја (буке) контејнерских дизалица на околину.

Кључне речи: контејнерске дизалице, пројектовање машине, колица, евалуација, бука

An effective container crane must be designed to suit the present and future needs of the end user. The mechanical components complied with overhead bridge crane standards, but large quayside container cranes are significantly different from other types of dockside and bridge cranes. The selection of a crane's trolley system type is significant for the structure of crane, for wheel loads, and for maintenance considerations. The trolley can be rope towed (RTT) or machinery type (MOT). A hybrid of the two systems, commonly known as a fleet-through machinery trolley (or semi-rope trolley), was adopted by some manufacturers. The paper discusses a comparison of mechanical systems of trolleys, including their performances, and gives the evaluation of selection process in design. Also, the paper analyses the ways of reducing the environmental impact - noise of container cranes on neighboring communities.

Keywords: container cranes, mechanical design, trolley, evaluation, noise

1. УВОД

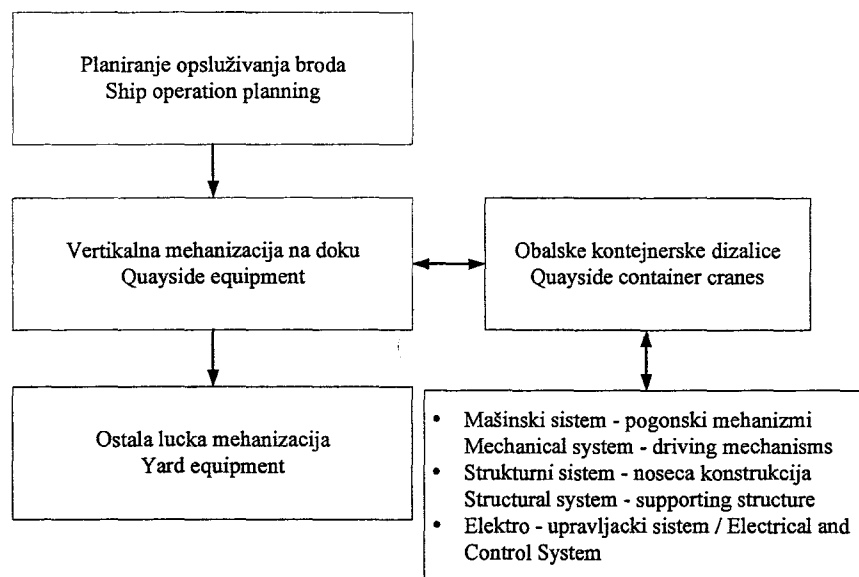
Конкурентност у светској економији и очекивања купаца за повећаним перформансама, довела су до захтева за нижим трошковима, брзим и поузданим отпремањем терета. Развој аутоматизоване и ефикасне претоварне механизације омогућио да се значајно повећају перформансе операција на терминалу. Напредак у техничким решењима великих обалских контејнерских дизалица, као главног дела, и највеће инвестиције, у систему претовара и складиштења, имао је значајан ефекат на продуктивност терминала, уколико је подесно примењен [1]. Годинама су чланови пројектних тимова, инжењери специјализовани за машинске системе, структуру, електронику и управљање, радили заједно да би остварили економичну конструкцију која треба да задовољи радне захтеве и која може да се успешно произведе и монтира. Дизалица није само подсистем терминала, већ представља и засебан систем. Као и увек, "најбоље" ("оптимално") пројектно решење мора да буде избалансирано. Добре и лоше стране сваке алтернативе морају се детаљно сагледати. Код

1. INTRODUCTION

The competitive world economy, and the increasing performance expectations of customer lead to a demand for low cost, rapid and dependable shipping of cargo. The development of efficient, automated, high-technology loading/unloading equipment has the potential of considerably improving the performance of terminal operations. Advances in large quay container cranes technologies, as the major part and the biggest investment of the cargo storage and retrieval system have a significant effect on the efficiency of terminal operations once properly implemented [1]. For years the design team members - the mechanical, structural, automation, and electrical engineers have worked together to produce economical design that meet operational demands and can be efficiently fabricated and erected. The crane is not only part of the terminal system, but is also a system in its own right. As always, the "best" ("optimum") design requires balance. The cost and benefits of each alternative should be considered in concern. For each crane purchase, the owner will need to evaluate each design and then choose the design which best suits the site and all-round

¹ Контакт адреса аутора (Address of authors): assistant Dr.-Ing. Nenad Zrnić, Машински Факултет Београд / Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Kraljice Marije 16, 11000 Београд / Belgrade, Србија и Црна Гора / Serbia and Montenegro, E-mail: nzmic@mas.bg.ac.yu

куповине дизалице наручилац треба да оцени пројектна решења и изабере оно које ће на најповољнији начин одговарати месту монтаже и свеобухватним условима рада [2]. На слици 1 приказана је шема терминала [3].



Слика 1. Шематски приказ система контејнерског терминала Figure 1. An outline of port terminal system

2. КОНСТРУКЦИЈА КОЛИЦА

Избор дизаличних колица је значајан са аспекта усвајања и прорачуна носеће структуре, тачкова, и одржавања. Избор колица се врши према потребама на одређеној локацији, као и на основу одређења власника и корисника терминала [4]. Основни типови колица су РТТ - колица са погонима дизања и кретања оствареним преко система ужади, и МОТ - колица са аутономним погонима смештеним на њиховом раму. Хибридно решење представља комбинацију претходна два решења и прихваћено је од стране појединих произвођача [4, 5, 6]. Код РТТ система погони кретања колица, дизања терета и препуста смештени су у машинској кућици која је фиксирана за рам дизалице [7]. Ужад за погон кретања колица и дизања терета спроводне се из машинске кућице према врху контра препуста, пролазе кроз колица, и фиксирају се за врх препуста [4,7]. Ово решење омогућава плитку и лаку конструкцију колица, као и веће висине дизања и мања оптерећења на носећу конструкцију дизалице и дока [8]. Код конструкције РТТ колица проблем представља издужење ужета и појава угибања - ефекта ланчанице, чиме се смањује продуктивност дизалице. То се спречава увођењем додатних колица за умањење ефекта ланчанице, слика 2 [9, 10]. Међутим, чак се и са тим колицима у случају дугачких путева војње јавља изражен ефекат ланчанице. Регулација угибања ужета остварује се уградњом међуослонаца, који се постављају на растојању од око 25 м. У том случају су додатна колица непотребна, и продуктивност се повећава. Мана овог решења огледа се у сложеном систему

operational needs [2]. An outline of a port terminal system is presented in Figure 1 [3].

2. MECHANICAL DESIGN OF TROLLEY

The selection of a crane's trolley type is significant for the structure, as well as for the wheel loads. The trolley selection should be based on the needs at a particular location, as well as the preference of the owner and operators [4]. Basically the trolley can be Rope Towed Trolley (RTT) or Machinery On Trolley type (MOT). A hybrid of the two systems, commonly known as a Fleet Through Machinery Trolley (or Semi-Rope trolley [4, 5, 6]), was adopted by some manufacturers. With a Rope-Towed Trolley (RTT) system the trolley drive, main hoist, and boom hoist drums and machinery are located in the machinery house, fixed on the crane frame [7]. Trolley and main hoist ropes run from the machinery house to the end of the trolley girder, through the trolley, and to the tip of the boom [4,7]. This arrangement allows the trolley to be shallow and lightweight, permitting greater lift height and smaller loads on the crane structure and wharf [8]. With the Rope Towed Trolley design, there was concern that the rope would stretch and that catenary effect would reduce productivity. The catenary trolley is the typical solution for reducing the catenary effect, figure 2 [9, 10]. But even with the catenary trolley, the long runway will result in a big catenary effect. Intermittent rope supports spaced at about 25 m are used to control the rope catenary. The advantages of the rope supports are improved productivity, and no catenary trolleys are needed. The disadvantages include a more complex reeving system, more sheaves, and a potential shorter life of rope [4, 7]. For the Fleet Through Machinery Trolley the main hoist machinery is placed on the gantry frame, but the trolley is self-driven [11]. Machinery On

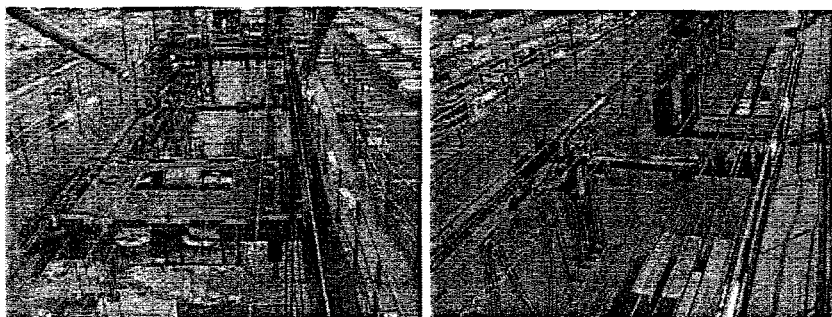
намотавања, већем броју котурова, и потенцијално краћем веку трајања ужета [4, 7]. Код хибридног решења главни погон дизања смештен је у машинској кућици, али је погон кретања колица аутономан [11]. При детаљнијој класификацији, колица се разврставају у следеће групе:

- 1) РТТ - са додатним колицима за умањивање ефекта ланчанице;
- 2) РТТ - са континуалним ослонцима ужеди;
- 3) Хибридна - Самопогоњена колица;
- 4) МОТ колица (оба погона на раму колица);
- 5) МОТ колица са ужетним погоном кретања.

