

Neven Grubišić, dipl. ing. / *B. Sc.*  
Dr. sc. Čedomir Dundović / *Ph. D.*  
Sveučilište u Rijeci / *University of Rijeka*  
Pomorski fakultet u Rijeci / *Faculty of Maritime Studies*  
*Rijeka*  
Studentska 2  
51000 Rijeka  
Hrvatska / *Croatia*

Pregledni članak  
*Review article*

UDK / *UDC*: 007.5  
627.332.073.23

Primljeno / *Received*:  
20. travnja 2011. / *20<sup>th</sup> April 2011*  
Odobreno / *Accepted*:  
31. svibnja 2011. / *31<sup>st</sup> May 2011*

## PRIMJENA SISTEMSKOG INŽENJERINGA U PLANIRANJU LUČKIH TERMINALA

### IMPLEMENTATION OF SYSTEM ENGINEERING IN PORT TERMINAL PLANNING

#### SAŽETAK

Lučki terminali imaju obilježja proizvodnih sustava gdje je potrebno u procesu planiranja i projektiranja utvrditi optimalnu konfiguraciju pojedinih komponenti radi ostvarivanja funkcionalnosti cjeline. Primjenom sistemskog inženjeringa u planiranju, uzimajući u obzir čitavi životni ciklus terminala, utvrđuju se kriteriji za vrednovanje sistemskih radnih svojstava radi izvršenja transportne usluge.

Kriteriji za ocjenjivanje radnih svojstava lučkog terminala svrstani su u dvije grupe: kriterije funkcionalnosti i kriterije tehničke kvalitete. Raščlanjivanjem kriterija unutar glavnih grupa funkcionalnih zahtjeva dobiveni su objekti sistemske analize te njihovi atributi koji pobliže opisuju funkcionalne zahtjeve.

U sklopu sistemske analize, na primjeru analize slučaja planiranja lučkog kontejnerskog terminala, identificirano je 14 objekata i 49 atributa kojima se opisuju kriteriji funkcionalnosti te 8 objekata i 36 atributa kojima se opisuju kriteriji tehničke kvalitete. Primjenom analitičkih metoda, izvršen je proračun vrijednosti najvažnijih atributa u odnosu na planirani lučki kontejnerski terminal te su utvrđena dva praga funkcionalnosti s obzirom na očekivani životni ciklus terminala.

**Ključne riječi:** planiranje i projektiranje lučkih terminala, sistemski inženjering, sistemska analiza, upravljanje životnim ciklusom, kriteriji za vrednovanje radnih svojstava, funkcionalnost luke, funkcionalni zahtjevi

#### SUMMARY

Port terminals have characteristics of production systems posing the need for optimal configuration of particular components to be determined for the purpose of the system functionality. By applying system engineering and considering the entire life cycle in terminal planning, port performance criteria are set-up for the evaluation of the system functionality performing transport services.

Criteria for the evaluation of the port terminal performance are grouped in functionality and technical quality criteria. System analyses carried out inside major functionality requirement groups have produced objects and their attributes describing functional requirements in more detail.

Within the case study of a new container terminal in the Primorsko-goranska County, 14 objects and 49 attributes of the system are identified describing the terminal functionality criteria. Further 8 objects and 36 attributes of the system describe the terminal technical quality criteria. By using analytical methods, the most important attributes have been evaluated and two functionality thresholds have been determined with respect to the terminal's estimated life cycle.

**Key words:** port terminal planning and design, system engineering, system analysis, life cycle management, performance criteria, port functionality, functionality requirements.

## 1. UVOD

Lučki terminali mogu se promatrati kao mjesta na kojima se odvija složeni proizvodni proces koji primarno uključuje transport tereta ili putnika. Obilježje tog procesa nije samo kretanje materijala i predmeta prijevoza već i kretanje transportnih sredstava, informacija i dokumenata. Za njegovo odvijanje potrebno je osigurati dovoljan broj resursa: energije, alata, pomoćnih materijalnih sredstava, uređaja i ljudi. Isto tako potrebno je uspostaviti mehanizme kontrole odvijanja procesa i garantirati njegovu pouzdanost kroz politiku održavanja tijekom čitavog životnog ciklusa.

Navedena obilježja jesu obilježja proizvodnog sustava pa je u postupcima planiranja i projektiranja lučkih terminala potrebno razmotriti primjenu metoda koje se koriste pri planiranju proizvodnih i industrijskih sustava.

Obilježje konvencionalnoga načina planiranja je njegova usmjerenost na pojedinačne elementarne dijelove sustava. Specijalisti u pojedinim područjima izrađuju projekt nezavisno na temelju nedovoljno poznatih ulaznih parametara. Često izostaju saznanja o utjecaju koje će pojedino tehničko rješenje imati na funkcionalnost sustava, u konkretnom slučaju na funkcionalnost lučkog terminala. Ukoliko na samom početku ne postoje točna saznanja o zahtjevima korisnika i nisu jasno utvrđeni tehnički i funkcionalni zahtjevi, sustav neće moći zadovoljiti očekivanja korisnika. U tom slučaju posljedice mogu biti znatni dodatni troškovi zbog potrebne prilagodbe projekta ili smanjeni radni učinak.

Za razliku od konvencionalnog pristupa planiranju, sustavni pristup uzima u obzir zahtjeve cjeline tehnološkog procesa te se na temelju dimenzioniranja sustava određuje sastav i dimenzije pojedinih dijelova, tj. elemenata. S obzirom da lučki terminali imaju obilježje proizvodnih terminala, njihovom planiranju i projektiranju treba pristupiti na sustavni način, tj. primjenom metode sistemskog<sup>1</sup> inženjeringa. U ovom radu to je glavna hipoteza koja će se obrazložiti i potvrditi kroz sistemsku analizu na primjeru planiranja novog kontejnerskog terminala na području Primorsko-goranske županije.

<sup>1</sup> Riječi sustav i sistem su istoiznačnice (prema lat. *systema*, engl. *system*). U ovom radu korištena su oba termina sukladno hrvatskoj znanstvenoj praksi.

## 1. INTRODUCTION

Port terminals may be observed as sites with an on-going complex production process including in the first place the transport of cargoes and passengers. The process is not featured just by movement of the objects of transport but also by movement of the transport equipment, information and documents. Its performance requires sufficient resources to be provided in terms of energy, tools, ancillary material assets, equipment and human resources. It also requires process performance control mechanisms to be established and its reliability to be guaranteed through the life-long maintenance policy.

These are production system features and, therefore, it is necessary for port terminal planning and design procedures to address the implementation of methods used in the production and industrial system planning.

One feature of the conventional planning method makes it oriented toward individual elementary parts of the system. The design work is carried out by specific field experts independently, on the basis of scarce input parameters. Often without any awareness of the impact that particular technical solution may produce upon the system functionality, in this particular case upon the port terminal functionality. Where the user's precise requirements are missing at the initial stage and technical and functionality requirements have not been clearly defined, the system will be unable to meet the user's expectations. As a consequence, either the significant additional costs may be incurred by the need for project adjustment or the reduced performance efficiency.

In contrast with the conventional approach to planning, in the system approach, requirements of the transport system are taken into consideration and, based on the system dimensioning, the composition and dimensions of particular elements are then determined. Considering port terminals as production systems, their planning and design work should be approached systematically, i.e. by using system engineering methods. This is the main hypothesis in the paper, that will be explained and confirmed through system analysis on the case study of the new container terminal development in the Primorsko-goranska County.

## 2. SISTEMSKI INŽENJERING

Sistemska inženjering primarno se vezuje uz proizvodni proces i napredne tehnologije poput informatike i robotike. No za njegovo razumijevanje najprije je potrebno utvrditi njegove bitne značajke.

Prema NASA priručniku, sistemska inženjering označava metodološki pristup projektiranju, realizaciji, tehničkom upravljanju, operativnim procesima i povlačenju nekog sustava iz eksploatacije. Sistemska inženjering je drugim riječima "logički način razmišljanja" [7, 3]. Pri tom je važno sagledavanje cjeline procesa kako bi se ostvarila očekivanja interesnih grupa ili korisnika u smislu funkcionalnih zahtjeva koji su postavljeni prema sustavu u planiranom razdoblju.

Bit sistemskog inženjeringa je sustavni pristup i njegov metodološki karakter. Složenost procesa zahtijeva primjenu sustavnog mišljenja tijekom čitavog životnog ciklusa, posebno u fazi planiranja i projektiranja. "Bit sustavnog mišljenja je sagledavanje funkcije i cilja postojanja promatranog predmeta, pojave ili organizacije, a ne samo njihove strukture i vanjskog izgleda" [4, 30].

Blanchard ističe u prvi plan svrhu sistemskog inženjeringa. Pri tome se naglašava znanstveni pristup i znanstvene metode u njegovoj primjeni kako bi se ostvarila funkcionalnost sustava, operabilnost i kompatibilnost različitih elemenata sustava. Svrha je kvalitetno osmišljen i tehnički razrađen projekt u kojem će se transformirati operativni zahtjevi u funkcionalni opis i parametre učinkovitosti, te kroz znanstvene metode osigurati optimalnu konfiguraciju sustava. Bitna obilježja sistemskog inženjeringa prema tome su sljedeća [1, 16]:

- pristup "od vrha prema dnu"<sup>2</sup> s naglaskom na funkcionalnost cjeline
- orijentacija na čitavi životni ciklus sustava<sup>3</sup>
- početna sveobuhvatna identifikacija sistemskih zahtjeva i njihova transformacija u projekt
- interdisciplinarnost i timski rad.