3. ОПШТЕ МЕХАНИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ КОЛИЦА

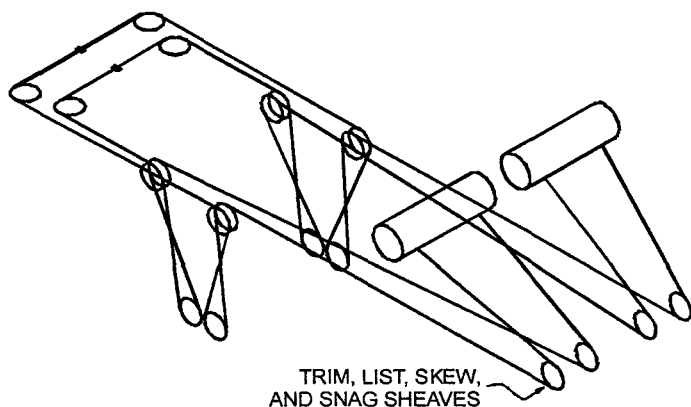
Основне карактеристике РТТ колица са додатним колицима за умањивање ефекта ланчанице су (слика 2):

- уведена су додатна колица потребна за велике дужине распона;
- обезбеђени су међуослонци напојних водова;
- потребни су додатни котурови и затезни уређаји, сложеније је намотавање.



Слика 2. Колица погоњена ужадима - погон дизања у машинској кућици - колица за умањење ефекта ланчанице
Figure 2. Rope Towed Trolley - Fleet Through - Catenary Support Trolley

Намотавање ужета главног погона дизања код решења са додатним колицима приказано је на слици 3.



Слика 3. Шема намотавања ужета механизма за дизање код конструкционог решења са додатним колицима
Figure 3. The outline of main hoist reeving of Fleet Through Rope Towed Trolley

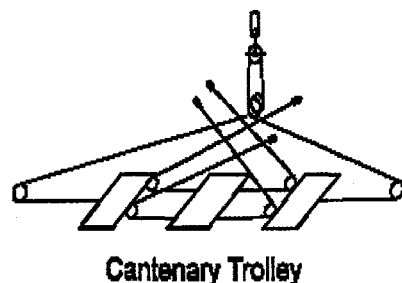
Trolley has the trolley and main hoist machinery on board. In a more detailed subdivision the types of trolley can be classified as follows:

- 1) Rope Towed Trolley - Fleet Through - Catenary Support Trolleys;
- 2) Rope Towed Trolley - Fleet Through - Continuous Catenary Support;
- 3) Fleet Through Machinery Trolley - Self Powered Trolley;
- 4) Machinery On Trolley;
- 5) Rope Towed Machinery On Trolley - Semi-Machinery Trolley.

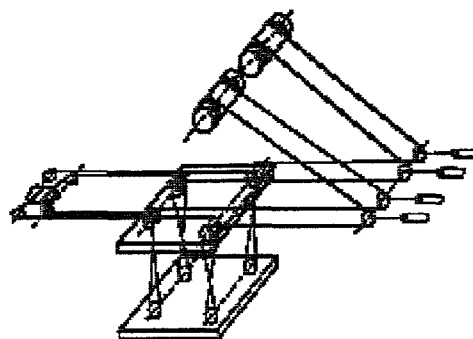
3. GENERAL MECHANICAL FEATURES OF TROLLEYS

Basic features of Fleet Through Rope Towed Trolley with Catenary Trolleys (Figure 2) are:

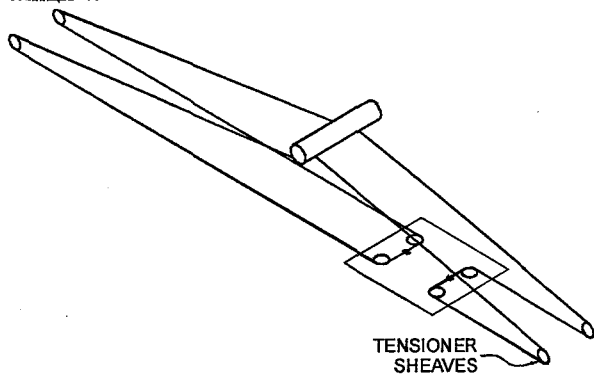
- Catenary trolleys necessary for long spans;
- Provides intermediate festoon support;
- Additional sheaves, reeving, tensioners, and trolley machinery.



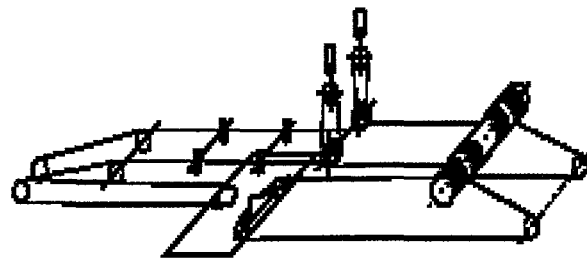
Main hoist reeving of Fleet Through Rope Towed Trolley - Catenary support trolley is presented in Figure 3.



Систем намотавања ужета погона кретања колица код решења са додатним колицима приказан је на слици 4.

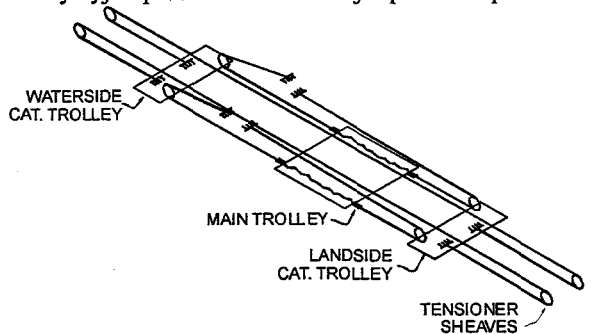


Trolley reeving of Fleet Through Rope Towed Trolley - Catenary Support Trolley is presented in Figure 4.

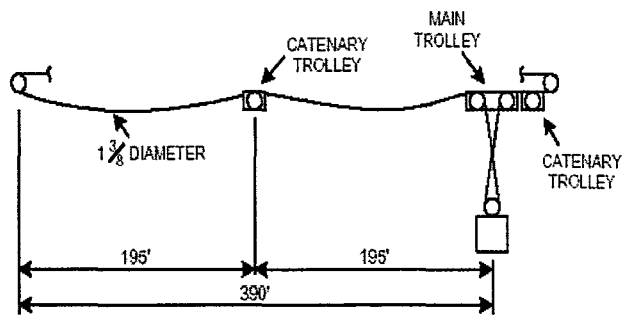


Слика 4. Шема намотавања ужета механизма за кретање колица код решења са додатним колицима
Figure 4. The outline of trolley reeving of Fleet Thru Rope Towed Trolley - Catenary Support Trolley

Систем намотавања ужета код колица за умањивање ефекта ланчанице приказан је на слици 5., са димензијама (у стопама) за мега-дизалицу која опслужује бродове са 22 контејнера по ширини.



Catenary Support Trolley reeving of Fleet Through Rope Towed Trolley is presented in Figure 5., with overall dimensions in feet, for the mega crane servicing a ship with 22 containers across deck.