Uloga sistemskog inženjeringa je vođenje procesa inženjeringa kompleksnih sustava. Vođenje podrazumijeva upravljanje, a inženjering

<sup>2</sup> engl. Top-Down

<sup>3</sup> engl. System Life-Cycle

## 2. SYSTEM ENGINEERING

System engineering is primarily related to the production process and advanced technologies such as information science and robotics. However, to understand what it is, it is necessary to determine its characteristics.

According to the NASA manual, system engineering means a methodological approach to design, development, technical management, operational processes and system withdrawal from exploitation. In other words, system engineering is a "logical way of thinking" [7,3] which requires to see the big picture of the process as a whole in order to meet the expectations of the stakeholders in terms of system functionality in the planned period.

The system approach and the methodological nature are essential features of system engineering. Complexity of the processes requires a systematic consideration during the entire life cycle and particularly during the phase of planning and design. "The essence of systematic consideration is to perceive the function and purpose of the object, phenomenon or organisation observed, rather than their structure and external appearance only". [4, 30]

According to Blanchard, the purpose of system engineering is to be attached primary importance. Further emphasis should be put on the scientific approach and the scientific methods used in its implementation, aimed at achieving functionality, operability and compatibility among different system elements. The purpose is a well structured and technically elaborated project for operational requirements to be transformed in functional description and performance criteria. The optimum system configuration should be achieved by using scientific methods. Therefore, the main characteristics of the system engineering are the following: [1, 16]

- "Top-down" approach with the emphasis on functionality of the whole,
- "System Life-Cycle" orientation,
- initial comprehensive identification of system requirements and their transformation in project,
- interdisciplinarity and team work.

It is the role of system engineering to carry out complex system engineering processes.

kao proces obilježava korištenje znanstvenih metoda u praktične svrhe. Inženjering obuhvaća postupke planiranja, projektiranja, izgradnje i nabave te operativne postupke nakon što je postrojenje izgrađeno. Prema [5] bitno obilježje sistemskog inženjeringa je kompleksnost sustava, pa se postavlja pitanje kod kojih sustava je poželjna njegova primjena.

Kompleksnost pretpostavlja širi opseg djelatnosti i struka koje je potrebno uključiti u proces planiranja i projektiranja sustava. Kod projektiranja luke i lučkih terminala to uključuje građevinski projekt radi izgradnje lučkih građevina, uređenje operativnih površina, izgradnju objekata, zatim projekte energetske mreže, tehničke specifikacije transportnih sredstava, maritimne studije kojima se procjenjuju rizici i definiraju uvjeti sigurnosti uplovljavanja, isplovljavanja i boravka broda u luci, te napokon tehnološki projekti koji definiraju tehnologiju rada i tehnološke procese. Osim tehničke i tehnološke razine, kompleksnost lučkog sustava očituje se i u potrebi izrade modela funkcionalnosti na razini organizacije i prometne logistike.

Sistemska inženjering je poželjno primijenjivati kod proizvodnih sustava koji imaju sljedeća obilježja [5, 11]:

- proizvod ili usluga zadovoljava unaprijed definirane potrebe
- različite komponente stvaraju međusobne složene korelacije zbog čega je potreban multidisciplinarni pristup projektiranju
- koriste naprednu tehnologiju za obavljanje primarne funkcije što često implicira znatne troškove i povećanje rizika.

Lučki terminali razlikuju se po svojoj specifičnoj namjeni no svi oni moraju udovoljiti funkcionalnim i tehničkim kriterijima prema zahtjevima korisnika i tehničkim standardima. Veličine kriterija razlikuju se u ovisnosti o vrsti broda, vrsti i količini tereta, načinu distribucije tereta, sigurnosnim zahtjevima za pojedine terminale i sl.

Nadalje, komponente lučkih terminala objedinjene u funkcionalnu cjelinu stvaraju pretpostavke za obavljanje tehnoloških procesa na terminalu. Njihovo projektiranje zahtijeva specijalistički i multidisciplinarni pristup pri čemu uvijek treba imati na umu krajnji rezultat – ostvarivanje pune funkcionalnosti sustava. Tako je na samom početku prije projektiranja lučkih

Leading implies management, and engineering, as a process, denotes utilization of scientific methods for practical purposes. Engineering comprises planning, design, development and procurement procedures as well as operational procedures following plant construction. According to [5], in the core of the system engineering is the system complexity, and thence the question what systems will make its implementation desirable.

Complexity implies a wider range of activities and lines of work required to be included in the process of system planning and design. Where port and port terminals are involved, the requirements include development of the preliminary and main design in respect of the construction of the port structures, surfacing, facility construction, electric power grid project, technical specifications for transport equipment, maritime safety studies dealing with risk assessment and safety conditions in respect of the vessels' arrival, departure and stay at port, and finally transport technology projects defining material handling processes. Apart from the technical and technological level, the port system complexity is also reflected in the need for the functionality model to be elaborated at the level of organisation and transport logistics.

It is desirable for the system engineering to be implemented in the production systems of the following features: [5, 11]

- product or service meeting predefined requirements,
- complex correlations created by and between different components require a multidisciplinary approach to design work,
- advanced technologies used for the performance of primary function often imply significant costs and risk increase.

Port terminals vary by their specific purpose, but all of them must comply with the functional and technical performance criteria in accordance with the users' requirements and technical standards. Performance criteria dimensions depend on the type of vessel, type and quantity of cargo, cargo distribution mode, particular terminal safety requirements, etc.

Integration of the port terminal components into a system is the only way to make it possible for transport processes to be carried out. A properly component design requires specialist



građevina potrebno izvršiti hidrografska mjerenja, geotehnička istraživanja, utvrditi prometno-sigurnosne uvjete, itd. Analitičkim postupcima sadržanim u sistemskoj analizi potrebno je utvrditi veličinu pojedinih kriterija te njihove vrijednosti koristiti kao ulazne podatke za građevinske konstrukcije, način skladištenja i veličinu skladišnog prostora, izbor rekreajne opreme i transportnih sredstava, izbor razine automatizacije i informatizacije, odabir načina održavanja itd.

Lučki terminali dio su prometne infrastrukture s obilježjima dugog trajanja životnog ciklusa i visokim investicijskim troškovima. S druge strane transportnu djelatnost prate visoki zahtjevi u pogledu funkcionalnosti i kvalitete tehnoloških procesa što također implicira korištenje opreme visoke vrijednosti i tehnološke razine. Rizik je u takvim okolnostima povećan s obzirom na veću vjerojatnost nastajanja promjena u transportnoj potražnji tijekom životnog ciklusa i mogućnosti promjena u funkcionalnim zahtjevima korisnika. Osjetljivost je tim veća ako se radi o terminalima koji imaju pretežito tranzitnu funkciju za određenu regiju.

Može se zaključiti da lučki terminali s relativno visokom potrebnom razinom automatizacije i informatizacije zahtijevaju punu primjenu sistemskog inženjeringa. Takvi terminali izloženi su većim pritiscima od strane korisnika i suočeni su s potrebom optimizacije korištenih resursa. Složenost same strukture terminala, od morske, obalne i kopnene infrastrukture, uređaja, objekata i opreme do organizacije rada i održavanja funkcionalnosti, potvrđuje tezu da su lučki terminali kompleksni sustavi kod kojih je potrebno primijeniti metodološki pristup sistemskog inženjeringa.

### 3. PLANIRANJE LUČKOG TERMINALA PREMA LCM<sup>4</sup> KONCEPTU

LCM koncept predstavlja metodološki pristup planiranju kod kojeg se uzima u obzir čitavi operativni vijek terminala ili drugim riječima njegov cijeli životni ciklus. Proizvodnja transportne usluge planira se i provodi po postupcima sistemskog inženjeringa pri čemu se osigu-

<sup>4</sup> LCM – engl. Life Cycle Management – Upravljanje životnim ciklusom

and multidisciplinary approach to achieve full functionality of the system. Before the design, it is necessary to carry out various preliminary works, such as hydrographic measurements, geotechnical investigations, transport safety conditions, etc. By using system analysis, particular criteria dimensions should be developed and their values calculated using analytical tools. Those values are used as input data for designing building structures, storage area, selection of handling equipment, selection of automation and ICT technology levels, type of maintenance, etc.

Port terminals are integral parts of the transport infrastructure characterized by long life cycle and high investment costs. On the other hand, transport today has high functional and quality requirements, which imply the utilization of high-tech and high value equipment. In such circumstances, the risk is higher due to a greater probability for changes in transport demands during the life cycle and for changes in the users' functionality requirements to take place. Risk sensitivity is even higher for terminals with a dominant transit role for particular regions.