Слика 5. Шема намотавања додатних колица за поништавање ефекта ланчанице
Figure 5. The outline of Catenary Support Trolley reeving

Основне карактеристике РТТ колица са континуалним ослањањем ужаци су:

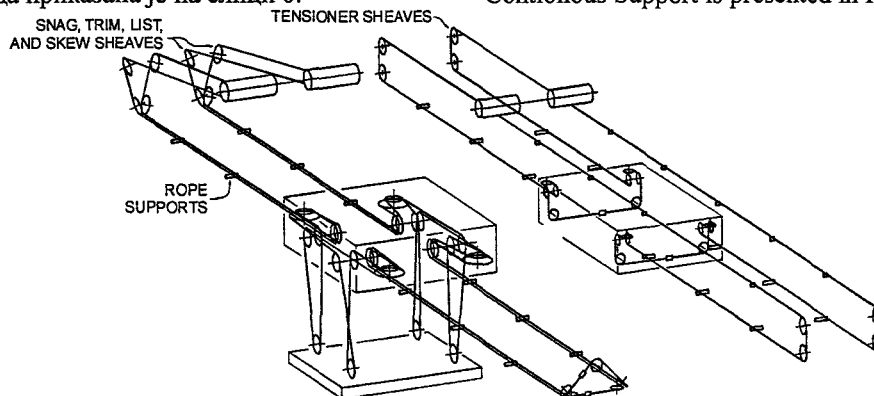
- нема додатних колица и намотавања;
- са мањим угибањем ужаци остварује се боље управљање кретањем терета;
- због већег броја котурова колица су тежа и захтевају електромоторе веће снаге.

Шема ових колица приказана је на слици 6.

Basic features of Fleet Through Rope Towed Trolley with continuous catenary support are:

- No catenary trolleys or reeving;
- Smaller catenaries = more control;
- More sheaves = heavier trolley and larger trolley motor.

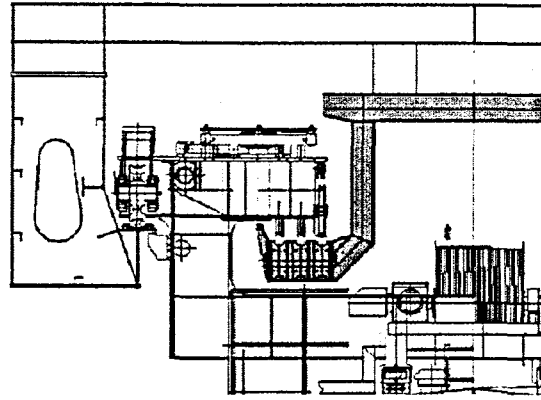
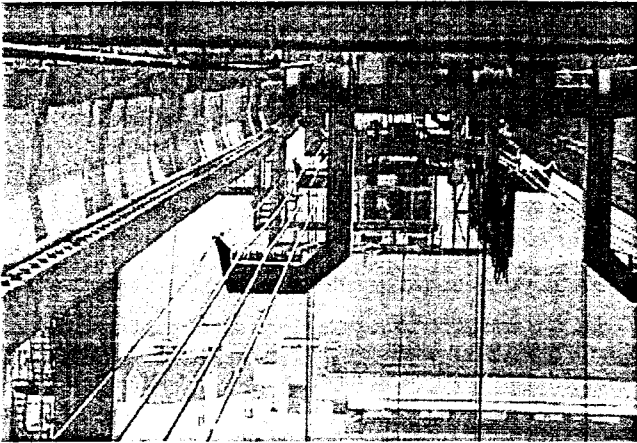
The Fleet Through Rope Towed Trolley reeving with Continuous Support is presented in Figure 6.



Слика 6. Шема РТТ колица са континуалним ослоњцима (лево - мех. дизања, десно - мех. кретања колица)
Figure 6. The outline of RTT trolley with Continuous Support (left - hoist reeving, right - trolley reeving)

На слици 7 приказани су континуални ослонци ужета код овог типа колица.

In Figure 7. are presented continuous supports of Fleet Through Rope Towed Trolley.



Слика 7. Континуални ослонци RTT колица
Figure 7. Continuous Support of Fleet Thru Rope Towed Trolley

Основне карактеристике самопогоњених хибридних колица су:

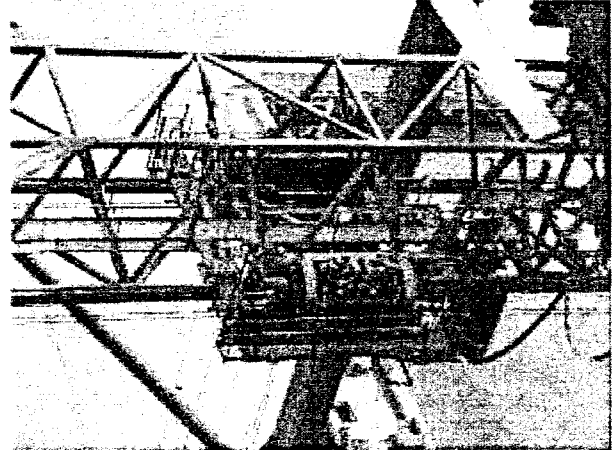
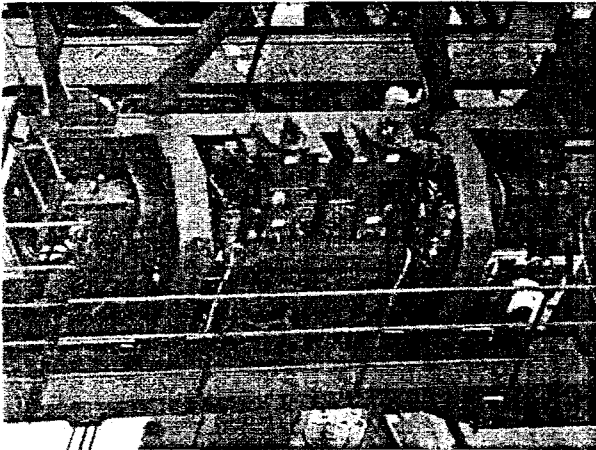
- једноставно намотавање;
- нема вучних ужади за кретање колица и затезних уређаја;
- могућност проклизавања тачкова;
- мање вредности убрзања.

Самопогоњена колица приказана су на слици 8.

Basic features of Fleet Through Self Powered Trolley are:

- Simple reeving;
- No trolley tow ropes or tensioner;
- Possibility of wheel slip;
- Slower acceleration rates.

The Fleet Through Self Powered Trolley is presented in Figure 8.



Слика 8. Самопогоњена хибридна колица
Figure 8. Self powered Semi - rope Trolley

Основне карактеристике MOT колица су:

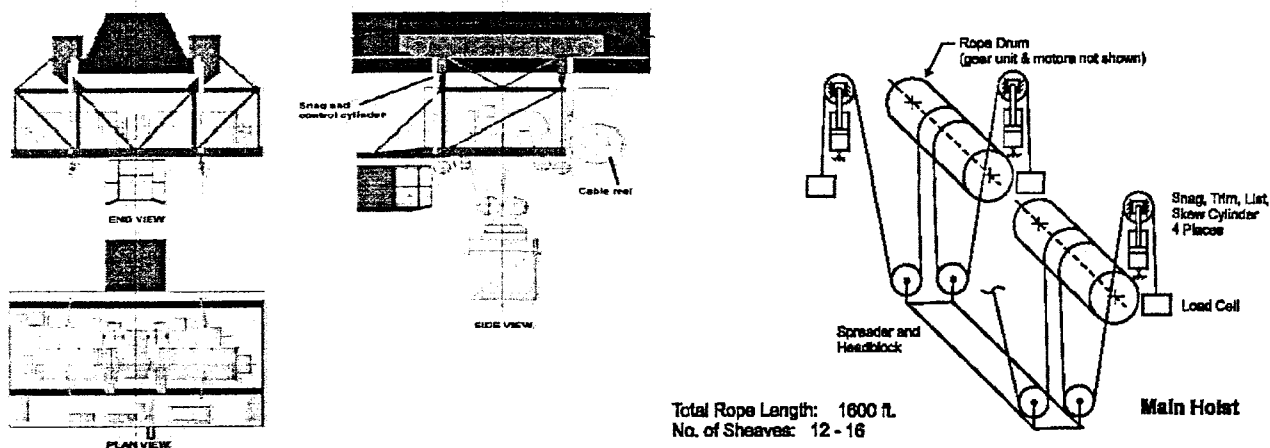
- најлакше намотавање;
- најтежа од свих типова колица;
- могућност проклизавања тачкова;
- мање вредности убрзања;
- мала машинска кућица;
- код пројектовања је важно да се обезбеди приступ колицима због њиховог одржавања.