It may be concluded that port terminals, with a relatively high level of automation and information technology requirements, will require a full implementation of the system engineering. Such terminals are one more pressure from the users to optimize the resources used. The complexity of the terminal structure ranging from maritime and land infrastructure, facilities and equipment, to operation and maintenance organisation, confirms the thesis that port terminals are complex systems requiring implementation of the system engineering.

### 3. PORT TERMINAL PLANNING IN ACCORDANCE WITH THE LCM (LIFE CYCLE MANAGEMENT) CONCEPT

The LCM concept represents methodological approach to planning whereby the entire operational life of a terminal or its entire life cycle is taken into consideration. Transport services are planned and performed in accordance with the system engineering procedures, thus providing a higher degree of functionality

rava veći stupanj funkcionalnosti i kvalitete uz optimalno korištenje resursa.

U okviru LCM mogu se izdvojiti četiri ključne etape:

1. projektiranje
2. izgradnja i/ili nabava opreme
3. eksploatacija i održavanje
4. recikliranje ili prenamjena

Etapa projektiranja uključuje izradu konceptualne razvojne studije ili tzv. "master" plana luke, idejnog projekta, studije izvodljivosti, studije utjecaja na okoliš te glavnog projekta. Važno je, međutim, naglasiti da su u ovoj etapi sadržane i sve aktivnosti koje prethode izradi projektne dokumentacije ili se odvijaju u sklopu njezine izrade. Te aktivnosti uključuju elemente sistemskog inženjeringa: sistemsku analizu, definiranje eksploatacijskih zahtjeva, funkcionalnu analizu i sl.

Kod projektiranja lučkog terminala naglasak treba staviti na funkcionalnost. Terminal treba biti funkcionalan i u slučaju neočekivanih događaja što znači da treba imati spremnu rezervnu

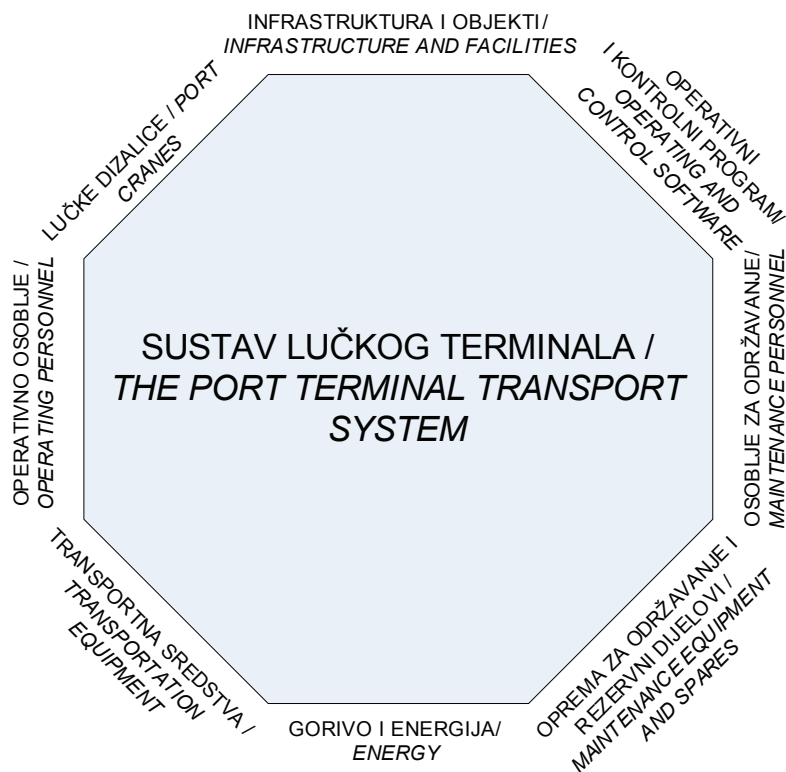
and quality control with the optimal utilization of resources.

There are four key stages within the LCM:

1. planning and design
2. construction and/or procurement
3. operation and maintenance
4. withdrawal and recycling or upgrade

The design stage includes the port conceptual development study or master plan, preliminary design, feasibility study, environmental study, and detail engineering. It is important to point out, however, that this stage also comprises all activities preceding or going on within the design documentation draw-up. Such activities include system engineering elements: system analysis, operation requirements set-up and functional analysis.

In designing a port terminal, the emphasis should be put on functionality. The terminal must be functional even in the case of unexpected events, meaning that an alternative option should be activated in case the system primary elements should fail. Such reaction is attributed to the relocation of resources.



Slika 1. Glavni elementi proizvodnog sustava lučkog terminala  
Figure 1 Main components of the port container terminal system

Izvor / Source: Autor / Author

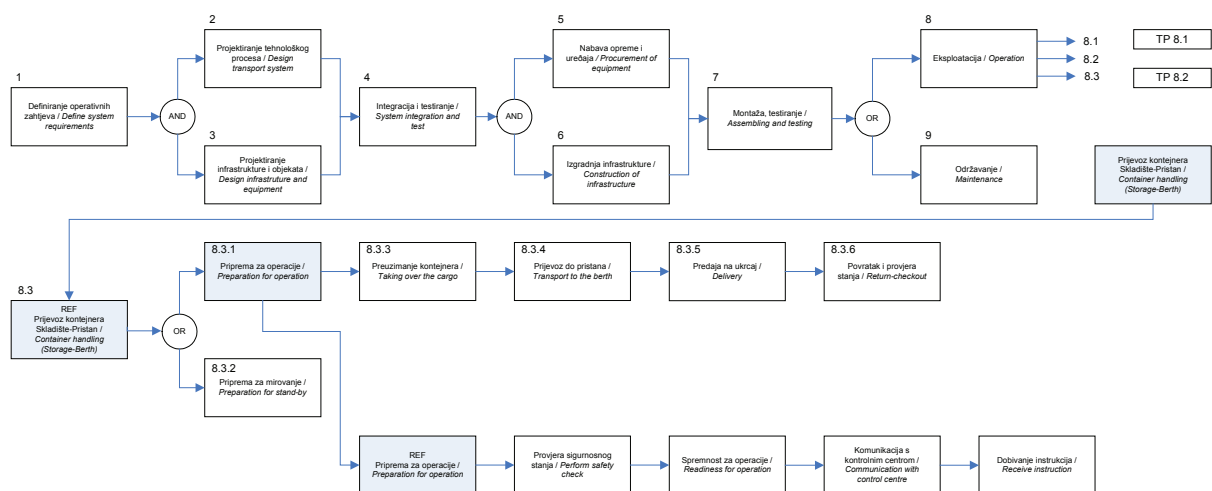
varijantu u slučaju ispadanja primarnih elemenata sustava. Ta reakcija svodi se na preraspodjelu resursa, bilo infrastrukturnih, tehničkih, ljudskih ili informacijskih.

Primarni elementi jesu oni kojima se odvija glavni tehnološki proces – prekrcaj i uskladištenje tereta. To uključuje resurse koji su potrebni za odvijanje procesa: infrastrukturu, lučke dizalice, transportna sredstva, operativni softver, radnike, te energetske resurse. Sekundarni elementi su oni kojima se održava funkcionalnost sustava. Resurse potrebne za održavanje funkcionalnosti čine radnici na održavanju, oprema za testiranje i mjerenje, kontrolni softver i rezervni dijelovi.

Dok se sistemskom analizom definiraju funkcionalni zahtjevi, za operativno upravljanje proizvodnim sustavom i održavanje njegove funkcionalnosti potrebno je definirati broj, poziciju i važnost pojedinih resursa. U okviru sistemskog inženjeringa ovaj postupak se naziva funkcionalna analiza. Njezin prvenstveni cilj je definirati i raščlaniti tehnološke procese radi utvrđivanja potrebnih resursa za obavljanje redovite eksploatacije i za održavanje funkcionalnosti sustava. Funkcionalna analiza vezuje se uz automatizirane procese za koje je potrebno unaprijed definirati procedure djelovanja. Kada su procedure tako definirane moguće je optimizirati proces nekom od metoda optimizacije. Primjer strukture funkcionalne analize kod kontejnerskog terminala prikazan je na slici 2.

Primary elements are those related to the performance of the main transport operation – cargo loading/unloading and storage. This process includes resources necessary for the operation: infrastructure, port cranes, handling equipment, operating software, operating personnel and energy supply. Secondary elements serve the maintenance of the system functionality. The resources necessary for the maintenance consist of staff maintenance, testing and measuring equipment, control software and spare parts.

While the purpose of the system analysis is to define functional requirements, within the system operational management and system maintenance management, the number, position, and importance of particular resources need to be defined. This procedure, within the frame of the system engineering is known as functional analysis. Its primary goal is to define and analyse processes and procedures in order to set up and allocate the required resources necessary for normal production and system maintenance. Functional analysis is related with the automated processes requiring predefined operational procedures. Once the procedures have been so defined, the optimization process becomes possible by using any optimization method. An example of the container terminal functional analysis structure is presented in Fig. 2.



Slika 2. Struktura funkcionalne analize – kontejnerski terminal  
Figure 2 Functional analysis structure – container terminal

Izvor / Source: Autor prema [1] / Author according to [1]

#### 4. KRITERIJI ZA VREDNOVANJE RADNIH SVOJSTAVA

Primjenom sistemskog inženjeringa i LCM koncepta u planiranju i projektiranju luka i terminala utvrđuju se kriteriji za vrednovanje njihovih radnih svojstava radi izvršenja transportne usluge. Kroz te kriterije vrednuje se funkcionalnost luke i terminala kao proizvodne cjeline.

Prema [6, 8] kriteriji se svrstavaju u dvije grupe:

- kriteriji funkcionalnosti
- kriteriji tehničke kvalitete.
- Kriteriji funkcionalnosti

Funkcionalnost predstavlja razinu ostvarivanja glavnih funkcija za koje je terminal izgrađen prema funkcionalnim i operativnim zahtjevima korisnika. Pri tom korisnici mogu biti različite interesne skupine. Prvenstveno su to brodari, lučki operateri, logistički operateri, prijevoznici i drugi.

Kriteriji funkcionalnosti mogu se raščlaniti na tri glavne grupe:

- primarni zahtjevi
- uslužnost
- raspoloživost ili dostupnost.

Unutar glavnih grupa potrebno je funkcionalne zahtjeve detaljnije utvrditi. Raščlanjivanjem ovih grupa kriterija dobiveni su objekti sistemске analize koji pobliže opisuju grupu funkcionalnih zahtjeva. U objekte sistemске analize spadaju:

- transportna potražnja
- vrsta i dimenzije brodova
- dubina mora
- prometno-tehnička obilježja plovnog puta i akvatorija
- opterećenja i nosivost obale
- tehničko-tehnološka svojstva prekrcajnih uređaja
- konfiguracija terminala
- površina terminala
- propusnost kopnenog prometnog podsustava
- vrijeme trajanja eksploatacijske faze u okviru LCM-a.

#### 4. PERFORMANCE CRITERIA

The implementation of the system engineering and the LCM concept in port and terminal planning and design requires the lay down of performance criteria. By doing that, it is possible to evaluate the terminal operational performance and the level of functionality.

In accordance with [6, 8], there are two groups of criteria:

- functionality,
- technical quality.
- Functionality

Functionality represents the level of performance of main terminal functions in accordance with the users' operational requirements. The users may be represented by different stakeholders. They are in the first place shipping companies/owners, port operators, logistics operators, hauliers and others.

Functionality may be divided into three major groups:

- primary requirements,
- serviceability,
- availability.

Functional requirements may be further divided into objects of the system analysis, giving a closer description of each particular group. Objects of the system analysis include the following items:

- transport demand,
- vessel type and size,
- sea depth,
- navigational characteristics of fairway and port basin,
- quay load and capacity,
- technical characteristics for the loading/unloading equipment,
- terminal configuration,
- terminal surface,
- inland transport system capacity,
- duration of the operation phase within the LCM.

Primary requirements may also include other dimensions depending on the type of terminal.



Primarni zahtjevi mogu uključivati i druge veličine ovisno o specifičnosti pojedine vrste terminala. Pojedini objekti sadrže atribute koji poblizje opisuju pojedine funkcionalne zahtjeve, kao što su primjerice dubina prilaznog plovnog puta, površina akvatorija, duljina pristana, itd.

Uslužnost predstavlja funkcionalni zahtjev s obzirom na kvalitetu usluge i kvalitetu lučke infrastrukture. Kriteriji koji određuju razinu uslužnosti odnose se na različite tehnološke parametre: vrijeme čekanja na vez, intenzitet opsluživanja, produktivnost terminala, jednostavnost pristupa i korištenja pristana, kompatibilnost infrastrukture te lučkih objekata i uređaja, itd. Promjene veličine brodova mogu utjecati na snižavanje razine uslužnosti terminala što može biti razlog za podizanje prethodno utvrđenog praga funkcionalnosti i redizajniranje sustava.

Raspoloživost predstavlja kriterij kojim se vrednuje kvaliteta održavanja terminala u funkcionalnom stanju tijekom čitavog životnog ciklusa. Osim potrebe minimiziranja zastoja u radu zbog održavanja, bitna je brzina reakcije na izvanredne događaje koji mogu nastupiti uslijed utjecaja izvana, npr. vremenskih i klimatskih promjena.

#### *Kriteriji tehničke kvalitete*

Tehnička kvaliteta predstavlja razinu udovoljavanja tehničkim zahtjevima i standardima te zahtjevima zaštite okoliša i društvene prihvatljivosti. U ovom slučaju tehnički zahtjevi se odnose na zahtjeve interesnih grupa koje nisu direktno uključene u osnovni tehnološki proces – transport tereta.

Objekti systemske analize koji se odnose na kriterije tehničke kvalitete jesu [6, 40]:

- sigurnost i zaštita
- hidrološki uvjeti
- klimatski uvjeti
- trajnost građevina, objekata i uređaja
- način održavanja
- društvena i ekološka prihvatljivost
- mogućnost proširenja ili dogradnje
- mogućnost uklanjanja ili prenamjene.

Kod planiranja i projektiranja luke nije dovoljno proizvesti tehnički korektan projekt već taj projekt mora biti konceptualno odgovaraju-

Particular objects contain attributes describing functional requirements in details, such as fairway depth, port basin dimensions, quay length, etc.

Serviceability denotes a functional requirement related to conveniences of services and port infrastructure quality. The developed criteria for the serviceability level measurement refer to different transport technology parameters: waiting time, service rate, berth and terminal productivity, berth accessibility, compatibility of infrastructure with port facilities and equipment, etc. Changes in the vessel size may lead to a lower level of serviceability through timeline. Consequently, this requires the increment of the original functionality level and the system to be upgraded or redesigned.

Availability denotes the quality level of maintenance for the terminal to keep its functionality through the timeline of the life cycle. Apart from the need for minimization of the system breakdown time due to maintenance works, it is very important to reduce time for reaction when an unexpected event caused by external conditions occur.

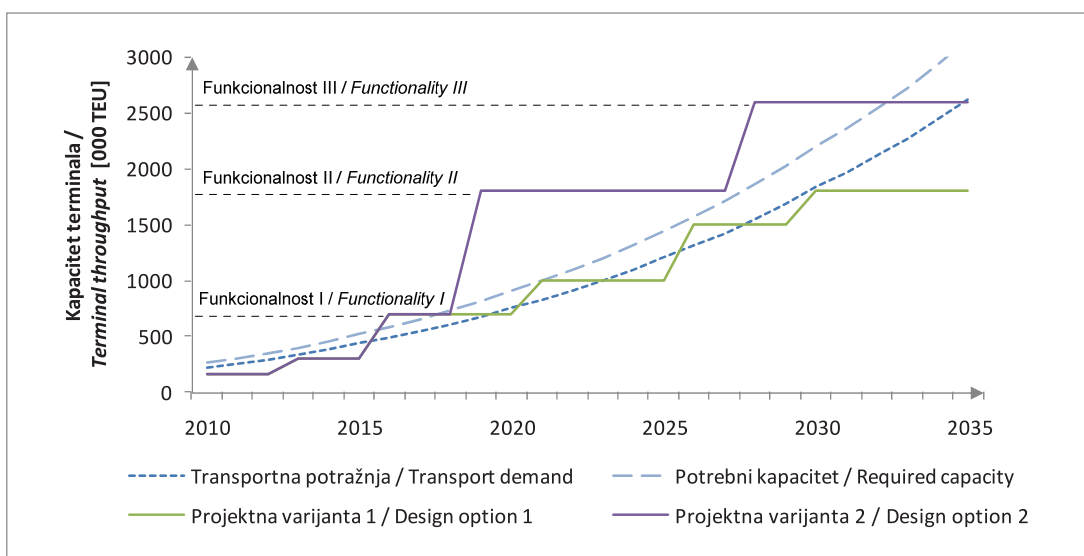
#### *Technical quality criteria*

Technical quality represents the technical requirements level and standards as well as environmental protection and social acceptability requirements are met at. In this case, technical requirements refer to requirements posed by stakeholders not directly involved in the basic transport process.

Objects of the system analysis concerning technical quality criteria: [6, 40]

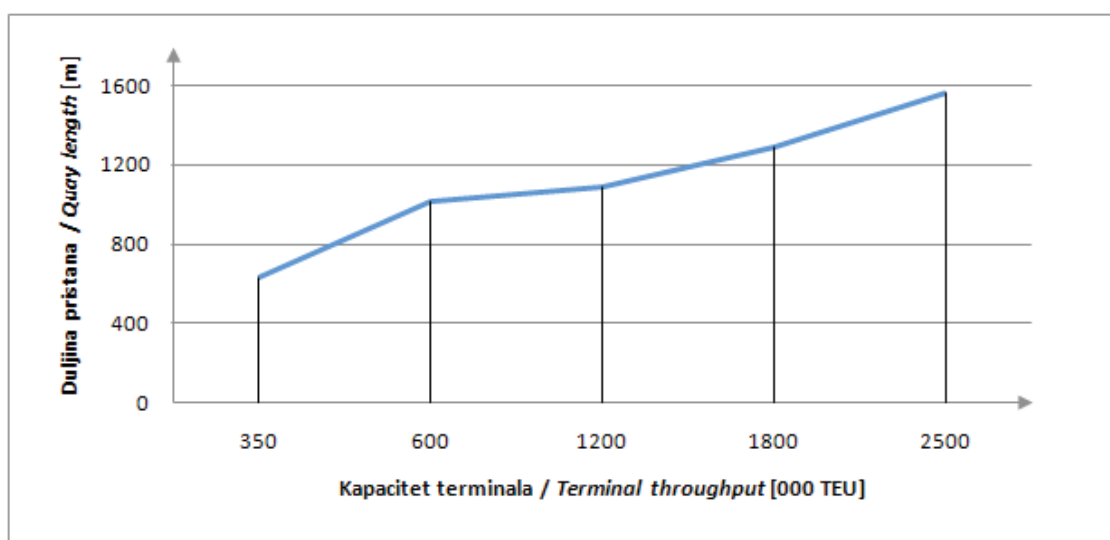
- safety and security,
- hydrological conditions
- climate conditions,
- durability of structures, facilities and equipment,
- maintenance type,
- social and environmental viability,
- possibility of extension or upgrade,
- possibility of removal or disposal.