MOT колица и њихов систем намотавања ужади приказана су на слици 9 [9, 12].

Basic features of Machinery on Trolley are:

- Least amount of reeving;
- Heaviest trolley;
- Possibility of wheel slip;
- Slower acceleration rates;
- Small machinery room;
- Design for maintenance access is important

The Machinery on Trolley and its reeving system is presented in Figure 9 [9, 12].



Слика 9. MOT колица са шемом намотавања ужади
 Figure 9. Machinery On Trolley with reeving system

Код ове класе колица, целокупни механизам за дизање могуће је поставити на рам колица и у исто време предупредити проклизавање точкова, користећи ужетни систем кретања колица. Оваква колица називају се и полу-машинска колица. Код таквог система колица морају се предузети мере којима би се она заштитила од ефекта угибања ужади и могућих удара. Механизам за кретање колица садржи мотор(е), редуктор и добош за намотавање челичног ужета, који може да буде инсталиран у машинској кућици, али тада није једноставно остварити ослањање ужета [13]. Основне карактеристике ових колица су:

- једноставнија шема намотавања ужади;
- нема проклизавања точкова;
- максималне могуће вредности убрзања;
- захтевају се ужади за вучење колица и уређаји за њихово затезање;
- смањена је дужина ужади механизма за дизање.

4. ОПШТА СТРАТЕГИЈА ИЗБОРА КОЛИЦА

Избор конструкције колица даје слику еволуције контејнерских дизалица. Услед повећаних димензија дизалица, опредељујући критеријуми за избор су се изменили, првобитна решења су изгубила трку са временом, те су потребна нова решења [9]. Да би ишли у корак са великим бродовима и повећаним капацитетима, данашње дизалице су достигле скоро троструко повећање димензија у односу на прву дизалицу овакве врсте саграђену 1959. Овакав развој изменио је основне премисе у пројектовању дизалица. За доношење одлуке о избору колица потребно је пажљиво размотрити скуп фактора везаних за пројекат структуре, продуктивност, одржавање, резервне делове укључујући и ужади, опредељење дизаличара и произвођача (трендове у индустрији), тежину, утицај на околину и трошкове [14]. Са аспекта носеће структуре, маса је главна разлика између РТТ и МОТ конструкције. Маса РТТ конструкције мања је за више од 3 пута у односу на МОТ. Двогреде дизалице са трапезним попречним пресеком примењују се код дизалица са РТТ

It is possible to install the complete hoisting mechanism on the trolley and to prevent the slip of the trolley wheels by using wire ropes. This type of trolley is so called Rope Towed Machinery Trolley or Semi-Machinery Trolley. In the trolley travelling mechanism for driving the trolley, measures have then to be taken to prevent the sagging and slapping of these wire ropes. The trolley travelling mechanism comprising the motor(s), gearbox and wire rope drum, can be installed in the machinery house on the bridge. However the wire ropes are then not easy to support [13].

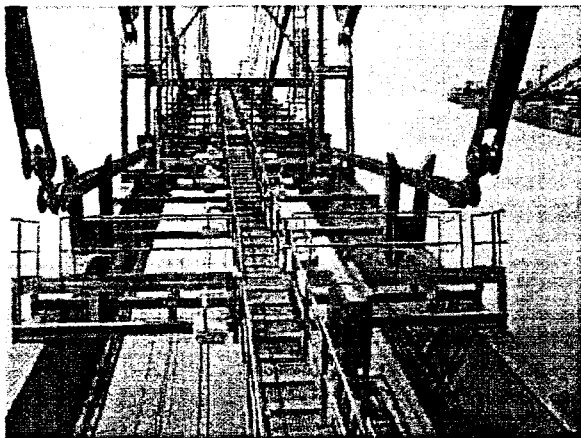
Basic features of Semi-Machinery Trolley are:

- Simple reeving;
- No concern of wheel slip;
- Full acceleration rates;
- Requires trolley tow ropes and tensioner;
- Reduced hoist rope length.

4. STRATEGY OF TROLLEY SELECTION

The choice of trolley design reflects the evolution of the container crane. Due to the increased size of container cranes, the governing conditions have changed, the original solutions have been outgrown and the new solutions are needed [9]. To keep up with the larger ships and the increase traffic, today's container cranes are three times the size of the first crane built in 1959. These developments has changed the basic premises of crane design. The decision which type of trolley design should be used requires careful consideration of many factors including design of structure, productivity, reliability, maintenance, necessary spare parts including ropes, operator preferences, manufacturers' preferences (industrial trends), weight, environmental concern and cost [14]. For the structural design, weight is the main difference between RTT and MOT. The weight of RTT is less than more a third of a MOT. The choice of the trolley will also affect the boom design. Generally, twin trapezoidal girders are used on cranes with RTT because it makes rope reeving relatively simple. For machinery trolleys, with fewer ropes, rectangular or trapezoidal

колицима, док се MOT колица примењују код једногредних дизалица трапезног или правоугаоног пресека, слике 10 и 11. Адекватно пројектована једногредна дизалица, без обзира на усвојен тип колица, лакша је од двогреде дизалице [15].



Слика 10. RTT двогреда дизалица
Figure 10. Twin girder boom

Код контејнерских терминала захтев за брзим преношењем терета води ка повећању брзина и убрзања у погонским механизмима дизалице. Иако повећање ових перформанси узрокује не претерано велика повећања продуктивности (од 5 до 20 %), до сада се капацитет претовара првенствено повећавао баш на овај начин [16]. Илустрације ради, неке вредности брзина и убрзања погонских механизма код великих контејнерских дизалица дате су у табели 1 [17].

Врста кретања Mode	Брзина Speed	Време убрзања Acceleration times	Време успорења Deceleration times
Дизање са миминалном носивошћу Hoisting with rated load	70 m/min	2,0 s	1,5 s
Дизање контејнера масе 40 т Hoisting with 40 t container	100 m/min	2,0 s	1,5 s
Дизање празног спредера Hoisting with spreader only	180 m/min	4,0 s	3,0 s
Погон кретања колица Trolley drive	250 m/min	5,0 s	5,0 s

Табела 1. Перформансе погона великих контејнерских дизалица
Table 1. Speed and acceleration performances of large container cranes

RTT систем је свеprisutan у САД. Далеко већи број произвођача нуди RTT конструкцију у односу на MOT концепт. RTT конструкција је испробана и испитана, и многи кварови су већ идентификовани, док је за многе кориснике и произвођаче MOT концепт потпуна новина. То само по себи не иде у прилог MOT дизалицама када купци ових машина треба да донесу одлуку о инвестицијама у опрему која се мери милионима долара. Али, високи инвестициони трошкови истовремено дају подстицај пажљивом разматрању свих алтернатива. Можда ће се показати да је MOT концепт поузданији од RTT концепта [9]. Конфигурација MOT колица има више

mono-girder booms are generally used, Figures 10. and 11. Aproperly designed mono-girder boom crane weights less than a properly designed twin girder boom crane, for both RTT cranes and MOT cranes [15].



Слика 11. MOT једногреда дизалица
Figure 11. MOT Mono girder boom

In the container terminal the requirement of faster cargo handling leads to higher speeds and higher accelerations in the crane's mechanisms. Increasing of speed and acceleration performances produces incremental improvements of productivity (from 5 up to 20 %), although, up to now the primary emphasis to increase the throughput has been in increasing speeds and accelerations [16]. For instance, some of these value for large container cranes are given in Table 1 [17].

The RTT system is ubiquitous in the USA. Many more crane manufacturers worldwide have produced RTT cranes then MOT cranes. The RTT is tried and tested and the bugs have been worked out. For many users and manufacturers the MOT crane is a new concept. This, in itself, speaks against the MOT crane when purchasers are making decision involving millions of dollars worth of equipment. But the high cost is also a stimulus to keep an open mind and carefully examine alternatives. It may be that MOT cranes are more reliable then RTT cranes [9].

The configuration of machinery trolley has several

предности са аспекта одржавања [15]. Код ових колица има мање покретних делова и нема одржавања платформе за уједначавање на врху дохвата, превојних котурова на страни дока, колица за умањивање ефекта ланчанице, и уређаја за затезање ужета. Елиминисањем ужаци којима се погоне колица дизалице, и знатно мањом дужином ужаци механизма за дизање, смањени су трошкови одржавања, односно, складиштења и замене ужаци. Минимизовано је деградирање околине услед просипања уља са подмазаног ужета. Како су ужаци у систему за дизање знатно краћа и нема истезања ужаци која погоне колица, MOT систем омогућује боље управљање кретањем терета [15]. С друге стране, MOT систем има теже каблове у систему за напајање струјом, што може довести до прекомерног хабања. Код система напајања уводе се колица за кретање каблова, која су погоњена моторима релативно мале снаге. Трошкови замене моторизованог система напајања три пута су већи у односу на конвенционални систем код РТТ колица [9]. Услови рада дизаличара су бољи код дизалица са MOT колицима, с обзиром на већу масу дизалице и крућу конструкцију, па је кретање колица "мекше", а дизаличар се осећа комфорније при таквом раду [18]. Брига о утицају избора типа дизалице - колица на околину, представља савремен и важан део у пројектовању, посебно у САД, и биће разматрана на крају овог рада [9]. У табели 2 приказане су релевантне упоредне карактеристике дизалице за опслуживање 22 контејнера по ширини брода, за оба система конструкције колица [10].

advantages from a service standpoint [15]. The MOT system has fewer moving parts. The maintenance of boom tip equalizer platform, landside turning sheaves, catenary trolley, rope tensioners, deflector sheaves, and slap blocks is eliminated. The elimination of the trolley drive ropes and shorter main hoist ropes reduces costs for stocking and replacing wire rope. Pollution from oil spilling from ropes is also minimized. Operationally, because hoist ropes are much shorter there is no stretch of trolley tow ropes, the machinery trolley provides better load control [15]. On the other hand, the MOT system requires more and heavier cables in the festoon system to power the main hoist and trolley. The shock loads in the festoon system can cause excessive wear. To avoid this problem we can select motorized festoon systems. With this system, small motors drive some of the festoon trolleys. The replacement cost of the motorized festoon can be three times greater than for the conventional festoon system with the RTT [9].

Since the difference in weight between the trolley with and without the lifted load is reduced, and the crane structure is heavier and stiffer, the trolley motion is smoother for MOT crane in comparison with RTT crane, and the operator is more comfortable [18]. Improved operator comfort reduces his fatigue and increases productivity [9]. Environmental concerns are important and modern issues in selecting a crane system, particularly in the USA, and will be considered in the last part of this paper [9].

In Table 2 are presented some comparison features for a 22 wide container crane, with both systems of trolley [10].

Карактеристике дизалице за опслуживање 22 контејнера, носивости 72,8 т Features of a 22 wide crane with lift capacity of up to 65 LT / 72,8t	RTT	MOT
Маса колица Trolley weight	25 t	90 t
Маса дизалице Crane weight	1300 t	1600 t
Покретно оптерећење (колица + спредер + остали делови + терет од 72,8 т) Moving load (Trolley + Spreader + HB + 65 LT/72,8 t)	110 t	175 t
Покретно оптерећење за прорачун оштећења услед замора Moving load for fatigue damage	80 t	145 t
Оштећење услед замора Fatigue damage	1,0	6,0
Притисак на точкове на страни воде Waterside wheel loads	783 kN/точку 783 kN/wheel	900 kN/точку 900 kN/wheel
Притисак на точкове на страни копна Landside wheel loads	427 kN/точку 427 kN/wheel	592 kN/точку 592 kN/wheel
Укупна дужина ужета Total rope length	3627 m	488 m
Укупан број котурова Total number of sheaves	50	4
Време одржавања по дизалици за годину дана Maintenance time per crane per year	156,5 h	87,2 h
Век трајања ужета механизма за дизање Main hoist rope life	1500 h	≥3000 h
Трошкови замене ужета механизма за дизање Hoist rope replacement cost	21,000 \$	5,700 \$

Табела 2. Неке упоредне карактеристике дизалице за опслуживање 22 контејнера по ширини брода
Table 2. Comparison of some features for a 22 wide quay container crane

Матрица упоређења свих типова конструкција
колица приказане је у табели 3 [10, 13].

Trolley type comparison matrix is presented in Table 3
[10, 13].

	1 РТТ са континуалним ослонцима ужета Fleet Through Rope Towed Continuous	2 РТТ са колицима за умањивање ланчанице Fleet Through Rope Towed Cat. Trolleys	3 Хибридна само- погоњена колица Fleet Thr Self Powered	4 МОТ колица Machinery On Trolley	5 МОТ колица са ужетним погоном кретања Rope Towed Machinery On Trolley
Маса колица Trolley Weight	Средња Moderate ~22÷36 т	Најмања Lowest ~22÷36 т	Средња Moderate ~26 т	Највећа Highest ~52÷80 т	Велика High ≥40 т
Број мотора колица Trolley Motors Number	1	1	2-4	2-4	1
Снага мотора колица Trolley Motor Power	Средња Moderate	Средња Moderate	Средња Moderate	Највећа Highest	Велика High
Убрзање колица Trolley Acceleration	Велико High max 1,2 m/s ²	Велико High max 1,2 m/s ²	Најмање Lowest max 0,5 m/s ²	Средње Moderate ~0,6 m/s ²	Велико High max 1,2 m/s ²
Ужад за вучу колица, затезање, котурови Trolley Tow Ropes, Tensioner, Sheaves	Да Yes	Да Yes	Не No	Не No	Да Yes
Колица за ланчаницу, затезање, котурови Catenary Tow Rope, Tensioner, Sheaves	Не No	Да Yes	Не No	Не No	Не No
Уже за дизање терета Hoist Rope Length	Дугачко Long	Дугачко Long	Средње Medium	Кратко Short	Средње Medium
Приближни број котурова мех. за диз. Approximate Number Of Hoist Sheaves	40	20	20	12	12
Ослони точкњи за ланчаницу ужета за дизање Hoist Rope Catenary Support Rollers	Да Yes	Да Yes	Да Yes	Не No	Не No
Маса дизалице Crane Weight	Средња Moderate	Средња Moderate	Средња Moderate	Велика High	Велика High
Хабање шине и точкова колица Trolley Wheel and Rail Wear	Умерено Moderate	Умерено Moderate	Велико High	Највеће Highest	Изнад умереног Above Moderate
Пристап механизму за дизање Hoist Machinery Access	Добар Good	Добар Good	Добар Good	Ограничен Limited	Ограничен Limited
Пристап механизму за кретање колица Trolley Drive Machinery Access	Добар Good	Добар Good	Ограничен Limited	Ограничен Limited	Добар Good
Каблови за напајање колица струјом Trolley Festoon	Лаки Light	Лаки Light	Средње тешки Moderate	Најтежи Heaviest	Тешки Heavy

Табела 3. Матрица упоређења типова колица
Table 3. Trolley type comparison matrix

Као допуна подацима из табеле 3 могу се навести и следеће чињенице [13].

У варијантама 3 и 4 точкови колица су погонски и у тим случајевима може доћи до њиховог проклизавања, што се не може десити код осталих варијанти. Пут кретања колица је, практично, неограничен у варијанти колица 4, док је код свих осталих решења ограничен услед евентуалног угибања челичних ужади.

Машинска кућица уграђена на раму дизалице са РТТ системом садржи механизме за дизање терета, кретање колица, и подизање препуста, као и климатизовану електро-собу. Код МОТ система погон дизања смештен је на колицима. Упоредне димензије машинске кућице за оба главна система приказане су на слици 12, мере су у стопама [11].