In the port planning and design, it is not enough for a technically correct project to be produced but also to be properly designed with



**Slika 3.** Razine funkcionalnosti za različite projektne varijante kontejnerskog terminala  
**Figure 3** Functionality levels for different design options of the C/T

Izvor / Source: Autor / Author



**Slika 4.** Međuovisnost kriterija funkcionalnosti  
**Figure 4** Interdependence of the functional criteria

Izvor / Source: Autor / Author

ći s obzirom na funkcionalnost i očekivanja korisnika. Funkcionalnost se mora ostvarivati kroz čitavi životni ciklus terminala. Problem predstavlja činjenica da se zahtjevi korisnika povećavaju tijekom trajanja životnog ciklusa (primjerice, zahtjevi za prihvatom većih brodova). Postepenim povećavanjem funkcionalnih zahtjeva kroz određeno razdoblje, u jednom momentu dostiže se granica funkcionalnosti prema kojoj je terminal projektiran. Da bi se udovoljilo zahtjevima korisnika potrebno je po-

respect for functionality and the users' expectations. Functionality should be achieved for the entire life cycle of the terminal. The problem is that the users' requirements keep growing during the life cycle (eg. requirements for accommodation of larger-size vessels). As functional requirements gradually grow during the timeline, at a certain moment they reach the designed functionality limit. In order for the users' requirements to be met, it is necessary to set-up a new, higher functionality limit which usually

staviti novu, veću granicu funkcionalnosti što obično znači modernizaciju građevine, objekta, tehnologije ili nekog podsustava terminala koji ima graničnu funkcionalnost.

Tijekom eksploatacije terminala dolazi do trošenja infrastrukture i tehničkih sredstava te vremenom početna razina kvaliteta opada uslijed potrebe za češćim održavanjem. Prije nego tehničko stanje dosegne dopušteni minimum za operativnost terminala potrebno je podići razinu tehničke kvalitete. To znači ažurirati postojeći projekt, izvršiti adaptaciju ili nadogradnju pojedine komponente.

## 5. ANALIZA SLUČAJA NOVOG KONTEJNERSKOG TERMINALA NA PODRUČJU PRIMORSKO-GORANSKE ŽUPANIJE

Projektiranje terminala primjenom sistemskog inženjeringa i LCM-a moguće je raščlaniti na tri glavne etape:

- definiranje korisničkih zahtjeva (zahtjeva broдача, "inland" operatera, itd.),
- formiranje kriterija funkcionalnosti i tehničke kvalitete,
- pretvaranje funkcionalnih zahtjeva u projektna rješenja, odnosno izrada maritimnog, tehnološkog, građevinskog, energetskog i informatičkog projekta.

Prva etapa u projektiranju terminala je definiranje korisničkih zahtjeva. Osim zahtjeva u ovoj etapi potrebno je identificirati interesne grupe, tj. korisnike. Važno je doznati kakva su očekivanja korisnika, u kojoj mjeri im je luka važna i u kojoj mjeri ju namjeravaju koristiti.

U konkretnom primjeru, kao glavni korisnici identificirani su lučka uprava, lučki operateri, brodari te željeznica. U korisnike je potrebno ubrojiti i vrste brodova koji se očekuju na terminalu s njihovim tehničkim specifikacijama.

Nakon toga slijedi formiranje kriterija funkcionalnosti, analitički proračun te pridruživanje vrijednosti pojedinim atributima. U primjeru se analitički proračun odnosi na određivanje duljine pristana, konfiguraciju i površinu terminala te propusnost sučelja prema kopnenom transportu. S obzirom na očekivani životni ciklus terminala predviđene su dvije razine funkcionalnih zahtjeva. Polazište za utvrđivanje grani-

implies the upgrading of a structure, facility, material handling equipment or any other system component of a marginal functionality.

Terminal exploitation involves wear and tear of the infrastructure and handling equipment so that, with the passing of time, the initial quality level is reduced as more frequent maintenance becomes necessary. Before reaching the minimum allowed for technical condition to secure a terminal operation, it is necessary to increase the quality level. This means having the existing design updated and, particularly, component upgraded or extended.

## 5. CASE STUDY OF THE NEW C/T WITHIN THE PRIMORSKO-GORANSKA COUNTY

The terminal design, using system engineering and the LCM concept, may be divided into three main stages:

- defining the users' requirements (owners, inland operators, etc.),
- creating functional and technical performance criteria,
- converting functional requirements to design solutions, i.e. drawing up maritime safety, material handling, civil engineering, energy supply and information technology designs.

The first stage in the terminal design is concerned with defining the users' requirements. Apart from requirements, this stage is also concerned with the identification of stakeholders. It is important to know what are the users' expectations regarding the scope of the port utilization and of the importance they attach to the port.

In this case study, the principal users have been identified among the port authority, port operators, shipping companies and inland operators. The users should also include vessels according to her type, size and technical characteristics that are expected at the terminal.

After that, performance criteria have been set-up, calculation performed, and values attached to particular attributes. In this case, calculation refers to the determination of the quay length, terminal area configuration as well as the inland transport interface and capacity. Considering the expected life cycle of the ter-

**Tablica 1.** Potrebna duljina pristana za očekivani promet kontejnera**Table 1** Length of the quay for the expected terminal throughput

Q [TEU]	$k_o$	q	r	p	N	$n_{vez}$	$l_b$	$L_p$
355,000	0.5	25	2.7	0.67	350	1.88	280	631
637,000	0.6	25	2.7	0.67	350	2.81	300	1,011
1,200,000	0.7	27	4	0.67	350	2.83	320	1,088
1,800,000	0.8	30	4	0.67	350	3.35	320	1,286
2,500,000	0.8	30	5	0.67	350	3.72	350	1,563

gdje je / where:

Q – očekivani godišnji promet na terminalu (TEU/god) / *expected annual throughput (TEU/year)*

$k_o$  – faktor iskorištenja veza / *berth occupancy factor*

q – produktivnost prekrcajnog mosta (c/h) / *crane productivity per hour (c/h)*

r – prosječni broj ruku (dizalica) po jednom brodu / *average number of gangs (cranes) per vessel*

p – prosječni dnevni udio vremena rada terminala na tjednoj bazi / *fraction of operation time for a week*

N – ukupni broj radnih dana godišnje / *number of annual working days*

$n_{vez}$  – broj vezova / *number of berths*

$l_b$  – duljina broda / *ship length*

$L_p$  – duljina pristana / *quay length*.

ce funkcionalnosti bila je očekivana prometna potražnja koja je postavljena na razini od 1,2 mil TEU-a i 1,8 mil. TEU-a.

Većinu kriterija tehničke kvalitete potrebno je utvrditi tijekom postupka projektiranja. Ovi kriteriji dijelom proizlaze iz tehničkih i sigurnosnih standarda, a dijelom su izbor planera i projektanta, tj. predstavljaju projektne zahtjeve koje u užem smislu definira investitor, a u širem smislu interesne grupe.

U konkretnom primjeru, kriteriji tehničke kvalitete pretpostavljeni su i generalizirani te su primarno navedeni u kontekstu razumijevanja primjene metoda systemske analize i systemskog inženjeringa.

#### **Određivanje broja vezova i duljine pristana**

Broj vezova  $n$  ovisi o ukupnom očekivanom godišnjem prometu na terminalu, faktoru iskorištenja veza, produktivnosti prekrcajnog mosta, prosječnom broju ruku (dizalica) koje izvođe ukrcaj/iskrcaj po jednom brodu, prosječnom dnevnom udjelu vremena rada terminala na tjednoj bazi, te ukupnom broju radnih dana godišnje.

S obzirom da se očekuje da će terminal opsluživati brodove različitih veličina preferira se izvedba pristana u liniji, a ne u L ili T izvedbi. U tom slučaju povećava se faktor iskorištenja veza iznad 0,7 jer je brodove različite veličine moguće tada bolje prostorno-vremenski raspo-

minimal, there have been two functionality levels provided for. The baseline for the determination of the functionality limit was the expected transport demand set at the level of 1.2 mil TEU and 1.8 mil TEU respectively.

The majority of the technical quality criteria need to be determined during the design process. Those criteria are partly derived from technical and safety standards, and partly are selected by planners and designers, i.e. they represent the design requirements which are in a restricted sense defined by investors, and in a wider sense by stakeholders.

In this case, the technical quality criteria have been presumed and generalized with the main purpose to understand the implementation of the system analysis and system engineering methods.

#### **Estimation of quay length and number of berths**

The berth number  $n$  depends on the total annual turnover expected at the terminal, berth occupancy factor, shore crane productivity rate, average number of gangs per vessel, terminal operating hours on a weekly basis, and on the total number of working days annually.

The terminal being expected to handle vessels of different sizes, preference is given to the construction of straight line berths rather than an L or T-shaped ones. In this case, the berth occupancy factor exceeds 0.7 because different-



rediti po pristanu. U slučaju linijskog pristana broj kontejnerskih vezova nije fiksno određen, već se pozicije određuju dinamički ovisno o veličini broda. Stoga veličina  $n$  ne mora imati cjelobrojnu vrijednost već može biti realni broj. U primjeru je korišten model prema [9, 33], a rezultati su prikazani u tablici 1.

### ***Određivanje površine i konfiguracije kontejnerskog terminala***

Površina terminala izračunava se tako da se zbroje površine pojedinih zona. Ukupnu površinu terminala čine:

- obalna operativna površina ( $A_{ob}$ )
- površina slagališta uključujući prometne površine za manipulacije ( $A_{skl}$ )
- cestovno-željeznička operativna površina ( $A_{ko}$ )
- površina za željeznicu ( $A_z$ )
- površina parkirališta za kamione ( $A_{park}$ ).

Ukupna površina kontejnerskog terminala (bez površina za usluge s dodanom vrijednošću) dobije se iz izraza [2, 295]:

$$A_{KT} = A_{ob} + A_{skl} + A_{ko} + A_z + A_{park} \text{ [ha].}$$

Obalna operativna površina ( $A_{ob}$ ) predstavlja površinu na kojoj se obavlja ukrcaj/iskrcaj kontejnera s broda te prijevoz kontejnera do i od slagališta. Površina slagališta ( $A_{skl}$ ) definirana je veličinom i brojem blokova za slaganje kontejnera. Pritom je najvažnija veličina površina kontejnerske pozicije<sup>5</sup>, koja određuje jediničnu površinu za 1 TEU jedinicu ( $A_{ks}$ ), a izračunata je na temelju analitičkog modela [2, 295].

S obzirom da proračun površina ovisi o transportnoj potražnji, napravljen je izračun za dva scenarija, tj. za promet od 1.200.000 TEU/god i za promet od 1.800.000 TEU/god. Ovi scenariji predstavljaju dvije razine funkcionalnih zahtjeva (Slika 3). Za svaku razinu uzete su u obzir tri različite tehnologije rada na terminalu: tehnologija sa "straddle carrier" prijenosnicima, tehnologija s RMG prijenosnicima u kombinaciji s AGV automatskim vozilima te tehnologija s ASC dizalicama i "shuttle carrier" prijenosnicima.

<sup>5</sup> kontejnerska pozicija ili engl. *slot* je prostor za smještaj 1 TEU jedinice.

sized vessels may be better accommodated along the quay both in terms of space and time. In case of straight line berths, the position of the container berths is not strictly fixed, but dynamically determined in dependence on the vessel size. Thus,  $n$  does not have an integer value and may be a real number instead. In our example, the used model was in accordance with [9, 33], and results have been displayed in the table 1.

### ***Configuration and estimation of the container terminal surface area***

The terminal area is calculated as the sum of the surfaces of certain zones. The total terminal area consists of:

- the ship-to-shore handling area ( $A_{ob}$ ),
- the storage area including paths for material handling equipment ( $A_{skl}$ ),
- the inland transport handling area ( $A_{ko}$ ),
- the railway station transfer area ( $A_z$ ),
- the parking area ( $A_{park}$ ).

The total container terminal area, without the commercial zone, can be calculated according to [2, 295]:

$$A_{KT} = A_{ob} + A_{skl} + A_{ko} + A_z + A_{park} \text{ [ha].}$$

The ship-to-shore handling area ( $A_{ob}$ ) is a surface where loading /unloading operations from ships are performed, preparing containers for the transfer to the storage area. The storage area ( $A_{skl}$ ) is defined by the size and number of blocks for stacking, where the most important dimension is a container slot surface area<sup>1</sup>. The container slot surface area can be calculated according to the model specified in [2, 295].

Since the calculation depends on the transport demand, two scenarios have been developed, first for a turnover of 1,200,000 TEU/year and second for a turnover of 1.8 million TEU/year. These scenarios represent two levels of functionality (Figure 3). For each level, three different handling technologies for the storage operations were taken into account: straddle carriers, Rail mounted gantry cranes (RMG) in combination with Automated guided vehicles (AGV) and Automated stacking cranes (ASC) with shuttle carriers.

<sup>1</sup> Container slot area represents the area for the storage of 1 TEU.

Određivanje odnosa punih i praznih kontejnera potrebno je zbog ovisnosti o broju i konfiguraciji kontejnerskih slotova na terminalu. U ovom slučaju pretpostavljen je odnos 60/40 u korist punih kontejnera. Polazna zadana veličina je godišnji promet kontejnera koji predstavlja potrebni dinamički kapacitet terminala. Da bi se dobio potreban broj slotova za kontejnere mora se odrediti prosječno vrijeme zadržavanja kontejnera na terminalu. U ovom slučaju te vrijednosti su procijenjene na 5 dana za pune, odnosno 14 dana za prazne kontejnere. Dobivena vrijednost minimalnog statičkog kapaciteta mora se uvećati za tzv. prostorni "buffer", tj. rezervni kapacitet koji je potreban kod vršnih opterećenja koja se javljaju u obalnom prekrcajnom procesu. Za vrijednost rezervnog kapaciteta empirijski se uzima umnožak duljine pristana i očekivanog udjela punih kontejnera uvećan 10 puta. Dobivene vrijednosti potrebnog statičkog kapaciteta terminala prikazane su u tablici 2.

Nakon što je određen statički kapacitet terminala, potrebno je utvrditi konfiguraciju blokova za slaganje kontejnera i površinu slotova, te izračunati potrebnu površinu slagališta za svaku od varijanti tehnologije rada na terminalu. Za dobivanje ukupne površine kontejnerskog ter-

The ratio of the full and empty containers have to be calculated in order to determine the configuration of the container slots on the terminal. In this case, it was assumed a 60/40 ratio in favor of a full containers.

The starting point for the terminal surface area calculation was the expected annual throughput at the baseline functionality level representing the required capacity of the terminal. In order to obtain the required number of container slots (minimum holding capacity), the average dwell time of containers at the terminal should be determined. In this case, these values are estimated to be 5 days for a full, or 14 days for empty containers. The resulting value of the minimum holding capacity obtained after calculation have to be multiplied by the peak loads factor (spatial buffer) in order to eliminate the capacity bottlenecks during peak loads in the ship-to-shore handling process. The values of a minimum holding capacity of the terminal are shown in Table 2.

After the holding capacity has been calculated, it is necessary to determine the configuration of the stacking blocks and storage area for different handling equipment and stacking technology to be used for the storage operation on the terminal. To obtain the total area of the

**Tablica 2.** Izračun potrebnog statičkog kapaciteta terminala  
*Table 2 Holding capacity required for the C/T*

<b>Godišnji promet (TEU) / Annual throughput (TEU)</b>			1.200.000
	t (dwell)		
Puni (TEU) / Full (TEU)	60,00%	5	720.000
Prazni (TEU) / Empty (TEU)	40,00%	14	480.000
Minimalni statički kapacitet (TEU) / Minimum holding capacity (TEU)	Puni / Full		9.863
Minimalni statički kapacitet (TEU) / Minimum holding capacity (TEU)	Prazni / Empty		18.411
Rezervni kapacitet (TEU) / Reserve capacity (TEU)	Puni / Full		6.528
Potrebni kapacitet terminala (TEU) / Terminal holding capacity required (TEU)	Puni / Full		16.391
Potrebni kapacitet terminala (TEU) / Terminal holding capacity required (TEU)	Prazni / Empty		18.411

minala potrebno je pored površine slagališta izračunati i površine ostalih operativnih zona terminala. U tu svrhu korišteni su analitički modeli prema [2, 295]. Zbirni rezultat proraču-

container terminal, it is necessary to calculate the surface area of all other terminal zones. For this purpose, analytical models were used by [2, 295]. The summary of the calculations for the

na početne razine funkcionalnosti prikazan je u tablici 3.

Po istom ključu izrađen je proračun površine i utvrđena konfiguracija za promijenjenu (višu) razinu funkcionalnosti.

baseline level of functionality are shown in Table 3.

The same principle is used for the calculation of a higher level of functionality.