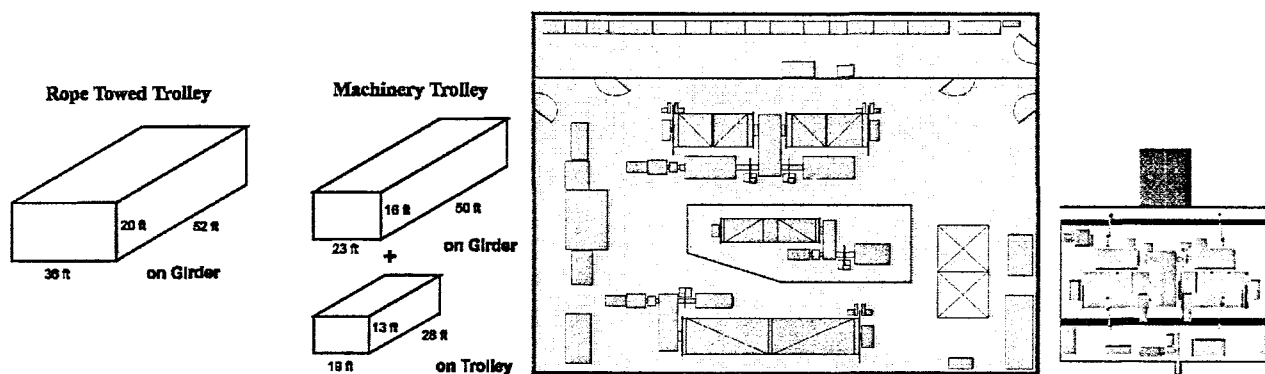
Тако, на пример код РТТ система машинска кућица заузима простор на раму дизалице од 1060 m^3 , док се код МОТ система тај простор дели на онај на раму од 521 m^3 , и на колицима од 196 m^3 , што даје укупни простор од 717 m^3 .

As the supplement of data mentioned in Table 3. we should notice the following facts [13]:

Trolley wheels of variants 3 and 4 are driving wheels, while they are non-driven for other variants. So, wheel slip is possible for only for variants 3 and 4. Trolley traveling length is unlimited for variant 4, for variants 1, 2, 3, 5 is limited through the eventual sagging and slapping of the wire ropes.

The frame mounted machinery house for RTT systems consists of the main hoist machinery, trolley travel equipment, boom hoist machinery and the climate controlled electrical room. For MOT system, the main hoist is moved to the trolley, and the trolley travel machinery is eliminated. The sketch of machinery house enclosures is given in Figure 12 [11]. The measures are in feet.

So, for instance, we have the volume of machinery house of 1060 m^3 for RTT system, and total volume of 717 m^3 for MOT system, divided into part on crane's girder (521 m^3), and the part located on trolley with the amount of space of 196 m^3 .



Слика 12. Упоредне димензије машинске кућице
Figure 12. Machinery house enclosures and machine area comparison

5. ЈЕДАН ПРИСТУП ИЗБОРУ ТИПА КОЛИЦА

Историјски посматрано, прва обалска контејнерска дизалица коју је конструисао ПАЦЕКО 1959. користила је РТТ систем. Она је осмишљена за рад на постојећим пристаништима, како је у то време и било уобичајено [5, 8]. Минимизирање оптерећења која делују на док био је примарни фактор који је фаворизовао овакво решење, и такав приступ је био узор за следећу генерацију дизалица у већини светских лука, изузев неколико европских. РТТ дизалице су се, уз прописно одржавање, показале веома поузданим у раду у току дугогодишње експлоатације. Међутим, велике дужине ужади и повећан број колица су учиниле овај систем тако сложеним, да су поједини европски произвођачи усвојили МОТ концепт за њихове дизалице. Фирма Кокс је направила прву европску МОТ дизалицу 1968., и до данас је остала верна овој филозофији. Такође, немачки произвођач Ноел је касније прихватио исти концепт за своје дизалице [5, 8].

Пре око 10. година компанија АПЛ (Американ Президент Лајнс) је започела преговоре са луком Лос Анђелос, за изградњу новог лучког постројења.

5. ONE APPROACH OF TROLLEY SELECTION

Historically speaking, the first quayside container crane, built by PACECO in 1959, utilized a RTT. This crane was conceptualized for operation on the existing wharf. This was common in 1959 [5, 8]. The minimization of wharf loads was the primary factor favoring the RTT cranes for other existing facilities. This design became the model for the next generation of container cranes for most ports in the world, except for a few European ports. These RTT cranes have provided excellent service over the years and, with proper maintenance, have exhibited high reliability. However, the resulting maze of ropes, sheaves and trolleys has become complex. Some European crane manufacturers adopted the MOT design concept for most of their cranes. Kocks introduced the first European machinery trolley container crane in 1968 and have since used the same basic philosophy for most of their cranes worldwide. Another German manufacturer, Noell, later introduced their machinery trolley cranes [5, 8].

About 10 years ago, American President Lines (APL) concluded negotiations with the Port of Los Angeles for construction of a new port facility. APL developed a

Првобитно је било предвиђено да се купе дизалице са РТТ колицима. Међутим на конкурс је своју понуду изнео и Ноел, који је понудио да пројектује дизалицу са МОТ колицима. У прво време је АПЛ одбијала и да разматра такву врсту понуде, али је на крају ипак формирала експертски тим са задатком да изврши евалуацију датих понуда. Експертски тим је критеријум за евалуацију формирао преко следећег питања [5, 9, 11]:

Уколико би претпоставили да до тада није била конструисана ни једна контејнерска дизалица, и да је питање задовољења доказа чврстоће дока у односу на максималне вредности притисака тачкова испуњено, да ли би се одлучили за РТТ или МОТ систем? Зачуђујуће, али цео експертски тим је нагињао ка усвајању МОТ решења. У следећем кораку АПЛ је позвао још једну групу дизаличних експерата на "размену мишљења" са тимом за евалуацију. Поред претходно постављених питања, они су у разматрање узели и чињеницу и да је циљ да се усвоји конструкција са оптимизираним ефикасношћу, великом поузданошћу и једноставним одржавањем дизалице. Проширена експертска група је лако и брзо закључила да је усвајење МОТ колица, спреам РТТ типа, логичан избор и то из следећих разлога :

- елиминисано је преко 1,650 т ужади;
- елиминисано је 36 котурова различитих димензија;
- уређаји за хидрауличко затезање ужади су елиминисани;
- инвентар резервних делова је редукован;
- интензитет одржавања је редукован;
- поузданост је повећана услед смањења броја компоненти дизалице;
- подмазивање челичних ужади је смањено.

6. УТИЦАЈ НА ОКОЛИНУ - БУКА

Непрестани раст поморских контејнерских терминала узрокује повећану бригу за проблеме утицаја на околину. Растућа потреба за претоваром великог броја контејнера захтева све веће и брже дизалице [19]. Код великих обалских дизалица повећан је интерес за смањењем нива буке, што је приказано у овом делу рада. За своје окружење обалске дизалице представљају главни извор буке. Бука настала услед осталих активности, као што је рад стредл керијера и постављање спредера на контејнер, углавном се не распростире изван терминала. Типична дизалица без умањења нивоа буке генерише звук интензитета од око 110 dB(A) на изворишту, што је еквивалентно нивоу од 65 dB(A) на 60 м од извора звука, односно приближно одговара нивоу саобраћајне буке. Главне изворе буке код обалских дизалица представљају погони дизања и вентилатори у машинској кућици, погон кретања колица код МОТ система, као и вибрације укрупнења - мембрана на главним носачима и препуста [19].

Технологија смањења буке недавно је примењена на новим дизалицама у Амстердаму и неким другим

new Post-Panamax crane specification written for the traditional RTT design. Bids were received from many international crane manufacturers. But one manufacturer, Noell, offered an MOT - type design. At first, APL did not consider changing from the traditional RTT – perhaps this was because the traditional design was familiar and worked well. But on second sight, the design began to intrigue the evaluation team. APL's in-house evaluation team looked at it this way [5, 9, 11]:

If no container cranes had ever been built and there were no dock wheel load constraints, would the team recommend a crane with a RTT system or as a MOT? Interestingly, the group was inclined toward the MOT. As a next step, APL invited a small group of crane experts to join the evaluation team. The team was asked to keep in mind the basic criteria: that no container crane had ever been built, no design constraints exist, and the goal is to optimize efficiency, reliability and maintenance of the crane. The interesting result was how easily the group concluded that, with these criteria, the MOT design was the logical choice. Prior to making the final decision, the APL team visited sites where Noell had installed cranes of similar design. Why was the MOT system chosen?