**Tablica 3.** Proračun površina za zadani godišnji promet od 1.200.000 TEU  
**Table 3** Surface area calculation based on annual throughput of 1,200,000 TEU

	Tehnologija rada / Material handling equipment		
Vrsta kontejnera / Container type	SC	RMG/AGV	ASC/Shuttle
	Broj pozicija (TEU) / Number of slots (TEU)		
Puni / Full	14.752	14.752	14.752
Prazni / Empty	18.411	18.411	18.411
	Visina slaganja kontejnera / Stacking height		
Puni / Full	3	4	5
Prazni / Empty	5	5	5
	Površina kontejnerskog slot u m <sup>2</sup> /TEU / Container slot surface area in m <sup>2</sup> /TEU		
Puni / Full	37,61	26,37	26,37
Prazni / Empty	21,47	21,47	21,47
	Potrebna površina slagališta u m <sup>2</sup> / Storage surface area in m <sup>2</sup>		
Puni / Full	184.944	97.239	77.791
Prazni / Empty	79.074	79.074	79.074
	Ukupna površina slagališta kontejnera uključujući prometne površine za manipulacije na slagalištu / Total storage surface area including traffic paths for material handling equipment		
A <sub>ski</sub> [m <sup>2</sup> ]	264.018	176.313	156.865
	Obalna operativna površina / Ship-to-shore handling area		
L <sub>p</sub> [m]	1.088	1.088	1.088
W <sub>ob</sub> [m]	76	145	145
A <sub>ob</sub> [m <sup>2</sup> ]	82.688	157.760	157.760
	Cestovno-željeznička operativna površina / Inland transport handling area		
L <sub>z</sub> [m]	1.000	1.000	1.000
W <sub>ko</sub> [m]	40	125	125
A <sub>ko</sub> [m <sup>2</sup> ]	40.000	125.000	125.000
	Površina za željeznicu i željeznički prekrcaj / Railway station transfer area		
L <sub>z</sub> [m]	1.000	1.000	1.000
W <sub>z</sub> [m]	45	45	45
A <sub>z</sub> [m <sup>2</sup> ]	45.000	45.000	45.000
	Površina parkirališta za kamione / Parking area		
N <sub>park</sub>	30	0	0
W <sub>trake</sub> [m]	7,2	0	0
L <sub>trake</sub> [m]	30	0	0
A <sub>park</sub> [m <sup>2</sup> ]	6.480	0	0
	Ukupna površina kontejnerskog terminala (bez logističke/komercijalne zone) / Total surface area for container terminal (without commercial zone)		
A <sub>KT</sub> [m <sup>2</sup> ]	438.186	504.073	484.625
A <sub>KT</sub> [ha]	43,82	50,41	48,46

**Tablica 4.** Kriteriji funkcionalnosti za novi kontejnerski terminal na području Primorsko-goranske županije  
**Table 4** Functional criteria for the new C/T in the Primorsko-goranska County

	Objekt / Object	Atribut / Attribute	Zahtjev početne razine funkcionalnosti / Original requirements	Promjena razine funkcionalnosti / Increment of functionality
KRITERIJI FUNKCIONALNOSTI / FUNCTIONAL REQUIREMENTS	Transportna potražnja / Transport demand	očekivana potražnja / transport forecast	1,2 mil. TEU	1,8 mil. TEU
		odnos punih i praznih kontejnera / full-empty containers ratio	60/40	60/40
		prosječno zadržavanja kontejnera na terminalu / average dwell time	5/14	5/14
	Vrsta brodova, dimenzije / Type of vessels, dimensions	vrsta brodova / ship class	<= suezmax	<= suezmax
		duljina / LOA	398 m	410 m
		širina / beam	56,4 m	60 m
		gaz / draught	15,5m	18 m
	Dubina mora / Sea depth	dubina prilaznog plovnog puta / channel depth	20 m	20 m
		dubina akvatorija / water depth	20 m	20 m
		dubina ispred pristana / depth alongside berth	20 m	20 m
	Prilazni plovni put / Fairway	širina plovnog puta / channel width	n/a	n/a
		površina akvatorija / water surface area	n/a	n/a
	Nosivost obale u zoni prekrcaja / Quay load	dopušteno opterećenje u zoni prekrcaja / max loading alongside quay	30 kN/m <sup>2</sup>	30 kN/m <sup>2</sup>
		nosivost ispod spredera / bearing capacity under spreader	50-60 t	65 t
	Prekrcajni mostovi - svojstva / Cranes characteristics	dohvat / outreach	22 rows (54 m)	24 rows (59 m)
		brzina podizanja / hoisting speed	75/150 m/min	90/180 m/min
		brzina kolica / trolley speed	210 m/min	240 m/min
		brzina kretanja / gantry speed	45 m/min	45 m/min
		opterećenje na prednjoj tračnici / front rail loading	815 kN/m	850 kN/m
	Konfiguracija terminala / Terminal configuration	duljina pristana / quay length	1.100 m	1.300 m
		statički kapacitet terminala / holding capacity	16.391/18.411 TEU	22.595/27.616 TEU
		visina slaganja kontejnera na slagalištu / stacking height	4 / 5 rows	4 / 5 rows
		dubina teritorija / land span	460 m	500 m
		tehnologija rada na slagalištu / storage handling equipment	RMG	RMG
	Površina terminala / Terminal area	razina automatizacije / level of automation	WLAN/DGPS	WLAN/DGPS
		dinamički kapacitet terminala / terminal throughput	1,1 mil / 0,5 mil TEU	1,5 mil / 0,8 mil TEU
		obalna operativna površina / ship-to-shore transshipment area	15,7 ha	18,8 ha
površina kontejnerskog slota / container slot area		26,37 / 21,47 m <sup>2</sup> /TEU	26,37 / 21,47 m <sup>2</sup> /TEU	
površina slagališta / storage area		17,6 ha	25,2 ha	
cestovno-željeznička operativna površina / inland transport operational area		12,5 ha	15 ha	
površina za željeznicu / railway area		4,5 ha	5,4 ha	
Propusnost kopnenog prometnog podsustava / Inland transport capacity	parkirališta za kamione / truck parking area	n/a	n/a	
	odnos kopneni/pomorski prekrcaj / direct shipping-transshipment ratio	80/20	80/20	
	odnos željeznica/cesta / rail-road modal split	50/50	60/40	
Uslužnost / Serviceability	količina otpreme vlakovima, broj vlakova / rail shipping, number of trains	480.000 TEU/year,19/day	864.000 TEU/year,34/day	
	količina otpreme kamionima, broj kamiona / truck shipping, number of trucks	480.000 TEU/year,667/day	576.000 TEU/year,800/day	
	Produktivnost na vezu / Berth performance	faktor iskorištenja veza / berth occupancy	0,70	0,80
		faktor zagušenja / berth congesting factor	0,23	0,33
Raspoloživost / Availability	Prekrcaj tereta / Cargo handling	intenzitet opsluživanja po kanalu / crane service rate	27 c/h	30 c/h
		maksimalni broj dizalica po brodu / cranes per ship	3	5
	Prihvata broda na pristanu / Ship access	udaljenost između lica bokobrana i prednje tračnice dizalice / distance between fender face to centre of front crane rail	5 m	5 m
vrsta bokobrana / fender type		n/a	n/a	
Eksploatacija / Operation	Eksploatacija / Operation	vrsta bitvi / bollards type	n/a	n/a
		vrijeme početka faze eksploatacije / start of operation period	3.year	10.year
		vrijeme završetka faze eksploatacije / end of operation period	40.year	40.year
	Zastoji / Shutdowns	postotak pune funkcionalnosti godišnje / functionality rate on yearly basis	95%	95%
zastoji uslijed vremenskih prilika / shutdown due to weather condition (days/year)		10	10	
brzina reakcije uspostavljanja funkcionalnosti sustava / recovery readiness upon shutdown		n/a	n/a	



**Tablica 5.** Kriteriji tehničke kvalitete za novi kontejnerski terminal na području Primorsko-goranske županije  
**Table 5** Technical quality criteria for the new C/T in the Primorsko-goranska County