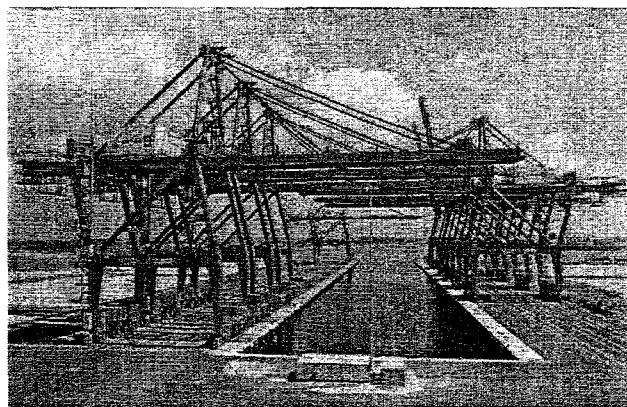
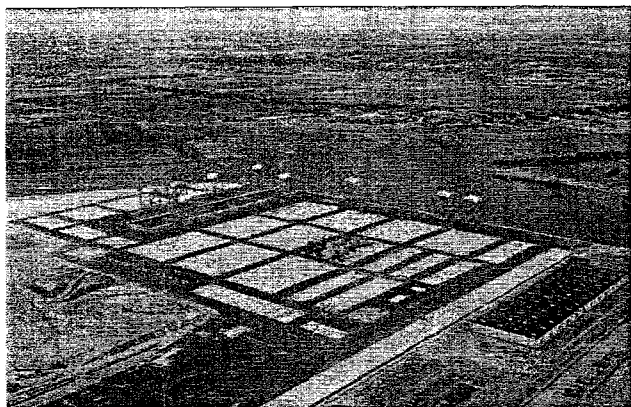
- Depending on the design, approximately 1,650 m of wire rope is eliminated from the main hoist, trolley drive, and catenary trolley;
- Approximately 36 sheaves of various sizes are eliminated;
- Hydraulic rope tensioning devices are eliminated;
- The spare parts inventory is reduced;
- The intensity of maintenance is reduced;
- Up-time reliability is increased because of the reduced number of crane components;
- Wire rope lubrication is reduced.

6. ENVIRONMENTAL IMPACT - NOISE

The continuing growth of marine container terminals is causing increasing environmental concerns among neighboring communities. The increasing container volumes have resulted in larger and faster container handling equipment [19]. The larger cranes have raised concerns about noise levels. This part of the paper focuses on reducing the noise levels. For the neighboring communities quayside cranes are a primary source of noise in a container terminal. Noise generated by other activities, such as the straddle carrier operations and setting spreaders on containers, is mostly contained within the terminal. A typical quay crane with no noise abatement treatment generates a sound intensity level of approximately 110 dB(A) at the source, which is equivalent to 65 dB(A) at 60 m from the source, approximately the noise level of freeway traffic. The primary noise sources for a dockside crane are hoist equipment and fans in the machinery house, trolley drive equipment for machinery trolley cranes, and web vibrations of the girder and boom structure [19].

The noise reduction technology was recently applied to new cranes in Amsterdam and other European ports.

европским лукама. Како је лука у Амстердаму лоцирана у непосредној близини (преко пута канала), слика 13, у односу на насеље, код пројекта контејнерских дизалица за рад на терминалу Церес захтевано је пригушивање буке. Овај захтев имао је велики утицај на измену првобитног пројекта дизалице. Нпр., одустало се од MOT концепта у корист РТТ система. Потпуно је основано очекивати да ће се многе луке угледати на Амстердамску, и за нове дизалице поставити захтеве за регулисањем нивоа буке [7].



Слика 13. Амстердамска лука - Церес терминал
Figure 13. Port of Amsterdam - Ceres Terminal

На терминалу Церес примењене су постојеће технологије да би се редуковала бука. Сваком појединачном делу опреме и свакој активности у претовару је предвиђен ниво буке који може да достигне. За дизалице је прописано да износи 55 dB(A) на 60 m растојања од њих, табела 4. То је значило редукацију буке за 10 dB(A) у односу на укупну буку сваке од дизалица. Како су децибели логаритамске мере, оваква редукација заправо представља смањење интензитета за 10^{10} [19].

In Ceres terminal are used existing technologies applied in new ways to reduce the noise. Each piece of equipment and each container handling activity at the Ceres Terminal were assigned a certain noise level. Each dockside crane was required to meet a noise level of 55 dB(A) at 60 m from the crane, Table 4. This meant a reduction of approximately 10 dB(A) in the total noise level of each crane. Decibels are a log measure, so a 10dB reduction is a 10^{10} reduction of intensity [19].

	Растојање / Distance	Ниво буке / Noise Level
Ниво необлажене буке Noise levels without abatement	Код извора буке / Source	110 dB (A)
	60 m / 200 feet	65 dB (A)
Ниво ублажене буке Noise levels with abatement	Код извора буке / Source	100 dB (A)
	60 m / 200 feet	55 dB (A)

Табела 4. Интензитет буке на терминалу Церес
Table 4. Noise level at Ceres terminal

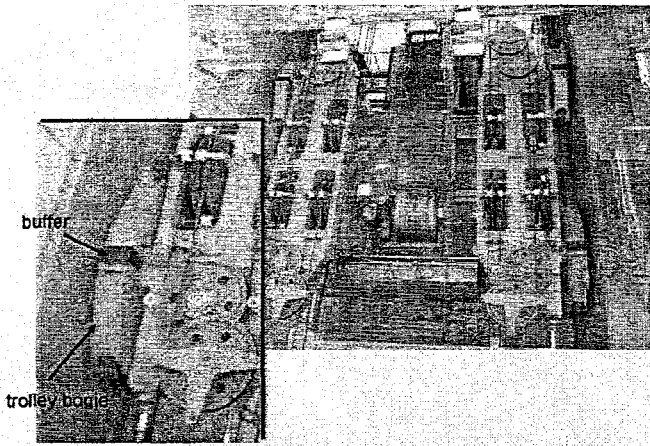
Дизалице на Церес терминалу су најтише од свих дизалица за оплуживање бродова са 22 контејнера по ширини. Стратегија пригушивања буке резултирала је минорним трошковима по свакој дизалици. Да би се ниво буке снизио за захтеваних 10dB(A) примењена је следећа стратегија [7, 19]:

1. **Иzolована машинска кућица:** Постављени су изолациони панели у зидовима, крову, и спрату; узани изоловани отвори за уже; изолациони јастуци за машинерију и запущачи на процепима бродских отвора;
2. **Погон колица:** RTT је усвојен уместо MOT, помоћу 8 точкава редукује се оптерећење на

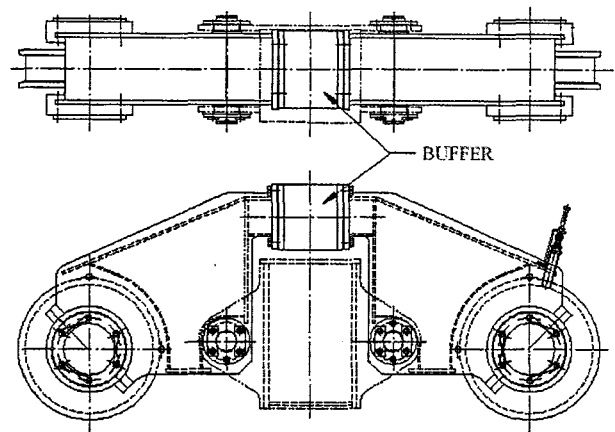
The Ceres cranes are the quietest cranes capable of serving 22-wide vessels. The noise abatement strategy resulted in only a minor increase in the cost of each crane. The following noise abatement strategy was used to reduce the noise level by 10dB(A) [7, 19]:

1. **Insulated Machinery House:** Sound-absorbing panels in the walls, roof, and floor; narrow insulated rope openings; isolation pads for machinery and plugs for hatch openings;
2. **Trolley Drive:** RTT instead MOT, eight wheels to reduce wheel load, and buffers to reduce wheel noise, Figure 14 [19];

- њих, а бафером се редукује ниво буке, слика 14 [19];
3. **Главни носач и препуст:** Мембране су укрупњене панелима, што није практично;
 4. **Колица за вожење каблова за напајање:** полуретански (синтетички) точкови и изоловани ослонци;
 5. **Кабина Холандског произвођача Мерфорд:** мање од 70 dB(A) у кабини.