		Objekt / Object	Atribut / Attribute	Zahtjev početne razine funkcionalnosti / Original requirements
KRITERIJI TEHNIČKE KVALITETE / TECHNICAL QUALITY CRITERIA	Sigurnost / Safety	Sigurnost i zaštita / Safety and security	sigurnost prilaza i maritimna sigurnost / maritime safety	u skladu s maritimnom studijom / according to maritime safety study
			broj i položaj hidranata za protupožarnu zaštitu / fire fighting & hydrant equipment disposal	pristan/100 m / alongside quay/100 m
			staze za kretanje vozila i pješaka / pedestrian and service lanes	pješačka, širina 1,5 m / pedestrian lane 1,5 m wide
			dužina i visina obalnog rubnika / quay edges	u cijeloj dužini pristana visine 15 cm / alongside quay 15 cm height
			rasvjeta na terminalu / lighting	prema standardu / according to standard
			ograda / fencing	prema ISPS standardu / according to ISPS standard
	Vanjski utjecaji / External impacts	Hidrološki uvjeti / Hydrology	sustav nadzora / monitoring & control systems	CCTV control system / GPS+CCTV
			morske mijene / tides	<1 m
		Klimatski uvjeti / Climate condition	morske struje / sea currents	<0,5 knots
			utjecaj vjetrova / wind speed	<20 m/s 95% year
	Tehnički standardi / Technical standards	Trajnost / Durability	utjecaj valova / waves impact	minimalan, bez zaštitnih građevina / minimum, no protection required
			utjecaj leda / ice impact	bez utjecaja / w/o impact
			standardi zaštite čelika / steel protection	katodna zaštita / cathodic protection system
			standardi zaštite betona / concrete	osnovni standard / basic standard
			tip konstrukcije / construction type	piloti/masivna / sheet piles/gravity wall
			dozvoljeno opterećenje na trup / vessel impact	400-500 kN/m <sup>2</sup>
			blok koeficijent (C <sub>B</sub> ) / block coefficient	0,60~0,80
			koeficijent dodatne mase / added mass coefficient	0,31
			sigurnosni faktor za bokobrane / safety factor for fenders	1,5
			tip bokobrana / fenders type	super cone
frikcijski sloj bokobrana / friction facing panel	UHMW-PE (0,10-0,15 μ)			
Održavanje / Maintenance	razmak između dva bokobrana / distance between adjacent fenders	< 18 m		
	pristup građevini radi pregleda tehničkog stanja / approach to facility for technical inspection	osigurati servisni prilaz obali / service approach to shoreline should be provided		
Utjecaj na okoliš / Environmental consideration	Društvena i ekološka prihvatljivost / Social and ecological feasibility	strategija održavanja / maintenance strategy	izraditi program održavanja i program pregleda / maintenance and inspection program should be provided	
		površina iskopa / excavation size	38 ha	
		površina nasipavanja / leveling area	33 ha	
		odlaganje iskopanog materijala / disposal of dredged material	moгуće korištenje za gradnju / used for construction	
		rizik od onečišćenja s brodova / risk of pollution from vessels	u skladu s maritimnom studijom / according to maritime safety study	
Prenamjena prostora / Upgradeability	Mogućnost dogradnje, proširenja / Upgrade or extension capability	razina ekološke zaštite / environmental protection level	u skladu sa studijom utjecaja na okoliš / according to EIA study	
		utjecaj na krajobraz / visual impact	prirodna vizuelna barijera na kopnenoj strani / natural landscaped bund at the land side	
	Prenamjena ili uklanjanje / Withdrawal-remove ability	Mogućnost dogradnje, proširenja / Upgrade or extension capability	proširenje lučkog područja / extension of port area	50 ha dodatnog prostora / 50 ha of additional space required
produbljivanje akvatorija / sea dredging			održavanje prirodne dubine / keep natural depth level	
namjena nakon isteka životnog ciklusa / purpose upon life-cycle completion			javna uporaba, društveni sadržaj / public use	
Prenamjena ili uklanjanje / Withdrawal-remove ability	Prenamjena ili uklanjanje / Withdrawal-remove ability	jednostavnost uklanjanja / ease of removal	nije predviđeno / n/a	
		moгуćnost recikliranja materijala / recycling ability	nije predviđeno / n/a	

### *Propusnost kopnenog prometnog podsustava*

Funkcionalni zahtjevi prema cestovnom i željezničkom prometu odnose se na dimenzionirani dinamički kapacitet kontejnerskog terminala. Prognozirani promet od 1,2 mil. TEU-a za početnu razinu funkcionalnosti može se raspodijeliti u odnosu 80% u kopnenom prometu (960.000 TEU) i 20% u pomorskom prometu (transshipment). Raspodjela željeznica/cesta (modal-shift) kod početne funkcionalnosti procijenjena je u omjeru 50/50, odnosno 60/40 u korist željeznice za višu razinu funkcionalnosti. U apsolutnim vrijednostima to iznosi približno 480.000 TEU/godišnje za početnu razinu funkcionalnosti. Navedeni promet uz prosječni kapacitet blok-vlaka od 70 TEU/vlak generira srednju vrijednost od 19 blok-vlakova dnevno. U cestovnom prijevozu generira se promet od preko 660 tegljača dnevno.

Konačni rezultat sistemske analize objedinjen je i prikazan u tablicama 4. i 5. U prvoj tablici prikazani su kriteriji funkcionalnosti s utvrđenim objektima i atributima te njihovim vrijednostima dobivenim analitičkim proračunom. U drugoj tablici prikazani su kriteriji tehničke kvalitete koji su ocijenjeni važnim za daljnji postupak projektiranja. Utvrđene veličine kriterija predstavljaju rezultat sistemske analize i direktno se mogu primijeniti kao ulazne veličine u postupku formiranja projektnog rješenja.

## **7. ZAKLJUČAK**

U sklopu sistemske analize, na primjeru analize slučaja planiranja lučkog kontejnerskog terminala, identificirano je 14 objekata i 49 atributa kojima se opisuju kriteriji funkcionalnosti te 8 objekata i 36 atributa kojima se opisuju kriteriji tehničke kvalitete, u skladu sa zahtjevima interesnih grupa. Primjenom analitičkih metoda, izvršen je proračun vrijednosti najvažnijih atributa kojima se opisuju funkcionalni zahtjevi u odnosu na planirani lučki kontejnerski terminal.

Brojnost kriterija funkcionalnosti i njihova međuzavisnost opravdava potrebu sustavnog pristupa planiranju stavljajući u prvi plan funkcionalnost samog terminala prema zahtjevima korisnika. Bitno obilježje sistemske inženjeringa, koje je primijenjeno u radu, je pristup "od vrha prema dnu" gdje se na temelju identificiranih kriterija vrednovanja radnih svojstava terminala obavlja projektiranje pojedinih infrastrukturnih

### *Throughput of the inland transport system*

The functional requirements for the road and rail transport are related to the container terminal capacity. It is expected that 80% of the total forecasted traffic or 960,000 TEU/year will be shipped by the inland transport. Modal-shift for the inland transport is estimated at a ratio of 50/50 for the original functionality level, and at a ratio of 60/40 for the higher functionality level in the favour of railway. In absolute terms, this amounts to approximately 480,000 TEU/year for the original functionality. Therefore, this generates a mean of 19 block trains per day with an average capacity of a block train of 70 TEU. Road transport generates a turnover of over 660 trucks a day.

The final result of the system analysis has been consolidated in Table 4 and Table 5. The first table shows the functionality criteria with specified objects and attributes and their values obtained by analytical calculation. The second table shows the technical quality criteria that is considered important for the design. Performance criteria values are the result of the system analysis and can be used as the input in the design process and for the evaluation of alternative design solutions.

## **7. CONCLUSION**

Within the case study of the new container terminal in the Primorsko-goranska County, 14 objects and 49 attributes of the system are identified describing the terminal functionality criteria. Further 8 objects and 36 attributes of the system describe the terminal technical quality criteria. All performance criteria are adjusted in accordance with the stakeholders' requirements. By using analytical methods, the most important performance criteria have been calculated and evaluated according to the established terminal functionality levels.

A considerable number of the performance criteria and their interdependence justify the need for a systematic approach to the container terminal planning, putting the users' requirements in the first place. The main feature of the system engineering process, implemented in the paper, is the "Top-down" approach, whereby the output of the process should be used for the port infrastructure design, material handling equipment selection and resources assignment.

elemenata lučkog sustava, vrši odabir transportnih sredstava, odabire tehnologija rada na terminalu te utvrđuju potrebni resursi za rad.

Važnost provedene systemske analize je i u definiranju stupnja funkcionalnosti s obzirom na očekivani životni ciklus terminala. Nakon dostizanja maksimalnih vrijednosti kriterija funkcionalnosti ili maksimalnih vrijednosti dozvoljnog odstupanja od tehničkih standarda, početnu razinu funkcionalnosti treba podignuti na višu razinu prema utvrđenim vrijednostima.

The significance of the system analysis performed is in defining the functionality levels for the whole life cycle of the terminal. Once the maximum functionality criteria values or maximum allowed deviation from technical standards are reached, the original functionality level should be upgraded in accordance with the set-up values.

#### LITERATURA / REFERENCE

- [1] Blanchard, B. S., System engineering management, 3rd ed., Hoboken NJ, Wiley, 2004.
- [2] Brinkman, B., Seehäfen – planung und entwurf, Berlin, Springer, 2005.
- [3] Dundović, Č., Tehnološki procesi u prometu, autorizirana predavanja, Rijeka, Pomorski fakultet, 2001.
- [4] Dundović, Pomorski sustav i pomorska politika, Rijeka, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, 2003.
- [5] Kossiakoff, A., W. N. Sweet, Systems engineering principles and practice, Hoboken NJ, Wiley, 2003.
- [6] Maritime-Navigation-Commission, Life cycle management of port structures, Recommended practice for implementation, Bruxelles, PIANC, 2008.
- [7] NASA, Systems engineering handbook, Washington DC, National Aeronautics and Space Administration, 2007.
- [8] Srića, V., Uvod u systemski inženjering, Zagreb, Informator, 1988.
- [9] Tsinker, G. P., Port engineering, New York, Willey, 2004.
- [10] Zenzerović, Z., Teorija redova čekanja, autorizirana predavanja, Rijeka, Pomorski fakultet u Rijeci, 2003.