Слика 14. Склоп точкова колица на Церес терминалу
Figure 14. Ceres terminal Trolley Bogie



7. ЗАКЉУЧАК

У зависности од формирања критеријума који власници терминала постављају пред чланове пројектног тима, а који су често међусобно супротстављени, врши се избор конструкције колица. Тако се нпр. у [20], за велике брзине кретања препоручује РТТ концепт, и као основна мана МОТ концепта наводе се дугачки водови електричних каблова, који због њихања и савијања могу бити узрок отказа. МОТ концепт, између осталог, има краћу ужад, мањи број савијања ужади преко котурова, нема проблема са вертикалним осциловањем празног хватача контејнера због дугачке ланчанице ужади између колица и превожних котурова, па се у случају евалуације приказаном у глави 5 њему даје предност. Савремени приступ пројектовању захтева и већу пажњу везану за утицај рада машине на околину, првенствено на ниво буке, посебно уколико је терминал лоциран у близини насеља. Тај захтев утиче и на избор концепта колица. Код МОТ концепта колица представљају главни извор буке, како од погона, тако и од точкова колица. Панели за апсорбовање буке и вибро-изолациони јастуци смањују ниво буке од машинерије монтиране на колицима, али тежина изолационих материјала повећава оптерећење на точкове, а самим тим и буку при њиховом котрљању. Ови проблеми често намећу усвајање РТТ концепта уместо МОТ. Оба концепта, дакле имају своје предности и мане, и биће способни да се развијају и у будућности. Код сваке куповине дизалице, власник терминала ће морати да оцени понуђена решења која ће најбоље

3. **Girder and Boom:** Stiffened web panels (not practical strategy);
4. **Festoon Trolley:** Polyurethane (synthetic) wheels and isolated supports;
5. **Merford cabin:** less than 70 dB(A) inside cabin.

7. CONCLUSION

Depending on the criteria imposed by the terminals' owners to the members of design team, which are often in collision, the selection of trolley design is performed. For instance in [20], the RTT concept is recommended for the high values of velocities. The main drawbacks of MOT concept are mentioned long electrical cables in the festoon system, which can be the causation of failure to operate due to their slapping and sagging. MOT concept, in addition to other reasons, has fewer ropes, less flexure of ropes on turning sheaves, there is no problems concerning vertical vibrations of empty spreader due to the catenary between trolley and turning sheaves. For those reasons MOT concept is beneficial comparing RTT system in evaluation presented in chapter 5. Modern approach in design requires a particular attention concerning environmental impact of machinery on neighboring communities when the terminal is located within close proximity of residential community. The noise abatement requirement resulted sometimes in decision to use a RTT system instead MOT system. With the MOT concept, the biggest noise source is the trolley, either from machinery inside the trolley or from the trolley wheels rolling on the rail. Noise absorbing panels and vibration isolation pads would reduce the noise from the machinery inside the trolley. But, the weight of these materials would significantly increase the trolley wheel load. The higher wheel load would then increase the rolling noise. Both types of trolley systems, RTT and MOT have beneficial site-specific applications, and are viable. For each crane purchase, the owner have to evaluate each design and then choose the design which best suits the site and all-

одговарати месту уградње и свеобухватним потребама експлоатације. Анализа трошкова и предности сваке од алтернатива биће разматрана од случаја до случаја.

round operational needs. The cost and benefits of each alternative should be considered in respect of specific case.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Zrnić Đ., Kosanić N., Čuprić N., Zrnić N.: Total performance design of transportation systems, Proceedings of International Conference on Industrial Systems, IS'2002, Vrnjacka Banja, 2002, pp. 164-171.
- [2] Zrnić N.: The influence of some container cranes design characteristics on terminal system performances, In: Modelling and Optimisation of Logistic Systems – Theory and Practice, edited by T. Banyai and J. Cselenyi, University of Miskolc, Hungary, 2001, pp. 159-171.
- [3] Zrnić N., Petković Z.: Povećanje produktivnosti lučkih terminala pomoću automatizacije kontejnerskih dizalica, Zbornik radova 6. međunarodnog savjetovanja o dostignućima elektro i mašinske industrije "DEMI 2003", Univerzitet u Banja Luci, Banja Luka, Republika Srpska, BiH, 2003, pp. 575-580.
- [4] Zrnić N., Petković Z.: Evaluation of design solutions for trolley of quayside container cranes, Proceedings of the 'IRMES 2002' Conference, University of Srpsko Sarajevo, Republic Srpska, Bosnia and Herzegovina, 2002, pp. 99-104.
- [5] Zrnić N., Hoffmann K: Development of design of ship-to-shore container cranes:1959-2004, In: Symposium on History of Machines and Mechanisms, edited by Marco Ceccarelli, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, Dodrecht / Boston / London, Printed in Netherlands, 2004, pp. 229-242.
- [6] Jordan M. A.: Purchasing cranes in a changing world, Proceedings of the Conference "PORTS '98", American Society of Civil Engineers, Long Beach, CA, USA, 1998, pp. 591-602.
- [7] Bhimani A. K., Hsieh J. K.: Cranes to serve ship in the slip Ceres Paragon terminal, Amsterdam, Proceedings of PORTS '01, American Society of Civil Engineering, Norfolk, VA, USA, 2001, section 30, chapter 3..
- [8] Morris C. A., Mc Carthy. P. W.: The impact of jumbo cranes on wharves, Proceedings of PORTS '01, American Society of Civil Engineering, Norfolk, VA, USA, 2001, section 30, chapter 4.
- [9] Bhimani A. K., Hoite S.: Machinery trolley cranes, Proceedings of PORTS '98, American Society of Civil Engineering, Long Beach, CA, USA, 1998, pp. 603-613.
- [10] Vazifdar F. R., Davis Rudolf III, C.: Masterclass on Crane Procurement, Modernization, and Maintenance, Presented at Conference "TOC Asia 2003", Hong Kong, China, February, 2003.
- [11] Bhimani A. K., Kerenyi J.: Rope towed or machinery trolley – which is better?, Facilities Engineering Seminar, American Association of Port Authorities, San Pedro, CA, USA, 1995.
- [12] Jordan M. A.: Future-Proof Your Crane, Terminal Operations Conference "TOC Americas '01", Miami, FL, USA, October, 2001.
- [13] Verschoof J.: Cranes - Design, Practice, and Maintenance, 2nd edition, Professional Engineering Publishing Limited, London and Bury St Edmund, UK, 2002.
- [14] Bhimani A. K., Morris C. A., Karasuda S.: Dockside Container Crane Design for the 21st Century, Presented at Container Efficiency Conference, World Trade Center, Singapore, March, 1996.
- [15] Morris C. A., Hoite S.: The future of quayside container cranes, China Ports '97, Post Conference Workshop, China, March 26, 1997.
- [16] Zrnić N., Dragović B., Petković Z.: Survey of some new concepts that increase STS container cranes productivity, Seminarband zu den Neuesten Ergebnisse auf dem Gebiet Foerdertechnik und Logistic "Miskolcer Gespraechе 2003", University of Miskolc, Miskolc, Hungary, 2003, pp. 133-138.
- [17] Zrnić N., Petković, Z.: Some problems in dynamics of STS container cranes, Proceedings of the XVII International Conference on Material Flow, Machines and Devices in Industry 'ICMFMDI 2002', Faculty of Mechanical Engineering Belgrade, Belgrade, Yugoslavia, 2002, pp. 1.82-1.87.
- [18] Petković Z., Zrnić N.: Uopredna analiza konstrukcija kolica obalskih kontejnerskih dizalica, Zbornik radova drugog skupa o konstruisanju, oblikovanju i dizajnu 'KOD 2002', Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, 2002, pp. 61-64.
- [19] Bhimani A. K., Sisson M. A., Morris C. A.: Reducing the environmental impact of quayside cranes on neighboring communities, Conference PORTS '2004, American Society of Civil Engineering, Houston, TX, USA, May 23-26, 2004.
- [20] Georgijević M.: Pretovar Kontejnera - Kontejneri, Terminali, Dizalice za Prenos Kontejnera, Automatizacija Rada, knjiga u pripremi za štampu.

Ovaj rad predstavlja deo istraživanja u okviru projekta Tehnološkog Razvoja TR 6344 "Istraživanje, razvoj i konstrukcija mašina za pretovar i skladištenje kontejnera i rasutih materijala", podržan od Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije.

This paper is a part of the research project in the field of technological development TR 6344 "Research, development and construction of machines for handling and stocking of containers and bulk materials", supported by Serbian Ministry of Science and Environmental Protection.